

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

APLICACIONES SIG A LA
ORDENACIÓN DE MONTES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER DE TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

AUTORA: Miren Martinez Oianguren

DIRECTOR: Pedro Álvarez Álvarez

JULIO, 2014

RESUMEN

La concepción de este manual práctico pretende ser una herramienta de apoyo para el aprendizaje en la confección de Proyectos de la Ordenación de Montes, junto con la integración de las nuevas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Esta integración constituye una herramienta imprescindible para el profundo conocimiento del medio natural en el cual se desarrollan los distintos trabajos de disciplina forestal.

La aplicación de las herramientas de SIG permiten generar y analizar la información de naturaleza espacial, temático y temporales, obteniendo así una representación gráfica real, precisa y completa del territorio. Además, estas representaciones gráficas son de carácter obligatorio para cualquier Proyecto de Ordenación de Montes en el ámbito estatal.

Palabras claves: manual SIG, Proyecto de Ordenación de Montes.

ABSTRACT

The conception of this practical manual pretends to be a learning support tool for the development of Forest Management Project, together with the integration of new technologies such as Geographic Information Systems (GIS). This integration constituted an essential tool for the detailed knowledge of the environment in which different works of Forest disciplines are carry out.

The application of GIS tools allows generating and analysing spatial, thematic and temporal information, obtaining in this way an actual, accurate and complete graphic representation of the territory. In addition, these graphic representations are compulsory for any Forest Management Project at the state level.

Key words: SIG manual, Forest Management Project.

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| 2. OBJETIVOS. | 5 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS..... | 6 |
| 3.1. Área de estudio..... | 6 |
| 3.2. Material empleado..... | 7 |
| 3.2.1. Software utilizado. | 7 |
| 3.2.2. Datos cartográficos de partida..... | 7 |
| 3.3. Métodos de análisis..... | 9 |
| 3.3.1. Creación de una Geodatabase. | 9 |
| 3.3.3.1. Construcción del esquema de la Geodatabase..... | 10 |
| 3.3.3.2. Carga de datos en la Geodatabase..... | 10 |
| 3.3.2. Creación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE). | 11 |
| 3.3.2.1. Construcción del MDE raster a partir del MDE vectorial. | 13 |
| 3.3.2.1.1. Cálculo del error del MDE..... | 15 |
| 3.3.3. Creación de modelos derivados..... | 16 |
| 3.3.3.1. Mapa de altitudes..... | 17 |
| 3.3.3.2. Mapa de pendientes..... | 17 |
| 3.3.3.3. Mapa de orientaciones..... | 18 |
| 3.3.3.4. Modelo de sombreado. | 18 |
| 3.3.4. Definición de cantones..... | 19 |
| 3.3.4.1. Creación de la capa de cantones..... | 20 |
| 3.3.4.2. Digitalización de los cantones..... | 20 |
| 3.3.4.3. Edición y rectificación de vértices de los cantones. | 21 |
| 3.3.4.3.1. Flujo de trabajo de la topología..... | 21 |
| 3.3.5. Definición de masas o tipologías forestales. | 22 |
| 3.3.5.1. Criterios para la identificación de masas o tipologías forestales. | 22 |
| 3.3.6. Rodalización..... | 23 |
| 3.3.6.1. Obtención de rodales. | 24 |
| 3.3.7. Inventario dasocrático..... | 25 |
| 3.3.7.1. Selección de rodales objeto de inventario forestal dasométrico o zona de actuación. | 26 |
| 3.3.7.2. Creación de puntos de muestreo..... | 27 |
| 3.3.7.2.1. Creación de puntos aleatorios de muestreo. | 27 |
| 3.3.7.2.2. Creación de la malla de muestreo “rejilla”..... | 27 |
| 3.3.7.3. Cálculo de las coordenadas X e Y de cada parcela. | 27 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.3.8. | Cartografía | 27 |
| 3.3.8.1. | UNE –EN ISO 9431:1990. Dibujos en construcción. Espacios para dibujo y texto, cuadros de rotulación en formatos de dibujo. | 28 |
| 3.3.8.2. | UNE -EN ISO 7200:2004. Campos de datos en bloque de títulos y en cabeceras de documentos..... | 30 |
| 3.3.8.3. | UNE-EN ISO 5457:1999. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo..... | 31 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 33 |
| 4.1. | Esquema de la Geodatabase..... | 33 |
| 4.2. | Modelo Digital de Elevaciones..... | 34 |
| 4.2.1. | Capa 1: Curvas de nivel..... | 34 |
| 4.2.2. | Capa 2: Hidrografía..... | 35 |
| 4.2.3. | Capa 3: puntos de cota..... | 36 |
| 4.2.4. | Construcción del TIN..... | 37 |
| 4.2.5. | Construcción del MDE raster..... | 38 |
| 4.2.6. | Errores del MDE..... | 38 |
| 4.3. | Modelos derivados..... | 40 |
| 4.3.1. | La altitud..... | 40 |
| 4.3.2. | Pendientes..... | 41 |
| 4.3.3. | Orientaciones..... | 43 |
| 4.3.4. | Modelo de sombreado..... | 44 |
| 4.4. | Definición de los cantones..... | 45 |
| 4.4.1. | Correcciones topológicas..... | 46 |
| 4.5. | Identificación de masas o tipologías forestales..... | 48 |
| 4.6. | Rodalización..... | 49 |
| 4.6.1. | Correcciones topológicas..... | 51 |
| 4.7. | Inventario dasocrático..... | 51 |
| 4.7.1. | Zona de actuación..... | 51 |
| 4.7.2. | Creación de puntos de muestreo..... | 52 |
| 4.8. | Cálculo de las coordenadas X e Y de cada parcela..... | 53 |
| 4.9. | Cartografía..... | 54 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 56 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA..... | 57 |

1. INTRODUCCIÓN

Cualquier disciplina forestal precisa, a través del inventario, de un profundo conocimiento previo del medio natural en el cual se va a desenvolver su trabajo. La fortísima interrupción de las nuevas tecnologías en el ámbito forestal acaecida desde la última década del siglo XX ha abierto la puerta a profundos cambios en la concepción, desarrollo y fiabilidad del inventario y la gestión forestal. Georreferenciación vía satélite con GPS o sistemas de información geográfica (SIG) son dos epígrafes ausentes, o apenas citadas, en los clásicos tratados de dasometría e inventario forestal anteriores al siglo XXI (Reque, 2011).

Los SIG a través de sus múltiples herramientas y aplicaciones, permiten gestionar, analizar y generar toda la información relevante para una adecuada planificación de actividades relacionadas con el sector forestal. La integración de Teledetección y SIG constituyen una herramienta idónea para la planificación de actividades desarrolladas durante el manejo y aprovechamiento forestal, ya que, en conjunto permiten generar y analizar la información considerando las componentes espaciales, temáticas y temporales de la información, entregando una visión real, precisa y completa del territorio en intervención (Mena *et al.*, 2006).

Entre las diversas aplicaciones de los SIG a las actividades forestales, en este trabajo se centra únicamente en la elaboración de las diferentes representaciones gráficas reflejadas en mapas que deben ser incluidos dentro del Proyecto de Ordenación de Montes.

Los Proyectos de Ordenación de Montes son una herramienta que permite planificar, gestionar y controlar los aprovechamientos forestales que se llevan a cabo en una zona determinada (Madrigal, 1994). De modo que la ordenación establece los objetivos y funciones específicas que deben satisfacer el monte planificando en el espacio y en el tiempo las actuaciones y restricciones necesarias para la consecución de los mismos.

Este manual práctico recoge, por tanto, las herramientas y utilidades básicas de ArcGIS que se emplean para planificar un Proyecto de Ordenación de Montes real, es decir, gracias al ArcGIS se crearan diferentes mapas que formarán parte en el Proyecto de Ordenación del Monte de Utilidad Pública núm. 62 "Rimenor" (este documento viene desarrollado en los diferentes anexos adjuntos). De tal manera que este manual debe entenderse como una descripción general y deberá adaptarse a cada monte, a los objetivos y tipos de inventario y a los objetivos de gestión que se persigan. En consecuencia debe ser entendido únicamente como un punto de partida.

2. OBJETIVOS.

El objetivo principal de este trabajo es la concepción de un manual práctico que pretende ser una herramienta de apoyo para el aprendizaje en la confección de Proyectos de la Ordenación de Montes, junto con la integración de las nuevas tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Este manual recoge, por tanto, las herramientas y utilidades básicas de ArcGIS que se emplean para planificar el Proyecto de Ordenación del Monte de Utilidad Pública núm. 62 “Rimenor”.

En definitiva, los objetivos son:

- ✓ Ser un manual práctico SIG de partida para la aplicación en Proyectos de Ordenación de Montes.
- ✓ Comprender las utilidades de las herramientas del ArcGIS.
- ✓ Ver las ventajas de las diferentes herramientas utilizadas.
- ✓ Caracterizar una zona de estudio real mediante las herramientas espaciales de ArcGIS.
- ✓ Plasmar las diferentes representaciones gráficas en mapas.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Área de estudio.

El monte objeto de estudio es un Monte de Utilidad Pública¹ (MUP) denominado “Rimenor” situado en el oeste de la comarca de Teverga (en asturiano *Teberga*), concretamente a la parroquia de Taja (o *Taxa*). Figura en el Catálogo de MUP con el número 62 y su gestión corresponde a La Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias.

Actualmente el monte no está deslindado ni amojonado. La cabida total es de 499 ha con 26.10 ha de enclavados; en consecuencia, la cabida pública es de 472.90 ha.

A continuación se trata de discernir los límites de los montes de la manera más concisa posible:

Tabla 1. Descripción de los límites del monte "Rimenor". Fuente: Catálogo de MUP del Principado de Asturias, 2007.

| LÍMITE | MONTE |
|--------------|--|
| Norte | Río Taja, que lo separa de fincas particulares y del Monte de Utilidad Pública núm. 41 “Alaraico, Padiella, Cotos de Cuero, Faedo y Otros”. |
| Este | Monte de Utilidad Pública núm. 41 “Alaraico, Padiella, Cotos de Cueiro, Faedo y Otros”. |
| Sur | Monte de Utilidad Pública núm. 68 “Valle Moratín” (Teverga). |
| Oeste | Monte de Utilidad Pública núm. 15 “Cuenya de la Mata y Otros” y la Braña del Cuérrago, ambos a través de la línea de separación entre los términos municipales de Teverga y Somiedo. |

La zona de estudio se encuentra enmarcada a su vez por otras figuras protectoras, como el Parque Natural de Las Ubiñas – La Mesa, declarado por Ley del Principado de Asturias el 5/2006. La regulación de usos y las directrices de gestión del Parque vienen dadas por el instrumento de gestión, el Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG), Decreto 40/2011, de 11 de mayo.

Además, está incluso en la Red Natura 2000, red de la que forma parte tanto como el Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) “Montovo-La Mesa”, como la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) “Ubiña-La Mesa”. Para más información véase en Anexo I: Memoria y el Anexo II: Figuras de protección.

¹ Montes de Utilidad Pública (MUP) son montes de titularidad pública que han sido declarados como tales por satisfacer necesidades de interés general, al desempeñar, preferentemente, funciones de carácter protector, social o ambiental.

3.2. Material empleado.

3.2.1. Software utilizado.

El software utilizado es el ArcGIS Desktop, dentro de él existen diferentes herramientas y extensiones que serán de interés para este trabajo:

La herramienta *Geodatabase*. 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. Mientras ArcGIS trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo del sistema de información geográfica (SIG), está diseñado para trabajar con las capacidades de la geodatabase y así sacarles provecho.

La herramienta de geoprocesamiento con *Model Buidel*. Es una aplicación que se utiliza para crear, editar y administrar modelos. Los modelos son flujos de trabajo que encadenan secuencias de herramientas de geoprocesamiento y suministran la salida de una herramienta a otra herramienta como entrada.

La herramienta *Spatial Analyst*. Es una extensión del ArcGIS que proporciona una amplia gama de recursos importantes dedicados al análisis y modelado espacial. Se pueden crear, consultar, trazar mapas y analizar datos de rasters basados en celdas; llevar a cabo un análisis integrado del raster/vector; obtener información nueva de los datos existentes; consultar la información a través de varias capas de datos; así como integrar completamente los datos de rasters basados en celdas con fuentes de datos vectoriales tradicionales.

La herramienta *3D Analyst*. La extensión 3D Analyst de ArcGIS proporciona herramientas para la creación, visualización y análisis de datos SIG en un contexto tridimensional (3D).

La herramienta *Geoestadistical Analyst*. Es una extensión que provee una variedad de herramientas para la exploración de datos espaciales. Este módulo utiliza puntos de las muestras tomadas en diferentes localizaciones e interpola una superficie continua (Peña-Llopis, 2006).

3.2.2. Datos cartográficos de partida.

Para el desarrollo del presente trabajo se ha descargado distinta información cartográfica a través de publicaciones o directamente de servidores de Internet. Seguidamente se nombran los archivos que forman parte en el Proyecto de Ordenación del Monte "Rimenor" y que sirven de guía para futuros trabajos.

Las ortofotos de la zona de estudio, a una resolución de 1:5.000. Estas imágenes aéreas permiten realizar un análisis previo del medio bastante completo en cuanto a usos del suelo, densidad, cobertura de la masa forestal, existencia de pistas forestales, etc. Esta información se descarga del SITPA, el Geoportal del Sistema de Información Territorial y la Infraestructura de Datos Espaciales del Principado de Asturias. Las hojas que forman parte del monte “Rimenor” se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. Descripción de las hojas de ortofotos obtenidas del SITPA, el Geoportal del Sistema de Información Territorial y la Infraestructura de Datos Espaciales del Principado de Asturias.

| Monte | Núm. de hoja | Fecha de vuelo | Escala | Elaborado |
|-----------|-----------------------------|----------------|---------|------------------------|
| “Rimenor” | 51-88, 52-18, 76-81 y 77-11 | 2009 | 1:5.000 | Principado de Asturias |

Capas vectoriales que incluyen curvas de nivel, vías de comunicación, hidrografía y una red de puntos altimétricos. Estas capas se engloban en los archivos DGN² y también son descargados desde el SITPA a escala 1:5.000 (se identifican con el mismo número de hoja de las ortofotos).

Otros datos vectoriales de especial interés son:

- ✓ La capa de vegetación, que identifica las especies forestales presentes en la comunidad autónoma de Asturias. Facilitada por la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias.
- ✓ El límite digital del monte. La delimitación de los Montes de Utilidad Pública (MUP) es frecuente que el propietario lo facilite, sin embargo si se trata de fincas particulares no suele existir delimitación digital disponible, de modo que será necesario emplear las de catastro y si no se deberá digitalizar manualmente. En este caso se trata de un MUP por tanto esta capa ha sido facilitada por la Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural del Principado de Asturias.
- ✓ Límites administrativos (autonómico, provincial, comarcal y/o concejos). Pueden ser descargados desde el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (MAGRAMA).
- ✓ Figuras de protección presentes en el monte. En cuanto a las figuras de protección se refieren a las que corresponden a Parques Naturales de España, así como los Lugares de Interés Comunitario (LIC) y Zonas de Especial Protección de las Aves (ZEPA). Las tres capas son obtenidas del MAGRAMA.

² El DGN es el acrónimo de archivos vectoriales de tipo CAD que se utilizan con el software MicroStation.

3.3. Métodos de análisis.

3.3.1. Creación de una Geodatabase.

La geodatabase es una estructura de base de datos o archivo que se utiliza principalmente para almacenar, consultar y manipular los datos espaciales. Así pues, es un almacén de geometría, un sistema de referencia espacial, atributos y reglas de comportamiento para los datos. Este un formato original de ArcGIS (Esri, 2010). Las razones para usar geodatabase son las siguientes:

Estructural.

1. Mejora la versatilidad y su utilización. Geodatabases son fáciles de crear, utiliza y administrar dentro de ArcSIG.
2. Rendimiento optimizado. Geodatabases dan mejores prestaciones que otros formatos basados en archivos de datos soportados por ArcSIG.
3. Pocas limitaciones de tamaño. Dependiendo del tamaño de los datos, es posible que tenga que trabajar sin restricciones de tamaño.

Rendimiento.

1. Sencilla migración de datos. Es fácil de migrar todos los archivos shapefile³ u otros datos en el formato de base de datos geográficos para tomar ventaja de su funcionalidad.
2. Mejora el modelo de edición. La edición en ArcMap se hace más fácil cuando se utiliza la base de datos geográfica con el fin de evitar bloqueos de esquema.
3. Almacenamiento raster en la geodatabase. El almacenamiento localizado de los mapas de bits hace que su experiencia sea más fácil y más rápida.

Existen varios tipos de geodatabases que se diferencian según las licencias, el número de usuarios editores, plataformas que lo albergan, mecanismos de almacenamiento, límites de almacenamiento, etc. En este caso, se utilizará la geodatabase de archivo, ya que, es un formato de archivo de desktop mejorado con muchos beneficios y no tiene límite de capacidad para las Bases de Datos.

Dentro de la Geodatabase pueden existir muchos elementos, los más empleados son:

³ El formato ESRI Shapefile (SHP) es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica como ArcGIS.

- a) Clase de entidad. Es la colección de entidades geográficas con un mismo tipo geométrico (punto, línea o polígono), el mismo atributo, y misma referencia espacial. También puede almacenar anotaciones y dimensiones.



- b) Dataset entidad. Es el almacenamiento de una colección de clase de entidad que comparten la misma referencia espacial y una misma área geográfica. Se utiliza para ayudar a modelizar las relaciones espaciales entre las clases de entidad.



- c) Raster. Es un modelo de datos que representa entidades geográficas en una malla discreta.



- d) Tabla. Conjunto de datos dispuestos en filas y columnas. Cada fila representa un único registro. Cada columna representa el campo del registro. Las filas y columnas se cruzan para formar celdas que contiene un valor específico para un campo.



- e) Topología. Describe como las entidades comparten la geometría dentro de la geodatabase. Define y refuerza las reglas de integridad de datos, consultas y navegación de relaciones topológicas, también la sofisticada edición de herramientas.



3.3.3.1. Construcción del esquema de la Geodatabase.

Para crear el esquema partiendo de cero, se acude al asistente de ArcCatalog. Desde una carpeta conectada, se hace un “click” con el botón derecho y se elige el *New > File Geodatabase* y simplemente se debe asignar un nombre. Al hacer esto, se establece la estructura del elemento de base de datos geográficos, pero no se añade ningún dato a la base de datos geográficos, sólo el esquema. De modo que el esquema está vacío.

3.3.3.2. Carga de datos en la Geodatabase.

Dentro de la Geodatabase se crea el elemento denominado Dataset entidad, que es el almacenamiento de una colección de clase de entidades que comparten la misma referencia espacial y una misma área geográfica. Para ello, se hace un “click” con el botón derecho a la geodatabase y selecciona *New > Feature dataset*. En la ventana

emergente se le asigna un nombre y posteriormente exige definir un sistema de coordenadas.

Para cargar los datos en el Dataset entidad se realiza mediante la exportación ordinaria. Así, todos los archivos anteriores se migran y directamente se les asigna un único sistema de coordenadas, que será la asignada al Dataset entidad.

Así mismo, para los posteriores rasters que se construirán se crea un nuevo Dataset de raster, *New > Raster Dataset*. Este Dataset también permite establecer un único sistema de coordenadas y un único tamaño de celda.

3.3.2. Creación del Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

Un modelo digital de elevaciones es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. (Texto adaptado de Felicísimo, 2014).

Un terreno real puede describirse de forma genérica como una función bivariable continua $z = \zeta(x, y)$ donde z representa la altitud del terreno en el punto de coordenadas (x, y) y ζ es una función que relaciona la variable con su localización geográfica. En un modelo digital de elevaciones se aplica la función anterior sobre un dominio espacial concreto, D . En consecuencia, un MDE puede describirse genéricamente como $MDE = (D, \zeta)$.

En la práctica, la función no es continua sino que se resuelve a intervalos discretos, por lo que el MDE está compuesto por un conjunto finito y explícito de elementos. Los valores de X e Y suelen corresponder con las abscisas y ordenadas de un sistema de coordenadas plano, habitualmente un sistema de proyección cartográfica.

La generalización inherente a la discretización del modelo implica una pérdida de información que incrementa el error del MDE y, en consecuencia, se propaga a los modelos derivados. Por este motivo, se han ensayado numerosas opciones en la búsqueda de la forma de representar y almacenar la altitud que equilibre la pérdida de información y algunos efectos secundarios indeseables como el exceso de tamaño de los archivos o la dificultad de manejo.

Los modelos digitales del terreno se dividen en dos grupos en función de la concepción básica de la representación de los datos: vectorial y raster:

El modelo de datos vectorial está basado en entidades u objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices. Los atributos del terreno se representan mediante puntos, líneas o polígonos con sus respectivos atributos. Los puntos se definen mediante un par de valores de coordenadas con un atributo de

altitud, las líneas mediante un vector de puntos –de altitud única o no– y los polígonos mediante una agrupación de líneas.

El modelo de datos raster está basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie. Los datos se interpretan como el valor medio de unidades elementales de superficie no nula que teselan el terreno con una distribución regular, sin solapamiento y con recubrimiento total del área representada, estas unidades se llaman *celdas o teselas* y, si se admite la analogía con los términos usados en procesos de imágenes, *píxeles*.

Modelo vectorial: contornos

La estructura básica de un modelo de contornos es la polilínea definida como un vector de n pares de coordenadas (x,y) que describen la trayectoria de las curvas de nivel o isohipsas. Los archivos DGN descargados representan este tipo de modelo, que está constituido por el conjunto de las curvas de nivel que pasan por la zona representada, separadas generalmente por intervalos constantes de altitud, más un conjunto de puntos acotados que definen lugares singulares –cimas, fondos de valle, collados, etc. –.

Modelo vectorial: red de triángulos irregulares (TIN).

Esta estructura de datos se compone de un conjunto de triángulos irregulares adosados y que suele identificarse por las siglas de denominación inglés “*triangulated irregular network (TIN)*”, (Peucker *et al*, 1978). Los triángulos se construyen ajustando un plano de tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve. Se trata de una estructura en la que el terreno queda representado por un conjunto de superficies planas que se ajustan a un conjunto previo de puntos.

Modelo raster: matrices regulares.

La estructura matricial es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda. La retícula adopta normalmente la forma de una red regular de malla cuadrada. En esta estructura, la localización espacial de cada dato está determinada de forma implícita por su situación en la matriz, una vez definidos el origen y el valor del intervalo entre filas y columnas.

La matriz regular es la estructura más utilizada para construir los MDE, ya que, se trata de una estructura de fácil manejo y simple de representar mediante estructuras lógicas como matrices de dos dimensiones. Además, a partir de esta malla regular se crean los modelos derivados que se describen más adelante.


3.3.2.1. Construcción del MDE raster a partir del MDE vectorial.

Como se ha mencionado anteriormente, partimos de hojas vectoriales en formato DGN digitalizados a escala 1:5.000. Los DGN son archivos que contienen información diversa guardada en capas distintas, siendo alguno de ellos de interés para realizar un determinado proceso. En este trabajo, las capas de interés son: a) curvas de nivel, b) la hidrografía y c) puntos altimétricos.

Esta tarea es sumamente rutinaria para cada hoja del DGN. Es por ello, que se emplea la herramienta *Model Builder* para modelizar este proceso. El *Model Builder* de ArcGIS es la ejecución de herramientas de geoprocésamiento y la creación de herramientas de modelo. Si no se tienen conocimientos previos de cómo crear los modelos se recomienda leer “Ejemplos de aplicación del Model Builder de ArcGIS 10 en la gestión forestal” de Emmanuel Fernández (2012).

Las fases de construcción del MDE son:

1. Capa 1: Curvas de nivel.

En primer lugar se debe explorar en que capa residen los datos de curvas de nivel del archivo *polyline* del DGN. Para ello con el cursor de identificación  se seleccionan al azar las curvas y se anotan las numeraciones de las capas deseadas. Además, hay que eliminar aquellas líneas que no presenten cota. Debido a que los archivos DGN no se pueden modificar, es necesario exportarlos a shapefile.

En la ilustración siguiente se observa que la capa *polyline* del DGN se exportará mediante el comando *Feature class to feature class* y se escribirá con el nombre *curvas_nivel.shp*. Esto se consigue mediante una sentencia SQL que indica a la herramienta cuáles son los archivos de entrada y salida. Además, es de sumo interés añadir el “variable de valor”, denominado como expresión, ya que, indica en qué nivel se encuentra la información requerida.

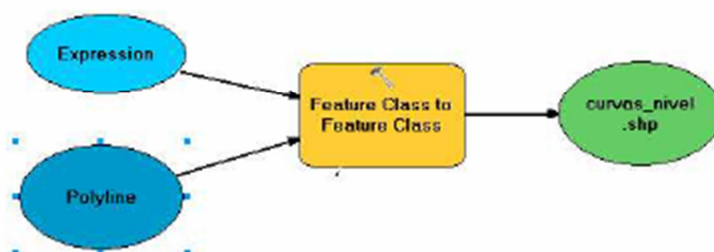


Ilustración 1. Modelo para obtener un shapefile de curvas de nivel a partir de un archivo DGN. (Fuente: Fernández, 2012).

2. Capa 2: Hidrografía.

Del mismo modo que las curvas de nivel, se trata de discernir qué capas corresponden a los ríos dentro del archivo *polyline* del DGN. Además, se eliminarán aquellas líneas que presenten un valor de elevación diferente a 0. El *Model Builder* para este paso es:

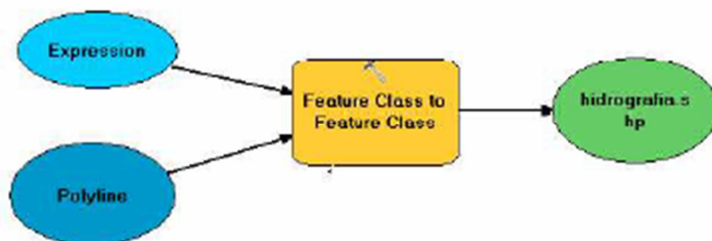


Ilustración 2. Modelo para obtener el shapefile de hidrografía a partir de un archivo DGN. (Fuente: Fernández, 2012).

3. Capa 3: puntos de cota.

Para esta última de capa, se carga el archivo *point* del DGN. Como en los casos anteriores, también se exportan los puntos de cota a un shapefile y se identifican los puntos de interés, y se desestiman aquellos puntos con cota cero. Una vez que sabemos la expresión del variable valor, el modelo de Model Builder quedaría:

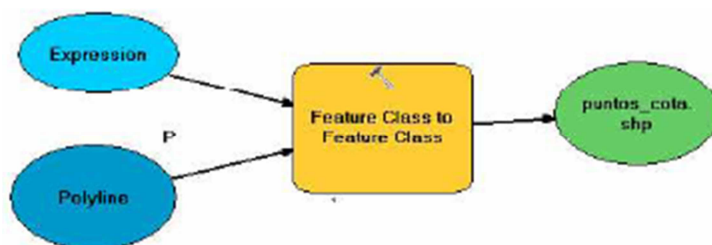


Ilustración 3. Modelo para obtener un shapefile con los puntos de cota de una determinada zona a partir de un DGN. (Fuente: Fernández, 2012).

Si ahora lo que se quiere es exportar estas capas para todas las hojas del DGN del trabajo lo que se debe hacer es transformar el fichero de entrada en un “parámetro de modelo”. De esta forma modificando tan sólo este parámetro y seleccionando en cada caso los archivos DGN de entrada, se obtienen las tres capas de shapefile.

4. Generar una triangulación TIN a partir de curvas de nivel, hidrografía y puntos de cota.

Para generar la red de triangulación TIN es imprescindible partir de los tres shapefiles anteriores y aplicar el comando *Create TIN* del “3D Analyst Tools”. En la ventana que se despliega se debe especificar que las curvas de nivel y la hidrografía

corresponden a *hardlines* y los puntos a *masspoint*. Finalmente, los valores de la altura se encuentran en el atributo denominado *Elevation*.

5. Generación del MDE.

La generación de la malla regular parte de la rasterización del TIN anterior. Para ello, se emplea el comando *TIN to raster* del “3D Analyst Tools”. Aquí se especifica el directorio de salida, el tipo de dato (entero o real) y el tamaño del pixel.

El tamaño de pixel depende del detalle de información que se requiere para cumplir los objetivos propuestos. Cuanto más pequeño sea el tamaño de píxel, mayor detalle (resolución) se tendrá, pero necesita un espacio de almacenamiento mayor, que implica más tiempo de procesamiento.

El modelo del Model Buidel definitivo es:

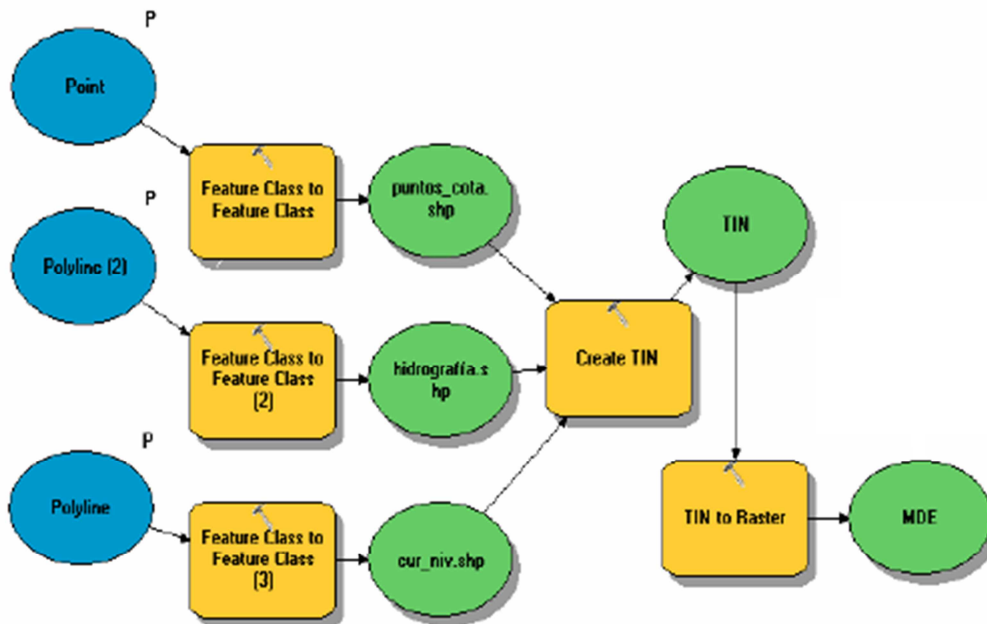



Ilustración 4. Modelo aplicado para obtener el MDE raster de malla regularizada. (Fuente: Fernández, 2012).

3.3.2.1.1. Cálculo del error del MDE.

Para determinar si el MDE creado es adecuado o no, es aconsejable calcular el error cometido. Para ello, antes de crear el MDE se deben extraer ciertos puntos aleatorios y bien distribuidos de la hoja *point* del DGN, que consistirán en puntos de control.

La selección se realiza mediante el cursor de selección , y posteriormente se exportan mediante *Data > Export Data > Selected features* que se encuentra en el

menú que se despliega al clicar cada capa con el botón derecho del ratón. Esta operación se repetirá tantas veces como hojas se tengan.

Seguidamente, se recomienda unir todas las capas de puntos obtenidos en una única capa, para ello existe un comando denominado *Append* del “Data Management”.

Una vez creado un único shapefile con los puntos de control, se emplea el comando *Extract multi values to point* del “Spatial Analyst tools”, que extrae el valor del MDE creado a los puntos en cuestión. Así se podrá estimar el error aplicando las siguientes expresiones:

$$\text{Error máximo (EM)} = \max (z_{\text{puntos control}_i} - z_{\text{MDE}_i})$$

$$\text{Error máximo absoluto (EMA)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_{\text{puntos control}_i} - z_{\text{MDE}_i}|$$

$$\text{Error máximo cuadrático (EMC)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_{\text{puntos control}_i} - z_{\text{MDE}_i})^2}$$

El error máximo que se puede aceptar depende directamente de la equidistancia entre las curvas de nivel (González, 2014), siendo:

$$\text{Error altimétrico admisible} \leq \frac{1}{3} * \text{equidistancia}$$

Finalmente, para visualizar los errores del MDE se decide aplicar una técnica de geoestadística. El algoritmo de interpolación empleado debe adaptarse al carácter del dato así como su contexto. En este caso un sencillo algoritmo definido por el “vecino más próximo” será suficiente para representarlos. Este comando *Natural Neighbor* se encuentra en la sección de *Interpolation* del “Spatial Analyst”.

3.3.3. Creación de modelos derivados.

Los principales modelos derivados del MDE describen variables de naturaleza topográfica: mapa de altitudes, pendientes y orientaciones, así como el modelo de sombreado. Es por ello que para cualquier trabajo de índole forestal sea necesario describir el relieve que conforma el área de estudio.

Los modelos derivados se construyen a partir del MDE mediante algoritmos, que en muchos casos se basan en operadores o filtros de ámbito local.

3.3.3.1. Mapa de altitudes.

Una de las caracterizaciones topográficas es la altitud que está comprendida la zona de estudio. Se representa en rangos altitudinales de 100 metros, partiendo desde la altitud más baja hasta la altitud máxima del monte. Para ello se utiliza el comando *Slice* del “Spatial Analyst”.

Seguidamente, se determina la altitud media del monte, que tiene en cuenta la superficie que ocupa cada rango altitudinal en el monte, es decir, se calcula una media ponderada en función de la superficie. La expresión es:

$$h = \frac{\sum h_i s_i}{S}$$

Donde:

h = altitud media ponderada del monte

h_i = altitud media de la zona *i*-ésima

s_i = superficie ocupada por la zona *i*-ésima

S = superficie total del monte (ha)

Para calcular la superficie de cada rango, se abre la tabla de atributos y se añade una nueva columna, *Add field*, de nombre “Superficie (ha)” de tipo doble. Posteriormente, mediante la calculadora de geometría, *Calculate geometry*, se calcula el área en hectáreas.

3.3.3.2. Mapa de pendientes.

La pendiente en un punto del terreno es el ángulo entre el vector normal a la superficie (*a₁₀*) y la vertical (*a₀₁*).

$$\alpha = \text{artg} \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2}$$

La pendiente se calcula a partir del MDE del área de estudio con el comando *Slope* del “Spatial Analyst tools”.

Para establecer los rangos de pendientes se siguen los criterios recomendados por Serrada (2000) en función de las posibilidades de mecanización. Los criterios son:

- Pendiente 0-20 % → Pendiente baja. Zona sensiblemente llana, mecanizables con tractores de ruedas.
- Pendiente 21-35 % → Pendiente media. Zona mecanizable en curvas de nivel con tractores convencionales de cadenas.

- Pendiente 35-50 % → Pendiente alta. Zonas con dificultades de mecanización o mecanizable en curvas de nivel con equipos especiales.
- Pendiente >50 % → Pendiente muy alta. Zonas de actuación seguramente manual o en las que las labores mecanización del suelo se hará en línea de máxima pendiente.

Esta clasificación se lleva a cabo mediante la reclasificación de la pendiente con el comando *Reclassify* del “Spatial Analyst tools”.

Finalmente, la pendiente media del monte Rimenor se estima a partir de la siguiente expresión:

$$p = \frac{\sum p_i s_i}{S}$$

Donde:

p = pendiente media ponderada del monte.
p_i = pendiente media de la zona *i*-ésima.
s_i = superficie ocupada por la zona *i*-ésima.
S = superficie total del monte (ha).

La superficie de cada rango de pendientes se calcula igual que en el apartado anterior.

3.3.3.3. Mapa de orientaciones.

La orientación en un punto es el ángulo entre la proyección del vector normal a la superficie sobre el plano horizontal y el norte geográfico. Se genera con el comando *Aspect* del “Spatial Analyst tools”.

$$\gamma = \arctg \frac{a_{10}}{a_{01}}$$

3.3.3.4. Modelo de sombreado.

El modelo de sombras proporciona la iluminación hipotética de la superficie del terreno, que parte de una posición de la fuente de luz (solar) definida por el usuario. Se suele emplear para mejorar la interpretación visual del relieve topográfico.

La estimación de la luminosidad para cada celda se expresa a partir del ángulo que forman los rayos solares con la normal a la celda. Admitiendo que el Sol está en el infinito y que los rayos son paralelos.

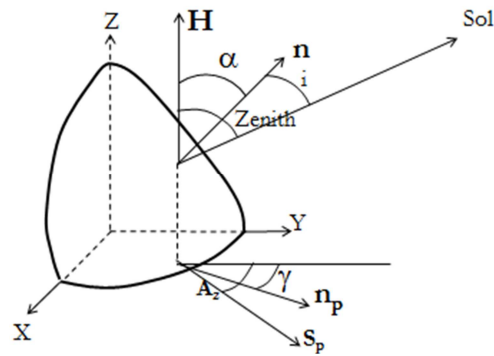


Ilustración 5. Estimación de la luminosidad. (Fuente: Ordoñez, 2014).

La expresión matemática que lo define se expone a continuación:

n = vector unitario normal a la superficie de la celda.

$$n = (\text{sen}\alpha \cdot \text{sen}\gamma, \text{sen}\alpha \cdot \text{cos}\gamma, \text{cos}\alpha)$$

s = vector unitario en la dirección del sol:

$$s = (\text{senZenith} \cdot \text{sen}A_2, \text{senZenith} \cdot \text{cos}A_2, \text{cosZenith})$$

Por tanto la iluminación de cada celda será el coseno del ángulo que forman (cos_i):

$$\text{cos}_i = n \cdot s = \text{sen}\alpha \cdot \text{senZenith} \cdot (\text{sen}\gamma \cdot \text{sen}A_2 + \text{cos}\gamma \text{cos}A_2) + \text{cos}\alpha \cdot \text{cosZenith}$$

Si $\text{cos}_i < 0$, significa que la celda está en sombra.

3.3.4. Definición de cantones.

La delimitación de distintos tipos de subdivisiones del territorio (en el caso forestal: monte, cuartel, cantón, masa, rodal) mediante sistemas de información geográfica (SIG) y su posterior geoprocésamiento es una de las aplicaciones más prácticas y directas de los SIG al desarrollo de la ordenación forestal.

El cantón es la unidad básica y permanente de referencia espacial, es decir, unidad territorial permanente con cierta homogeneidad ecológica y de calidad de estación y límites fácilmente definibles, a la que ha de referirse tanto la descripción del medio como el cálculo de existencias.

Las Instrucciones Generales de Ordenación de Montes Arbolados (1970), en su artículo 30, indican que los cantones se delimitan según los siguientes criterios:

- ✓ Homogeneidad en cuanto a la calidad de estación. Para ello, es necesario procurar que la diferencia de cota sea la mínima posible.
- ✓ Existencia de límites claros y permanentes, bien naturales (accidentes de terreno, ríos o arroyos) bien artificiales (camino, cortafuegos).

Además proponen para los cantones superficies mínimas de 10 ha. Por su parte, Pita (1973), pensando en los inventarios por muestreo, indica la necesidad de cantones cuya superficie media sean las 30 ha, siendo 50 ha el máximo recomendado.

De modo que la correcta delimitación de los cantones es esencial pues pasarán a ser las unidades territoriales permanentes en que se dividirá el cuartel.

En montes ya ordenados y, siempre que sea posible, se mantendrá la división previa de cantones.

3.3.4.1. Creación de la capa de cantones.

Siempre que se vaya a elaborar un mapa temático como el de cantones, conviene crear una nueva capa shapefile que contenga únicamente información a ese tema.

Para crear una nueva capa basta con acceder al Dataset Entidad en ArcCatalog y construir una nueva clase de entidad o *Feature class* de geometría polígono. La clase de entidad denominada “Cantones” presenta los siguientes atributos mínimos:

- ✓ Id (autonumérico). Identificación numérica del cantón.
- ✓ Superficie (doble). Superficie del cantón en hectáreas.

Posteriormente se podrán añadir más campos, o también renombrarlos o incluso borrarlos, pero no modificar los tipos ni tamaño de campo creados, por lo que conviene tener claro desde el principio el tipo de dato que se va a registrar en cada uno de ellos.


Los cantones se identifican con números y la numeración sigue una pauta en espiral, en sentido horario, y desde el exterior al interior.

3.3.4.2. Digitalización de los cantones.

Al activarse el modo de edición aparece una nueva barra de herramientas para la digitalización en pantalla. Se debe comprobar que está seleccionada la capa deseada “Cantones”.

La herramienta más útil para dibujar los primeros cantones es la “Autocompletar polígonos”. Se inicia el dibujo pinchando con el ratón sobre el primer punto y a partir de ahí se marcan los vértices continuos del polígono que definen el cantón. La herramienta polilínea irá dibujando líneas rectas entre estos vértices hasta que se complete el polígono.

Para cerrar el polígono o bien se hace doble “click” en el último punto o bien se pulsa el botón secundario del ratón y se selecciona “Finish sketch”.

Para mejorar la precisión de los polígonos creados se puede recurrir a las distintas herramientas del Zoom , así como activar el *Snapping*. El *Snapping* o forzado de cursos en edición es una herramienta que ayuda a llevar el cursor exactamente a puntos concretos como intersecciones de líneas, puntos finales, centrales, medios, etc. Esto es crucial cuando se quieren dibujar polígonos adyacentes en los que alguno de sus vértices deben coincidir, o por ejemplo cuando se va a dibujar un polígono apoyándose en la capa del límite del monte, curvas de nivel, etc.

El *Snapping* se activa desde el menú *Customize > Toolbars > Snapping*.



3.3.4.3. Edición y rectificación de vértices de los cantones.

Tras completar la digitalización de los cantones conviene revisar el trazado de su perímetro para confirmar que se ajusta a los límites permanentes identificados sobre la ortofoto y el límite del monte.

Para ello se emplea la topología. La topología en Geodatabase, es el establecimiento de restricciones de cómo se comporta la geometría los puntos, las líneas y los polígonos. La topología define y refuerza las reglas de integridad (por ejemplo no deberían de existir huecos entre polígonos). Permite realizar consultas o navegaciones sobre las relaciones topológicas, editar y crear nuevas entidades. (Esri, 2010).

Las reglas topológicas son útiles porque presenta la capacidad de localizar o evitar errores en sus datos y también solucionar con herramientas especializadas y luego validar los datos en contra de las reglas que se ha establecido. Esto ayuda a mantener la integridad de los datos espaciales. (Sánchez, 2014).

3.3.4.3.1. Flujo de trabajo de la topología.

Un flujo de trabajo de topología típica es la de crear una topología desde ArcCatalog, haciendo “click” con el botón derecho al Dataset de entidades aparece *New > Topology*. En la ventana emergente se establecen todas las propiedades, tales como las clases de elementos, filas y la tolerancia de clúster, las reglas topológicas y luego se valida.

Una vez que se valida, puede que haya errores o no. Si las hay, los errores son simbolizados en rojo y se pueden editar para corregir esos errores. Una vez editado, se debe volver a validar. Toda edición de topología se lleva a cabo en ArcMap.

Además, puede que existan ciertos errores que son una excepción, con lo cual se debe especificar a qué datos se les permite romper las reglas de topología. Estos se almacenan como excepciones en la topología.

El flujo de trabajo de la topología se describe en el siguiente esquema:

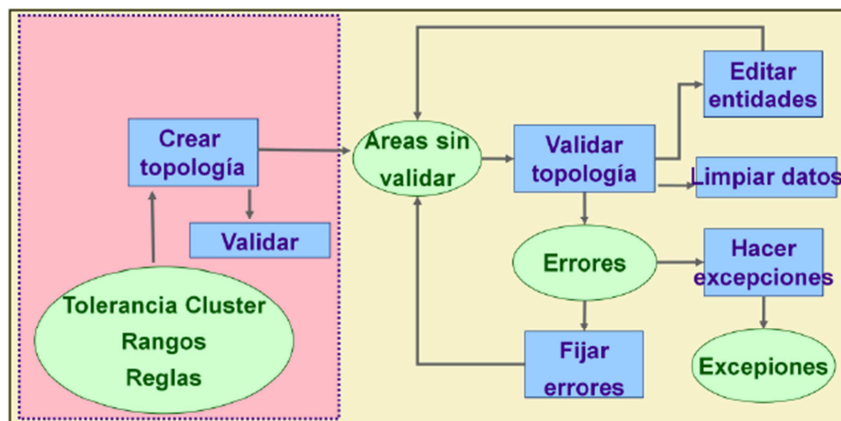


Ilustración 6. Flujo de trabajo de la topología. (Fuente: Esri, 2010).

3.3.5. Definición de masas o tipologías forestales.

Una vez concluida la división inventarial permanente (cantones) se procede a realizar la división inventarial temporal, que trata de la delimitación de las masas o tipos forestales, es decir, formaciones de vegetación susceptibles de recibir un tratamiento selvícola diferenciado. La caracterización de los tipos de masa responderá a un análisis estructurado de la composición específica, el estado de desarrollo, la cobertura arbórea, la estructura del dosel arbóreo, etc.

Cómo se verá más adelante, la superficie de la masa forestal podrá exceder la del cantón. Por el contrario, los límites del rodal no podrán exceder los del cantón en que se describen.

3.3.5.1. Criterios para la identificación de masas o tipologías forestales.

Los tipos forestales se definen fundamentalmente atendiendo a criterios de composición específica, estructura vertical y horizontal de la vegetación, estado de desarrollo y objetivos de gestión. También pueden ser factores trascendentes variables tales como el modelo de combustible, el uso social y recreativo, los estados erosivos, el origen de la masa, etc.

A su vez, cada uno de los grandes tipos estructurales se subdivide atendiendo a la composición específica y al desarrollo del estrato inferior (bien arbustivo o herbáceo), la densidad de la masa y la forma principal de la masa.

Uno de los criterios empleados en este trabajo es la de identificar hábitats susceptibles en albergar el urogallo cantábrico (*Tetrao urogallus cantabricus*), de modo que se identifican las masas según los hábitats descritos por el “Documento Técnico para la Conservación y Mejora del Hábitat del Urogallo en la Cordillera Cantábrica” (2012) trabajo realizado por la Fundación Biodiversidad (coordinado y revisado por los Comités de Gestión y Científico del proyecto LIFE + Urogallo Cantábrico), ya que, la presencia de urogallo cantábrico parece depender más de la estructura del bosque que de su edad y composición.

Masas o tipos forestales identificados.

Atendiendo al análisis de la ortofoto del monte y tras recorrer el terreno y teniendo en cuenta los criterios del apartado anterior, se identifican en la zona de estudio los diferentes tipos forestales.

Para empezar se parte del archivo shapefile de vegetación, donde se describen las principales especies presentes en la zona de estudio. Gracias a esta capa ya tenemos descritos los grandes tipos estructurales. Seguidamente, se subdividen los polígonos teniendo en cuenta los diferentes hábitats del urogallo.

El proceso de digitalización de las superficies de las masas en pantalla es el mismo que el seguido para la elaboración del mapa de cantones. Se crean nuevos polígonos a partir de la edición y se añade un nuevo atributo de texto que describe los diferentes hábitats. Además, se añade un nuevo atributo “superficie (ha)” para después calcular el área que ocupa.

3.3.6. Rodalización.

La rodalización se define como el proceso de delimitación, definición y caracterización de los diferentes rodales de un espacio forestal. La correcta y precisa realización de la rodalización es imprescindible para la toma de decisiones en la silvicultura. (Reque, 2011).

En montes de pequeña superficie de rodales pueden digitalizarse directamente siguiendo el mismo procedimiento que en la edición de polígonos tratada en los apartados anteriores.

En montes con cierta complejidad estructural o superficies superiores a 150-200 ha (Reque, 2011), la realización se simplifica notablemente superponiendo las capas de cantones y la de tipos de masa.

3.3.6.1. Obtención de rodales.

El gestor de geoprocetos de ArcSIG existe una herramienta muy útil denominada *Intersect*, que calcula la intersección geométrica de cualquier cantidad de clases de entidad y capas de entidades. Las entidades, o porción de entidades, que son comunes a todas las entradas (es decir, intersecan) se escribirán en la clase de entidad de salida.

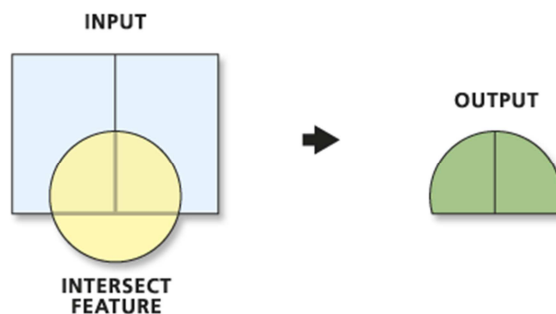


Ilustración 7. Esquema de la herramienta Intersección de ArcGIS. (Fuente: Esri, 2010).

Dicho esto, al abrir el geoproceto *Intersect* una nueva ventana solicita las dos capas que se desean cruzar: la capa de “Cantones” y la capa de “Tipos de masa”. Como se va a crear una nueva capa con esta intersección de elementos, se debe indicar la ruta de ubicación de esta capa y se le asigna el nombre de “Rodales”.

Luego, en la tabla de atributos se añade un nuevo atributo “Rodal”, donde se identificarán asignado nuevos nombres a los rodales. Se da preferencia a la numeración del cantón y se le asigna una letra minúscula correlativa con el mismo criterio anterior, es decir, siguiendo el sentido de las agujas del reloj comenzando desde el norte. Además, se actualizarán las superficies de cada cantón seleccionando con el botón derecho en el atributo “Superficie (ha)” y aplicando *Calculate geometry* en hectáreas.

Esta nueva capa está formada por las geometrías que son comunes en las dos capas de origen (es decir, sus intersecciones), más las geometrías que aparecen sólo en una o en otra capa puestas en relación. Por ese motivo es imprescindible que los vértices de los polígonos contiguos coincidan, tanto de los cantones como de los tipos de masa. De lo contrario al ejecutar el geoproceto anterior aparecerán multitud de pequeños polígonos correspondientes a los huecos o solapes que por error hubieran quedado al digitalizar.

Además, debido a la gran irregularidad de los polígonos generados, tanto de cantones como de tipos de masa, y por tanto del elevado número de vértices dibujados, a pesar de haber sido muy estrictos en la edición de estos vértices, es habitual que al ejecutar el *Intersect* el programa genere una nueva capa con muchos más polígonos de los esperados, bastantes de ellos con áreas despreciables o incluso

vacías. (Reque, 2011). Para corregir estos desbarajustes será necesario crear las reglas topológicas pertinentes y corregirlos.

3.3.7. Inventario dasocrático.

El inventario dasocrático o estudio cuantitativo de las masas forestales tiene por objeto cuantificar, con la mayor precisión posible, las características cuantitativas del rodal. La información adoptada por el inventario categórico desarrollado durante la fase de rodalización es frecuentemente insuficiente para la toma de decisiones selvícolas. Así, el conocimiento de variables como el volumen por hectárea (m^3/ha), la calidad tecnológica de los fustes o la producción de frutos son imprescindibles para la ejecución de los aprovechamientos forestales o planes de corta. (Reque, 2011).

El inventario dasométrico es, probablemente, la operación más costosa de cualquier ordenación de montes. Es por ello que la definición de la intensidad de muestreo del inventario cuantitativo deberá ser acorde a la precisión de resultados requerida. Por ejemplo, el propio valor económico de los productos forestales de cada masa justifica una mayor intensidad de muestreo.

Los inventarios dasométricos pueden ser muy variables, desde el conteo completo de todos los árboles de la masa, conocido como inventario pie a pie, hasta el muestreo estadístico. En este sentido, la toma de datos se realiza en parcelas distribuidas de forma sistemática o aleatoria en la masa forestal. Las parcelas de la forma sistemática se suelen distribuir sobre una malla de muestreo cuadrada o triangular equilátera (este último en relieves muy acusados). La estadística cobra especial importancia en éste último tipo de inventario.

De forma muy simplificada el muestreo estadístico se fundamenta en las siguientes fases:

- a) Muestreo piloto tendente a conocer la variabilidad interna de la masa.
- b) Definición del error de muestreo aceptado como máximo (según las instrucciones generales de ordenación de montes arbolados (1970) comúnmente entre el 5 y el 30% en área basimétrica (m^3/ha) o en volumen (m^3/ha).
- c) Definición de la magnitud de la muestra para el error de muestreo anteriormente definida.
- d) Disposición, y definición de las unidades de muestreo.
- e) Inventario.
- f) Análisis y proceso de datos.

El tipo de parcela más común en el inventario forestal dasométrico es circular, y en menor medida cuadrado o rectangular. Los datos obtenidos en el inventario de las parcelas se expanden después a la unidad de referencia, la hectárea.

Por convenio y para evitar confusiones, las variables a nivel de parcela se reflejan con letras minúsculas como acrónimos (n: número de pies por parcela; g: área basimétrica por parcela, etc.) y los datos expandidos a la hectárea con los mismos acrónimos en mayúsculas (N: número de pies por hectárea; G: área basimétrica por hectárea (m²/ha), etc.).

3.3.7.1. Selección de rodales objeto de inventario forestal dasométrico o zona de actuación.

El diseño del inventario dasométrico viene definido en función de las características de la masa forestal y el objeto de gestión (tipo de inventario y error, tipo de parcela, variables a medir).

En este caso, en del monte “Rimenor”, se va a plantear un inventario dasométrico para las masas susceptibles de albergar el urogallo cantábrico, de modo que se actuaran solamente en aquellos tipos de masas forestales descritos anteriormente.

La selección de los rodales objeto de análisis puede hacerse de dos maneras:

- ✓ Selección directa. Recomendable en montes de pequeñas superficies.
- ✓ Selección mediante filtros.

En la zona de estudio existen ciertas limitaciones a la hora de definir la zona de actuación: a) la fuerte pendiente y b) accesibilidad limitada. Por ello, por la complejidad que presenta el monte “Rimenor”, se decide seleccionar los rodales objeto de actuación mediante filtros de selección:

El primer paso es asignar una zona de influencia con el comando *Buffer*, ya que, se pretende actuar solamente en aquellos rodales que disten 150 metros de los caminos forestales. Además, sólo se actuará en las zonas donde la altitud sea inferior a 1000 metros, ya que, a más altura significa mucho esfuerzo. Para ello, de la capa de altitudes separada por rangos, se seleccionan los rangos inferiores a 1000 metros y se crea una nueva capa a partir de esta selección, haciendo un “click” con el botón derecho y seleccionando *Data > Export Data > Selected features*. En tercer lugar, se seleccionan sólo aquellos rodales que presenten especies inventariables y por último, se decide que los rodales 3a, 4a, 4b, 4d, 5a y 5e se actúa en su totalidad. Tras obtener estas cuatro restricciones, se unen con el comando *Merge* del menú Geoprocesamiento y dará el resultado como la zona de actuación en formato shapefile.

3.3.7.2. Creación de puntos de muestreo.

Existen dos métodos para la creación de los puntos de muestreo, según si se escoge un método u otro. Es decir, si se decide aplicar el método aleatorio simple (m.a.s), se emplea la creación de puntos aleatorios. Sin embargo, si se decide utilizar el método sistemático, se acude a la creación de la malla de muestreo o “rejilla”. A continuación se expone cómo se construyen los dos métodos.

3.3.7.2.1. Creación de puntos aleatorios de muestreo.

Para crear una serie de puntos aleatorios de forma práctica y sencilla se recurre al apoyo del comando *Create random points* del “Data Management tools”. En la ventana emergente se introduce el número de puntos (en este caso parcelas) que se desean, obtenido gracias al cálculo del error de muestreo, y la distancia mínima que deben mantener las parcelas entre sí.

3.3.7.2.2. Creación de la malla de muestreo “rejilla”.

Para crear la malla de muestreo se recurre al apoyo de la herramienta *Create Fishnet* del “Data Management tools”. En la ventana que se despliega se introducen las propiedades de la malla, la extensión de la malla, la altura de cada celda, así como su ancho, el número de filas y columnas, el tipo de geometría (cuadrado, rectangular, triangular), etc. Finalmente, cada centro de la malla corresponderá a la parcela de muestreo, para ello tan sólo se debe activar la pestaña *Create Label points*.

3.3.7.3. Cálculo de las coordenadas X e Y de cada parcela.

Para obtener las coordenadas una vez tenemos la capa de puntos que representan las parcelas, solamente se debe ejecutar el comando *Add XY coordinates* del “Data Management tools”, que directamente añadirá dos nuevas columnas en la tabla de atributos denominadas *Cood X* y *Coord Y*.

Estas coordenadas se pueden exportar a .dbf, formato que se puede abrir desde Excel, mediante *Data > Export data*. Este listado se imprime para poder llevarlo a campo o transferir los datos al GPS.

Se recomienda siempre llevar una copia impresa, ya que, puede en el campo el instrumento digital GPS falle.

3.3.8. Cartografía

Los sistemas de información geográfica permiten plasmar los resultados de los diferentes análisis espaciales en mapas cartográficos (mapas, planos, croquis) y obtener representaciones exportables a formato papel, imagen (.jpg, .png, .tiff, etc.) y archivo comprimido (.pdf). A través del diseño de página o *Layout view*, ArcSIG tiene

una serie de herramientas dirigidas a la automatización de las tareas de edición de cartografía enfocado al trabajo a grandes producciones cartográficas. (Reque, 2011).

La cartografía mínima que tradicionalmente incluye un proyecto de planificación forestal son (González *et al.*, 2006):

- a) Mapas de situación y localización (escala 1/50.000 a 1/25.000).
- b) Mapa general topográfico en el que se reflejen los límites del monte (escala 1/10.000 a 1/5.000).
- c) Mapa del estado forestal (vegetación, cantones, masas forestales, rodales, etc.) (escala 1/10.000 a 1/25.000).
- d) Mapa de gestión (actuaciones, propuestas a nivel rodal, etc.) (escala 1/10.000 a 1/5.000).

Todo mapa o plano forestal debe contener, junto a la representación gráfica, como mínimo, los siguientes elementos.

- a) Título y numeración del mapa y del proyecto.
- b) Autor, sello de la empresa y promotor.
- c) Fecha.
- d) Escala.
- e) Información cartográfica: sistema de referencia cartográfica – Datum.
- f) Rejilla de coordenadas y Norte.
- g) Fuente u origen de la que se ha descargado la información de la cartografía digital (en el caso de trabajar con ortofotos o capas de cartografía (altimetría, hidrografía, vías de comunicación, etc.)).

La edición gráfica de los mapas está sujeta a una serie de normas UNE, las más relevantes se detallan seguidamente.

3.3.8.1. UNE –EN ISO 9431:1990. Dibujos en construcción. Espacios para dibujo y texto, cuadros de rotulación en formatos de dibujo.

Esta norma internacional especifica los requerimientos concernientes a la colocación, esquema y contenido de los espacios para dibujo, texto y bloques de títulos en los dibujos de arquitectura y construcción.

El espacio de un formato de dibujo se divide principalmente en:

1. Un espacio de dibujo. Las figuras comprendidas en el dibujo deben ser disponerse en filas horizontales y columnas verticales. Una figura principal, si se identifica como tal, debe situarse en la parte superior izquierda. Si es posible debe considerarse la posibilidad de colocarla en el espacio correspondiente a un plegado en A-4 de la hoja de dibujo.

2. Un bloque de títulos o “cajetín”. Ver norma UNE-EN ISO 7200:2004.
3. Un espacio de texto. El espacio para texto en una hoja de dibujo debe contener toda la información necesaria para comprender el contenido del dibujo, excepto el texto que necesita ir situado al lado de las figuras dispuestas en el espacio de dibujo. Existen 2 formatos:
 - a) El espacio para texto debe reducirse normalmente en el borde derecho de la hoja de dibujo (véase ilustración 8). El ancho del espacio debe ser igual al del bloque del título, es decir, 170 mm como máximo y 100 como mínimo.

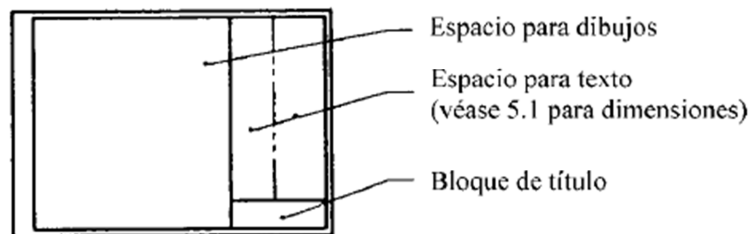


Ilustración 8. Esquema general del espacio de un formato de dibujos con el espacio para textos situado en el borde derecho de la hoja. (AENOR, 2000).

- b) Si el espacio para texto ocupa todo el ancho de la hoja de dibujo, éste debe situarse normalmente en el borde inferior de la hoja de dibujo (véase ilustración 9). La altura y el espacio a utilizar se elegirá según necesidad. El espacio de texto debe dividirse en columnas de ancho apropiado, si es posible, debe tenerse en cuenta los pliegues del dibujo al decidir el ancho de columna.

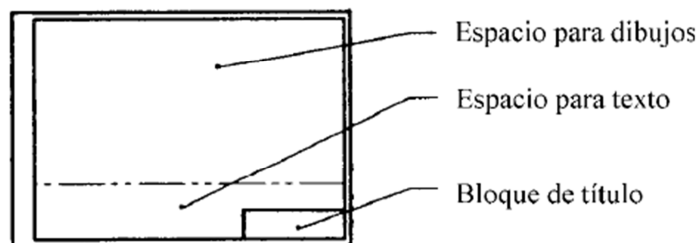


Ilustración 9. Esquema general del espacio de un formato de dibujos con el espacio para textos que ocupan todo el ancho de la hoja. (AENOR, 2000).

3.3.8.2. UNE -EN ISO 7200:2004. Campos de datos en bloque de títulos y en cabeceras de documentos.

Esta norma especifica los campos de datos que se utilizan en los bloques de títulos y en las cabeceras de los documentos técnicos de productos. La finalidad de la misma es facilitar el intercambio de documentos y asegurar la compatibilidad de éstos, mediante la definición de los nombres de los campos, su contenido, y su longitud.

Campos de datos de identificación.

1. Propietario legal. En el nombre del propietario legal del documento, por ejemplo, razón social, compañía, empresa, etc. Debería ser el nombre del propietario oficial, un nombre comercial resumido o un logotipo de presentación.
2. Número de identificación. Se utiliza como la referencia del documento. El número de identificación debe ser único.
3. Fecha de edición. Es la fecha en la cual el documento se publica oficialmente por primera vez, y la de cada nueva versión posterior.
4. Número de segmento/hoja. Es el número total de segmentos o de hojas que constituyen el documento.
5. Código de idioma. Se utiliza para indicar el idioma en que se presentan las partes del documento. Siempre que sea posible, los documentos se deberían presentar en versión de un solo idioma.

Campos de datos descriptivos.

1. Título. Indica el contenido del documento. Una buena descripción facilita la búsqueda y la recuperación de un documento. Se deberían evitar las abreviaturas.
2. Título suplementario (opcional). Se puede utilizar para proporcionar información adicional sobre el objeto. Se deberían evitar las abreviaturas.

Campos de datos administrativos.

1. Departamento responsable. Es el nombre o código de la unidad de la organización que es responsable del contenido y del mantenimiento del documento en la fecha de edición.
2. Referencia técnica. En el nombre de la persona que tiene conocimiento suficiente del contenido técnico del documento para ser asignada como la persona de contacto, y que contestará, coordinará y tomará decisiones cuando

existan dudas. Debe ser una persona que pertenezca a la organización del propietario legal.

3. Aprobado por. El nombre de la persona que aprueba el documento.
4. Creado por. El nombre de la persona que ha preparado o revisado el documento.
5. Tipo de documento. El campo de tipo de documento incida la finalidad del documento con respecto a la información que contiene y al formato de presentación.

El bloque de títulos se dispone en el margen derecho inferior del documento.

La anchura total es de 180 mm que corresponde al formato A4, con el margen izquierdo de 20 mm y el margen derecho de 10 mm. Para todos los tamaños de papel se utiliza el mismo bloque de títulos.

3.3.8.3. UNE-EN ISO 5457:1999. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo.

En esta norma internacional se especifican los formatos y la presentación de las hojas de dibujo preimpresas que se han de utilizar para todo tipo de dibujo técnico.

Formatos de la serie A, ISO.

En conveniente realizar el dibujo original sobre un soporte del formato más pequeño con el que se consiga la claridad y nitidez requeridas.

En las ilustraciones siguientes, figuran los formatos preferibles de las hojas acabadas y provisionales, así como del área de dibujo, de la serie principal A.

Dimensiones en milímetros

| Designación | Figura | Hoja acabada (T) | | Área de dibujo | | Hoja provisional (U) | |
|-------------|--------|------------------|-------------|--------------------|--------------------|----------------------|------------------|
| | | a_1 1) | b_1 1) | a_2 $\pm 0,5$ | b_2 $\pm 0,5$ | a_3 ± 2 | b_3 ± 2 |
| A0 | 1 | 841 | 1 189 | 821 | 1 159 | 880 | 1 230 |
| A1 | 1 | 594 | 841 | 574 | 811 | 625 | 880 |
| A2 | 1 | 420 | 594 | 400 | 564 | 450 | 625 |
| A3 | 1 | 297 | 420 | 277 | 390 | 330 | 450 |
| A4 | 2 | 210 | 297 | 180 | 277 | 240 | 330 |

NOTA – Para formatos > A0, véase ISO 216.

1) Para las tolerancias, véase ISO 216.

Ilustración 10. Formatos de las hojas acabadas y provisionales y del área de dibujo. (AENOR, 2000).

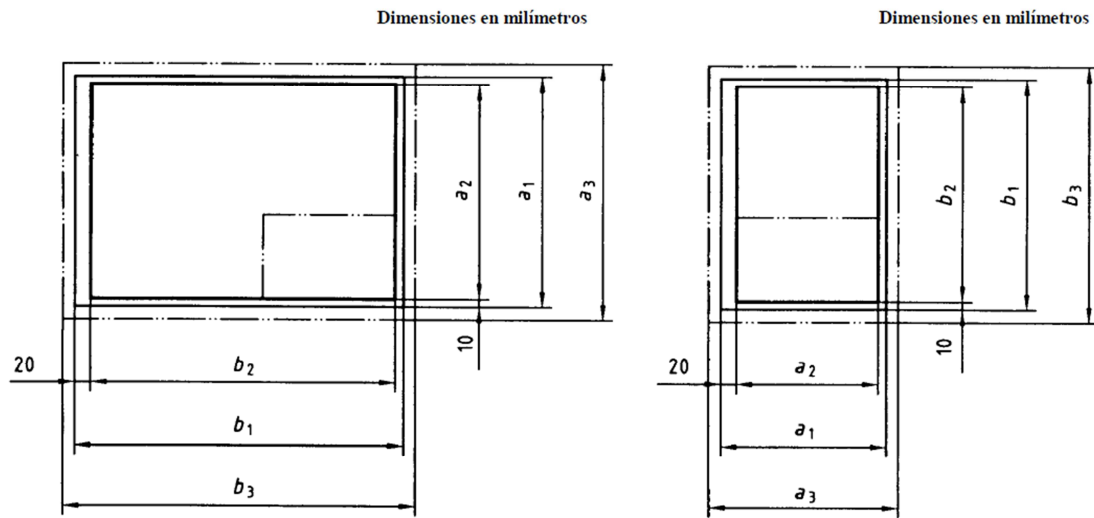


Ilustración 11. La figura de la izquierda representa las dimensiones de los formatos A3 a A0. En la derecha, en cambio, para el formato A4. (AENOR, 2000).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Esquema de la Geodatabase.

Las ortofotos están georeferenciadas bajo el sistema de referencia cartográfica ETRS89 UTM Zona 29 Norte. Sin embargo, las capas vectoriales están bajo el ETRS89 UTM Zona 30 Norte. De modo es de sumo interés iniciar cualquier proyecto SIG definido bajo el mismo sistema de referencia.

El hecho de que los datos de partida estén en diferentes sistemas de referencia es habitual, ya que, la zona de estudio se encuentra aproximadamente en la zona de transición entre el huso 29 y 30. Una manera de definir en qué uso se trabajará, basta en identificar el centro de masas de la zona de estudio y ver en qué huso cae. En este caso práctico, el centroide se encuentra en la Zona 29 Norte.

De modo que a la hora de crear nuevos Datasets de entidad, el sistema de referencia que les serán asignados es la ETRS89 UTM Zona 29 Norte. El esquema de geodatabase de partida se muestra a continuación:

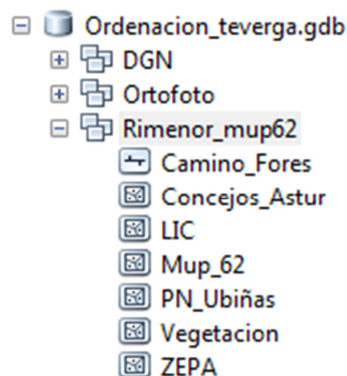


Ilustración 12. Esquema de geodatabase que parte el trabajo para el proyecto de ordenación del MUP núm. 62 “Rimenor”.

Esto ofrece una gran ventaja y ahorro de tiempo, ya que, si se hubiera hecho de otra forma, se tendría que ir cambiando uno por uno al sistema de coordenadas deseado.

De igual modo se crea un Dataset de raster, donde se introducirán los rasters creados en los apartados siguientes. Este Dataset, permitirá introducir rasters con un mismo sistema de coordenadas, ETRS89 UTM Zona 29 Norte, y con un único tamaño de celda que es de 1m.

Por tanto el esquema final es:



Ilustración 13. Esquema final del Geodatabase de la Ordenación forestal del MUP núm. 62 “Rimenor”.

4.2. Modelo Digital de Elevaciones.

4.2.1. Capa 1: Curvas de nivel.

Las curvas de nivel de las hojas objeto de estudio se encuentran en la capa 040104 y 040102. No obstante, la capa 040202 se debe desestimar, ya que, hace referencia a pequeños cruces y no presenta cota.

Por tanto, el variable de valor o la expresión utilizada es:

'Layer' LIKE '40%' AND NOT 'Layer' = '040202' AND 'Elevation' <> 0'

Una vez introducido el variable de valor y ejecutado el modelo, el resultado es el siguiente:

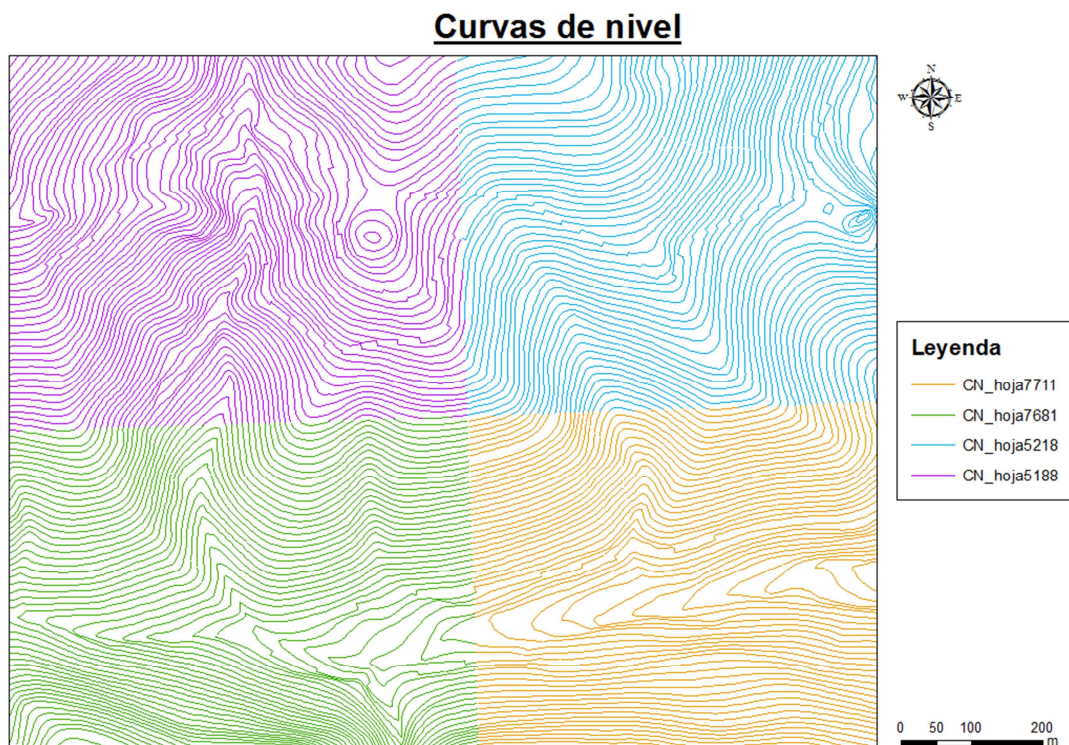


Ilustración 14. Curvas de nivel de la zona de estudio a partir de las hojas de DGN (7711, 7681, 5218 y 5188). En esta ilustración no se muestra toda la zona de estudio, ya que, debido a la densidad de las líneas, impide visualizarlos correctamente. De modo que sólo aparece parte de la zona de estudio.

4.2.2. Capa 2: Hidrografía.

Del mismo modo que el anterior, después de indagar las hojas del DGN *polyline*, se concluye que las líneas referidas a la hidrografía se encuentran en la capa 050%. Así pues, la expresión que acompaña es:

'Layer'LIKE '50%'AND 'Elevation' <> 0'

El resultado después de ejecutar el modelo con la expresión correspondiente se plasma a continuación:

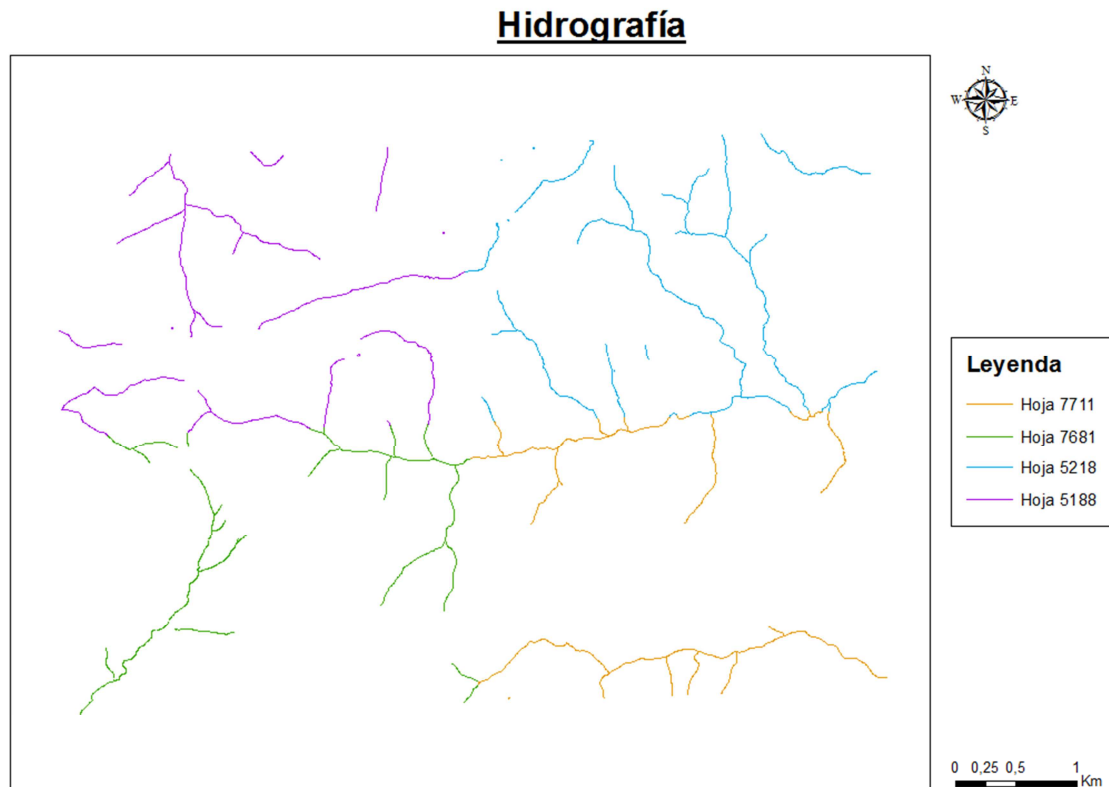


Ilustración 15. Hidrografía de la zona de estudio a partir de las hojas de DGN (7711, 7681, 5218 y 5188).

4.2.3. Capa 3: puntos de cota.

Al cargar los puntos de cota, se observa una nube de puntos distribuidos por toda la zona de estudio. En primer lugar, para poder calcular el error del MDE, es necesario retirar unos cuantos puntos para que posteriormente formen parte en los puntos de control. Se retiran 64 puntos de un total de 686, de modo que se retiran aproximadamente el 10% de los puntos.

El resto de puntos, los 622, formaran parte del MDE. La expresión que los define es la siguiente:

```
'Layer'LIKE '040%' OR 'Layer'LIKE '090%'OR 'Layer'LIKE '100%'AND 'Elevation'
<> 0
```

El resultado de los puntos altimétricos, tras la ejecución del modelo se muestra en ilustración siguiente:

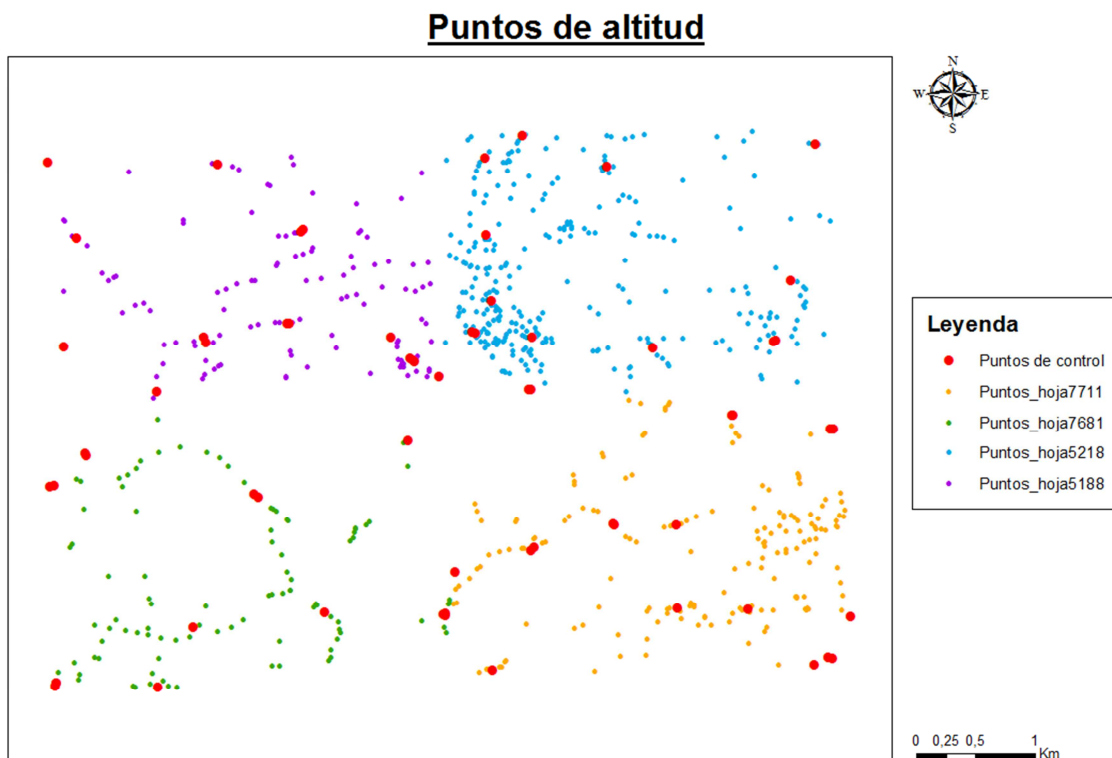


Ilustración 16. Puntos altimétricos de la zona de estudio a partir de las hojas de DGN (7711, 7681, 5218 y 5188). En color rojo se aprecian los puntos de control utilizados para el cálculo del error del MDE.

4.2.4. Construcción del TIN.

En la creación de la triangulación forman parte los tres elementos anteriores: las curvas de nivel, hidrografía y puntos altimétricos.

El resultado es el siguiente:

Red de Triángulos Irregulares (TIN)

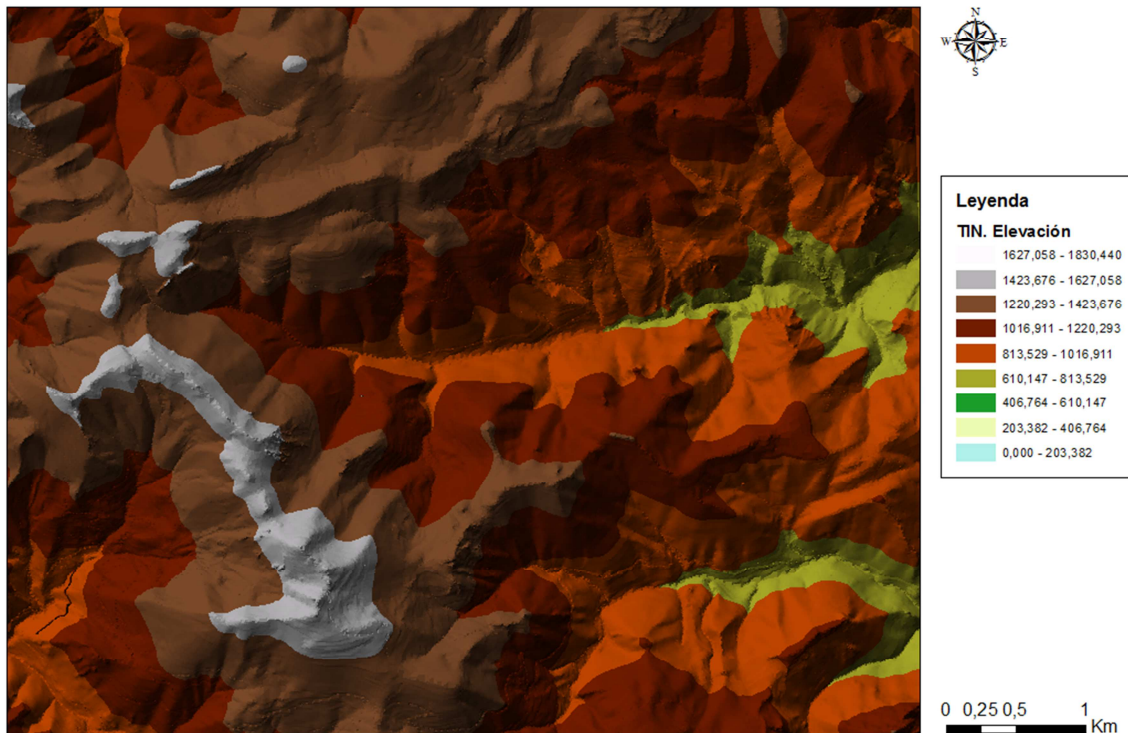


Ilustración 17. Red de triángulos irregulares (TIN) de la zona de estudio. Creado a partir de los archivos de curva de nivel, hidrografía y puntos altimétricos de las hojas de DGN (7711, 7681, 5218 y 5188).

4.2.5. Construcción del MDE raster.

Tras obtener el MDE vectorial en formato TIN, sólo queda rasterizar para obtener un MDE de malla regular. Debido a que el monte “Rimenor” no representa una gran superficie, se considera suficiente un tamaño de celda de un metro. El resultado final del MDE es:

Modelo Digital de Elevaciones (MDE)

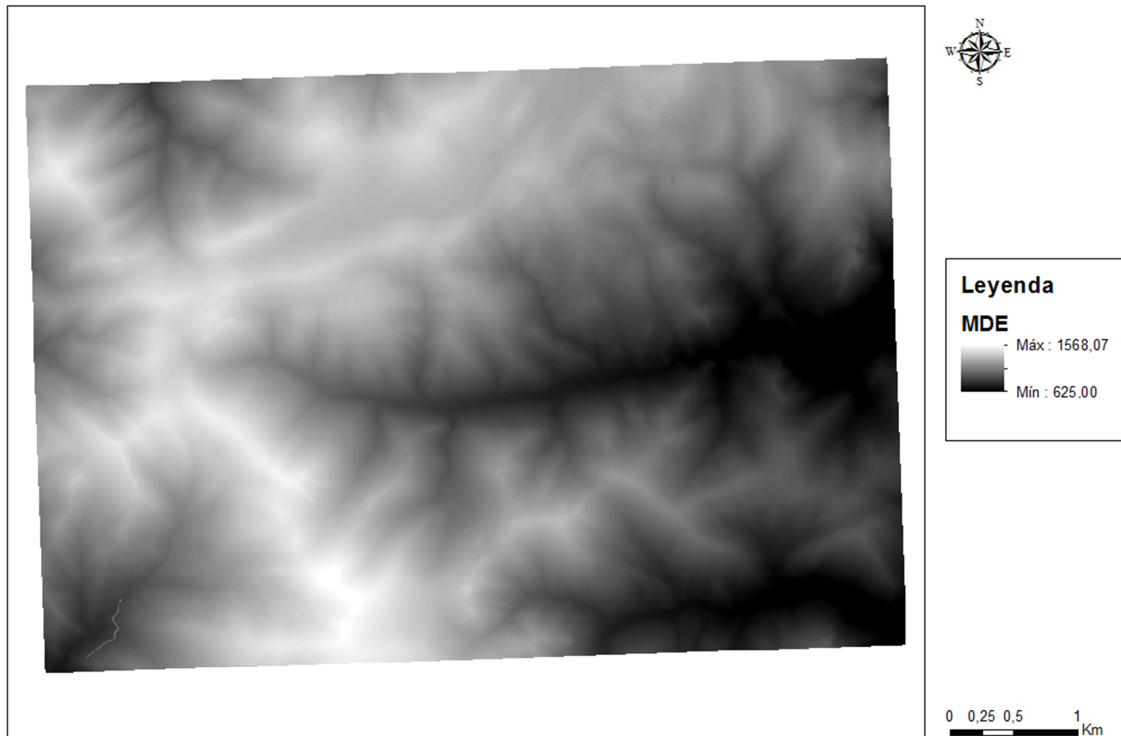


Ilustración 18. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la zona de estudio. Creado a partir del MDE vectorial en formato TIN.

El MDE muestra que la zona de actuación presenta una altitud máxima de 1568.07 metros y una mínima de 625.00 metros.

4.2.6. Errores del MDE.

Los errores que presenta el MDE construido, representados en error máximo (EM), error máximo absoluto (EMA) y el error medio cuadrático (EMC) son:

$$EM = 1.49$$

$$EMA = 0.16$$

$$EMC = \sqrt{0.078} = 0.28$$

Sabiendo que la escala del MDE vectorial de partida es de 1:5.000, y por tanto la equidistancia entre las curvas de nivel es de 5 metros, el error altimétrico admisible es de:

$$\text{Error altimétrico admisible} = \frac{1}{3} * 5 = 1.67 \text{ m}$$

El MDE resultante presenta errores máximos, errores máximos absolutos, y errores medios cuadráticos inferiores al error altimétrico admisible. De modo que, el MDE construido es adecuado, ya que, no aumenta los errores que por defecto ya existen en las hojas de DGN originales.

Mediante la interpolación del vecino más próximo se muestra la distribución de los errores medios cuadráticos del MDE:

Distribución de los errores del MDE

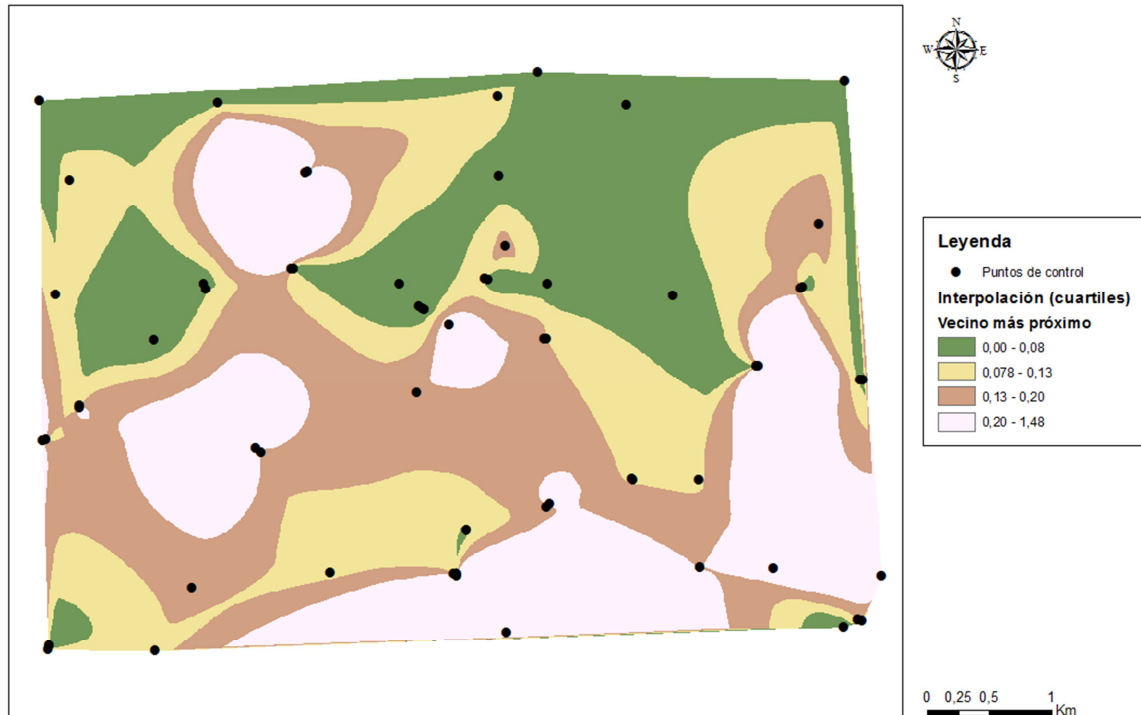


Ilustración 19. Distribución de los errores medios cuadráticos (emc) del MDE clasificados por cuartiles mediante el método de interpolación del vecino más próximo. Clasificación por cuartiles.

Esta interpolación demuestra que los máximos errores medios cuadráticos del MDE se encuentran aproximadamente en las altitudes máximas.

4.3. Modelos derivados.

4.3.1. La altitud.

La amplitud de los intervalos de altura es de 100 metros, partiendo desde los 700 metros hasta 1600 metros que presenta el monte "Rimenor". La superficie que ocupa cada rango altitudinal se expone en la siguiente tabla:

Tabla 3. Características de cada rango altitudinal del monte "Rimenor".

| Altura (m) | Altura media (m) | Superficie (ha) |
|--------------|------------------|-----------------|
| 700-800 | 750 | 10.90 |
| 800-900 | 850 | 36.33 |
| 900-1000 | 950 | 61.99 |
| 1000-1100 | 1050 | 94.63 |
| 1100-1200 | 1150 | 92.64 |
| 1200-1300 | 1250 | 78.58 |
| 1300-1400 | 1350 | 58.81 |
| 1400-1500 | 1450 | 50.52 |
| 1500-1600 | 1550 | 14.60 |
| Total | | 499.00 |

Seguidamente se presenta el porcentaje de superficie ocupado por cada rango de altitudes:

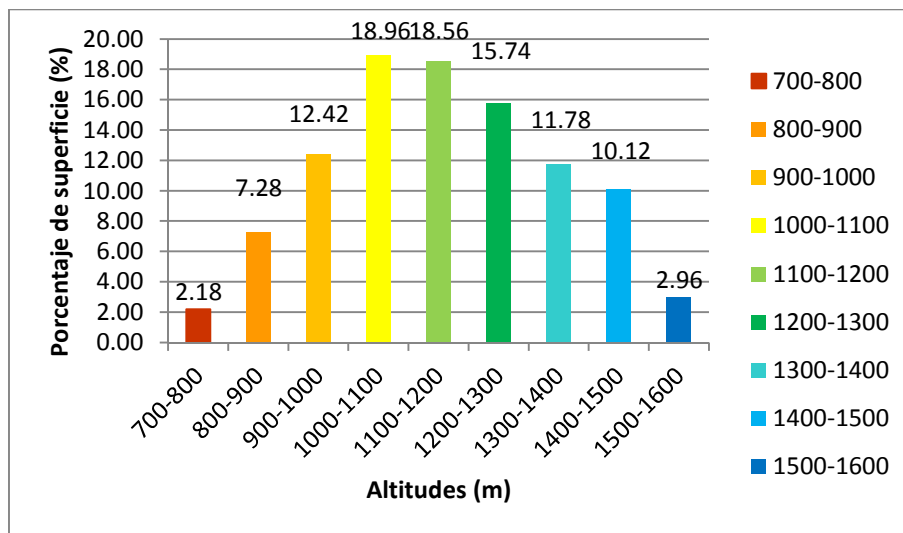


Gráfico 1. Distribución de altitudes con respecto a la superficie total (ha) del monte.

Rango de altitudes

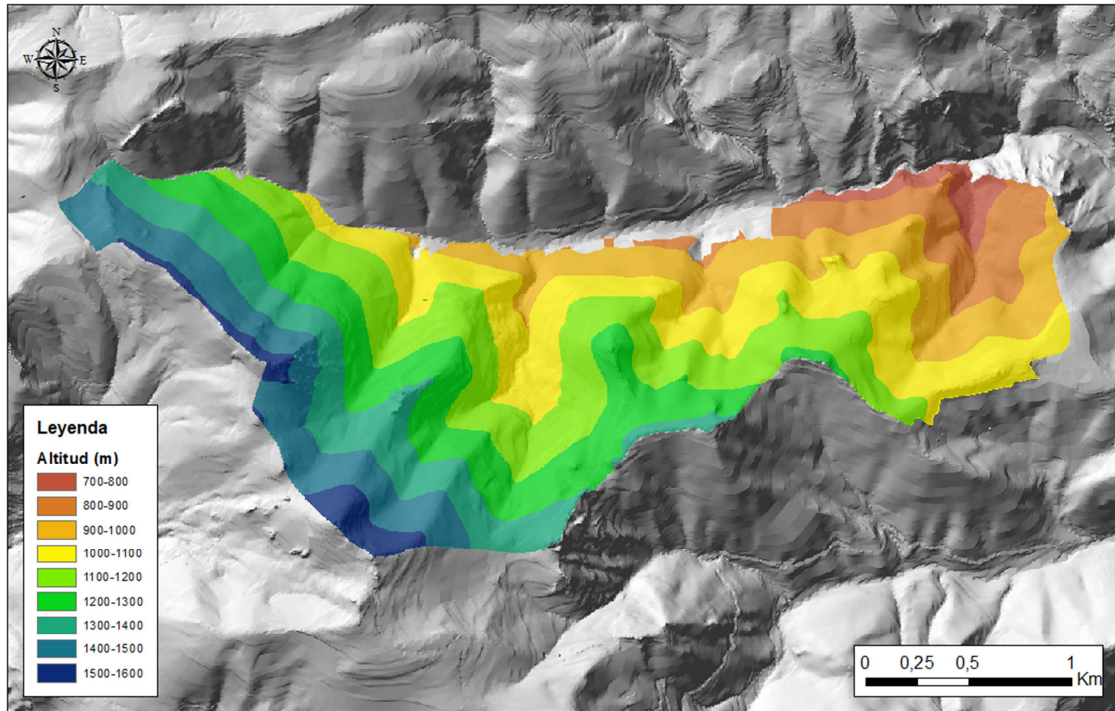


Ilustración 20. Altitudes del monte "Rimenor" creado a partir del MDE.

El monte se caracteriza por un relieve abrupto que se acentúa a medida que se avanza hacia el suroeste. El rango de altitudes varía desde los 725 metros en la zona noroeste del monte (donde discurre el río Taja), a altitudes como los 1568.07 m de la cima "La Forca". La altitud media del monte es de 1157.15 metros.

4.3.2. Pendientes.

Las superficies que ocupa cada rango de pendientes se ofrece en la siguiente tabla:

Tabla 4. Distribución de superficies en función de la pendiente.

| Pendiente (%) | Pendiente media (%) | Superficie (ha) |
|---------------|---------------------|-----------------|
| 0-15 | 7.5 | 11.32 |
| 15-35 | 25 | 40.18 |
| 35-50 | 42.5 | 117.20 |
| >50 | 75 | 330.30 |
| TOTAL | | 499.00 |

En el gráfico 2 se expone el porcentaje de superficie ocupado por cada rango de pendiente:

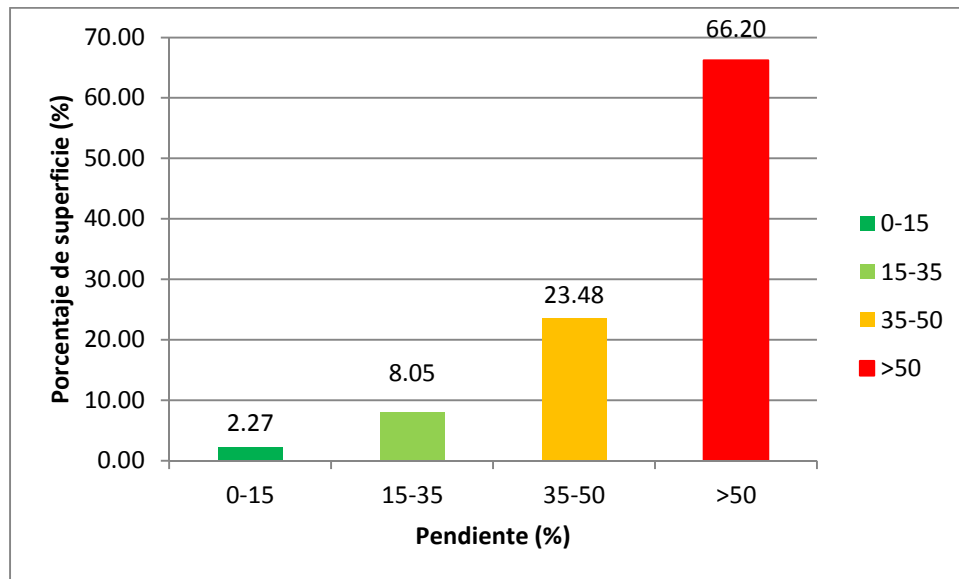


Gráfico 2. Distribución de pendientes con respecto a la superficie total (ha) del monte.

Rango de altitudes

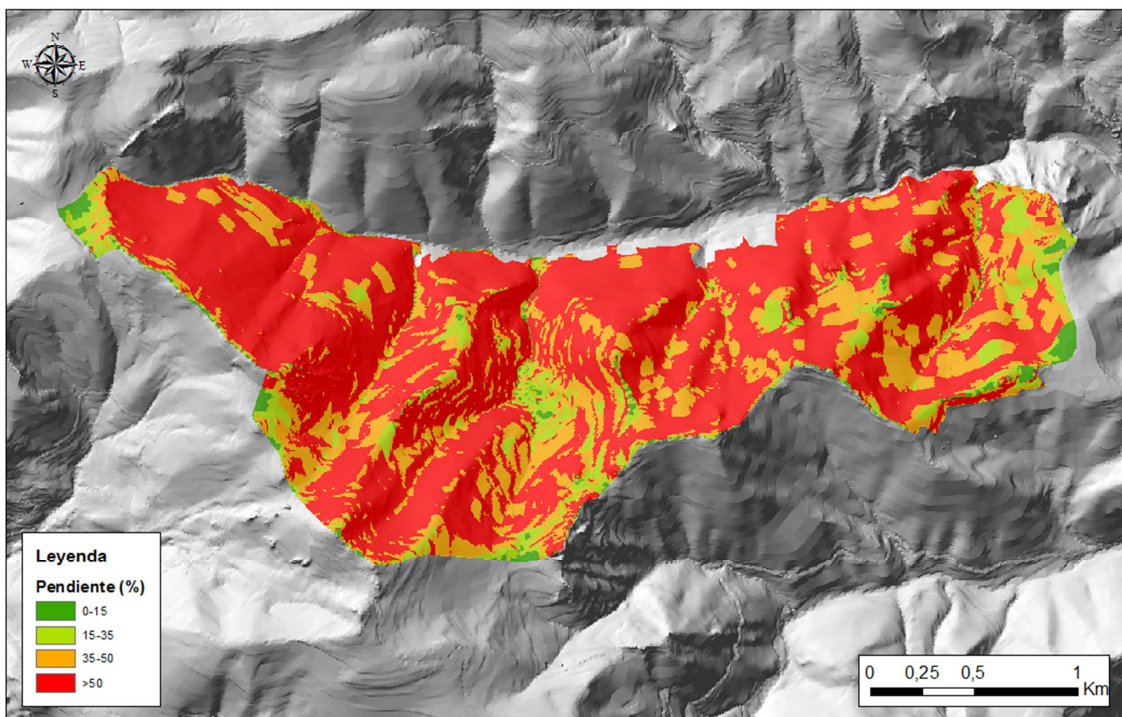


Ilustración 21. Pendientes del monte "Rimenor" construido a partir del MDE. Clasificación según criterio Serrada (2000). Sistemas de coordenadas ETRS89 UTM Zona 29 Norte.

El principal condicionante para el aprovechamiento maderable de los montes en la Comarca, y en general en Asturias, es el relieve que dificulta las labores de mecanización y aumenta los costes de explotación. La mayor parte del territorio presenta pendientes muy acusadas, siendo el 66.20 % del monte de pendiente muy

alta y un 23.48 % con pendiente alta. Cabe destacar que apenas el 10 % de la zona presenta un pendiente media-baja.

4.3.3. Orientaciones

La distribución de la superficie para cada orientación es:

Tabla 5. Distribución de superficies en función de la orientación.

| Orientación | Superficie (ha) |
|-----------------|-----------------|
| Sin orientación | 2.77 |
| Norte | 153.19 |
| Noreste | 125.15 |
| Este | 16.04 |
| Sureste | 3.07 |
| Sur | 0.74 |
| Suroeste | 4.62 |
| Oeste | 32.70 |
| Noroeste | 81.51 |
| TOTAL | 499.00 |

En el gráfico 3 se muestra el porcentaje de superficie ocupado por cada rango de orientación:

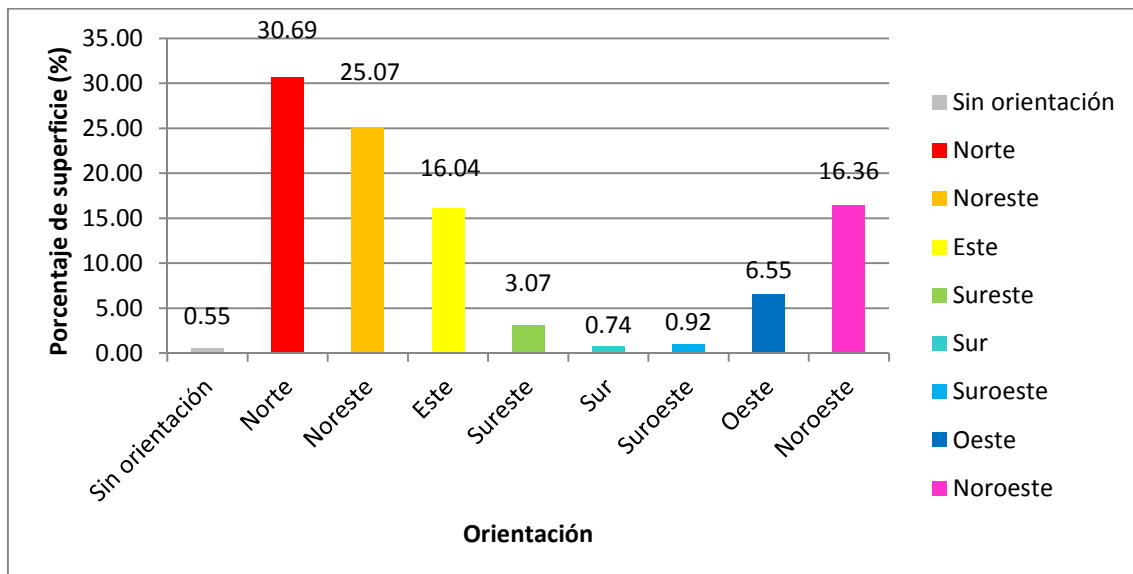


Gráfico 3. Distribución de las orientaciones con respecto a la superficie total (ha) del monte "Rimenor".

Orientaciones

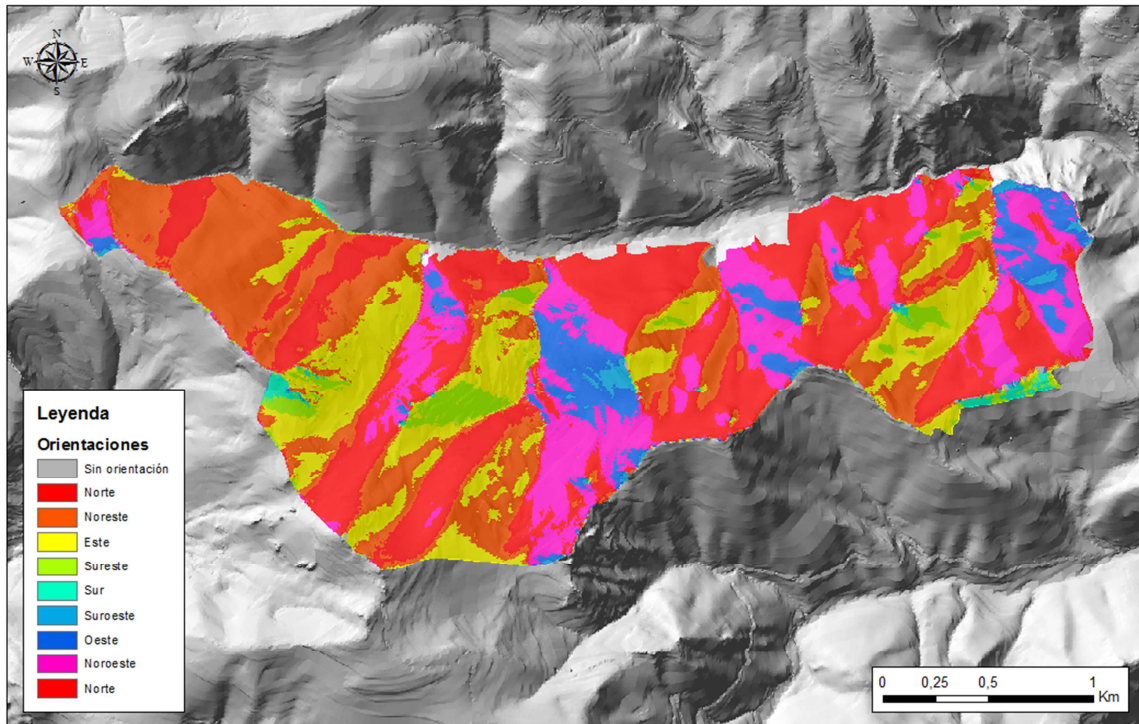


Ilustración 22. Orientaciones del monte “Rimenor”, creado a partir del MDE. Sistema de coordenadas ETRS89 UTM Zona 29 Norte.

La orientación predominante es la orientación Norte y Noreste, por tanto se trata de zonas umbrías, ocupando un 30.69 % y 25.07 % respectivamente.

4.3.4. Modelo de sombreado.

Su uso estará limitado a mejorar la interpretación visual del relieve topográfico.

Modelo de sombreado

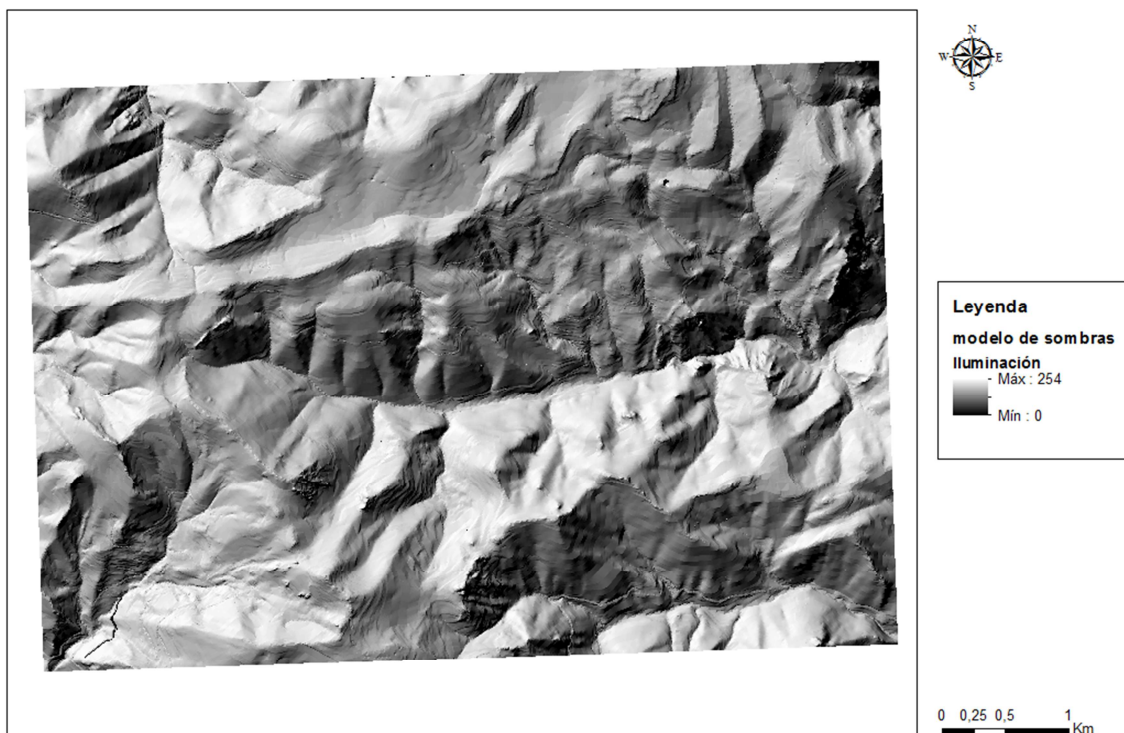


Ilustración 23. Modelo de sombreado de la zona de estudio generado a partir del MDE.

4.4. Definición de los cantones

En este proyecto se siguen los criterios arriba citados, poniendo especial cuidado en que los factores que definen la calidad de estación (cota, pendiente, orientación) sean los más homogéneos posibles. Se buscan también límites evidentes y perdurables en el tiempo y se procura que cada cantón tenga un fácil acceso a las vías de saca para optimizar el proceso de explotación. El resultado es la división en 6 cantones, con superficies máximas y mínimas de los cantones, 120.49 ha y 16.60 ha respectivamente; con una superficie media de 78.82 ha. Los cantones de este proyecto superan a la superficie recomendada, ya que, se intenta homogeneizar los máximo posible. En la tabla 6 se caracteriza con mayor detalle:

Tabla 6. Descripción de los cantones del monte “Rimenor”. Unidades en hectáreas.

| Cantón | Haya | Roble | Abedul | Acebo | Matorral | Pasto | Prados | Inforestal | TOTAL |
|--------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| 1 | 35.78 | | 18.55 | | 54.86 | 0.74 | | 10.56 | 120.49 |
| 2 | 26.23 | | 11.68 | | 33.79 | 0.60 | | 2.46 | 74.76 |
| 3 | 97.91 | | 6.62 | | 12.86 | | | 1.08 | 118.47 |
| 4 | 80.06 | | | | 2.39 | | 0.87 | 0.89 | 84.21 |
| 5 | 11.12 | 0.67 | | | 2.74 | | | 2.07 | 16.60 |
| 6 | 24.45 | | 6.55 | 0.86 | 23.37 | 2.59 | | 0.55 | 58.37 |
| TOTAL | 275.55 | 0.665 | 43.40 | 0.86 | 130.01 | 3.93 | 0.87 | 17.61 | 472.90 |

La digitalización de los cantones se muestra seguidamente:

División en Cantones

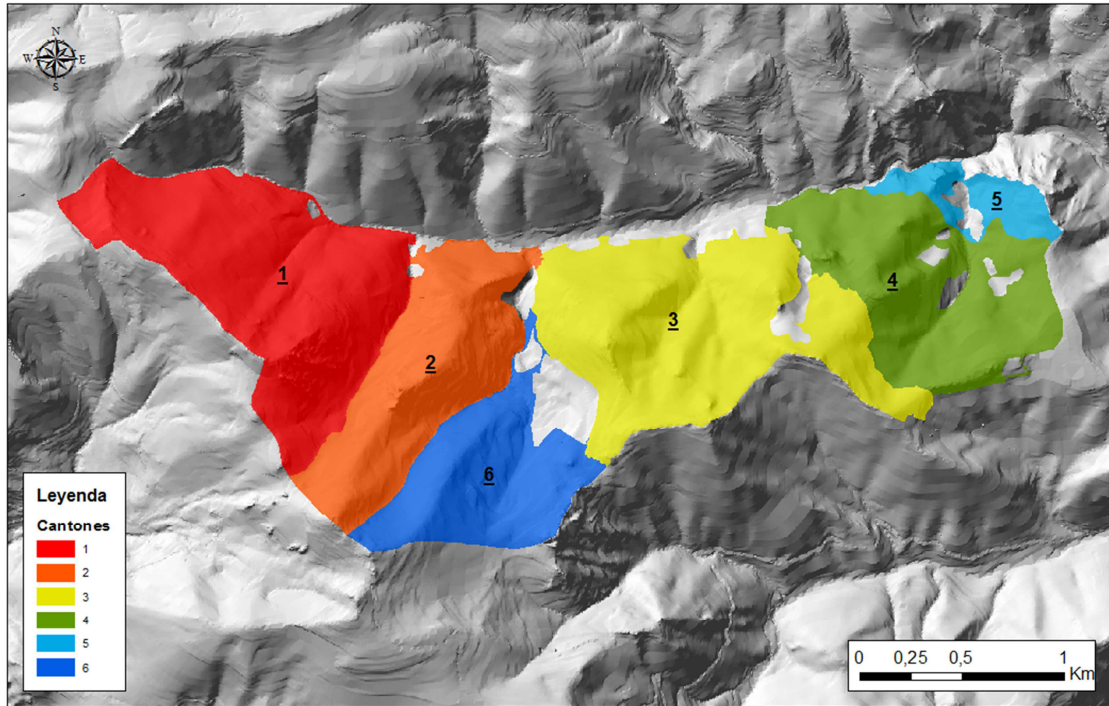


Ilustración 24. División de cantones del MUP nº 62 "Rimenor". Creado manualmente mediante las herramientas de edición.

4.4.1. Correcciones topológicas.

Tras completar la digitalización de los cantones se procede a revisar el trazado de su perímetro para confirmar que se ajusta a los límites permanentes identificados sobre la ortofoto y el límite del monte.

Las reglas topológicas que son de interés se describen a continuación:

- La capa de "Cantones" no debe presentar hueco alguno.
- La capa de "Cantones" no debe presentar solapamientos.
- La capa de "Cantones" debe estar cubierto por la capa que define el límite del monte.

Una vez se valida, se observa que existen un total de 108 errores. Estos errores deben ser corregidos mediante las herramientas de edición. A modo de ejemplo se muestran los 108 errores que detecta el programa.

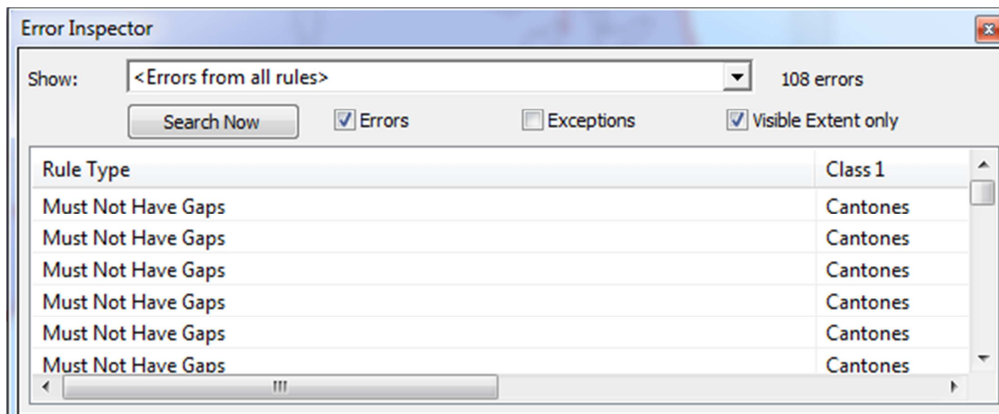


Ilustración 25. Ejemplo de los errores detectados por el programa para el shapefile “Cantones”.

Sin embargo, existen ciertas excepciones a las reglas establecidas:

- a) Las áreas que corresponden a los enclavados corresponden a huecos.
- b) El límite exterior del monte también es hueco.

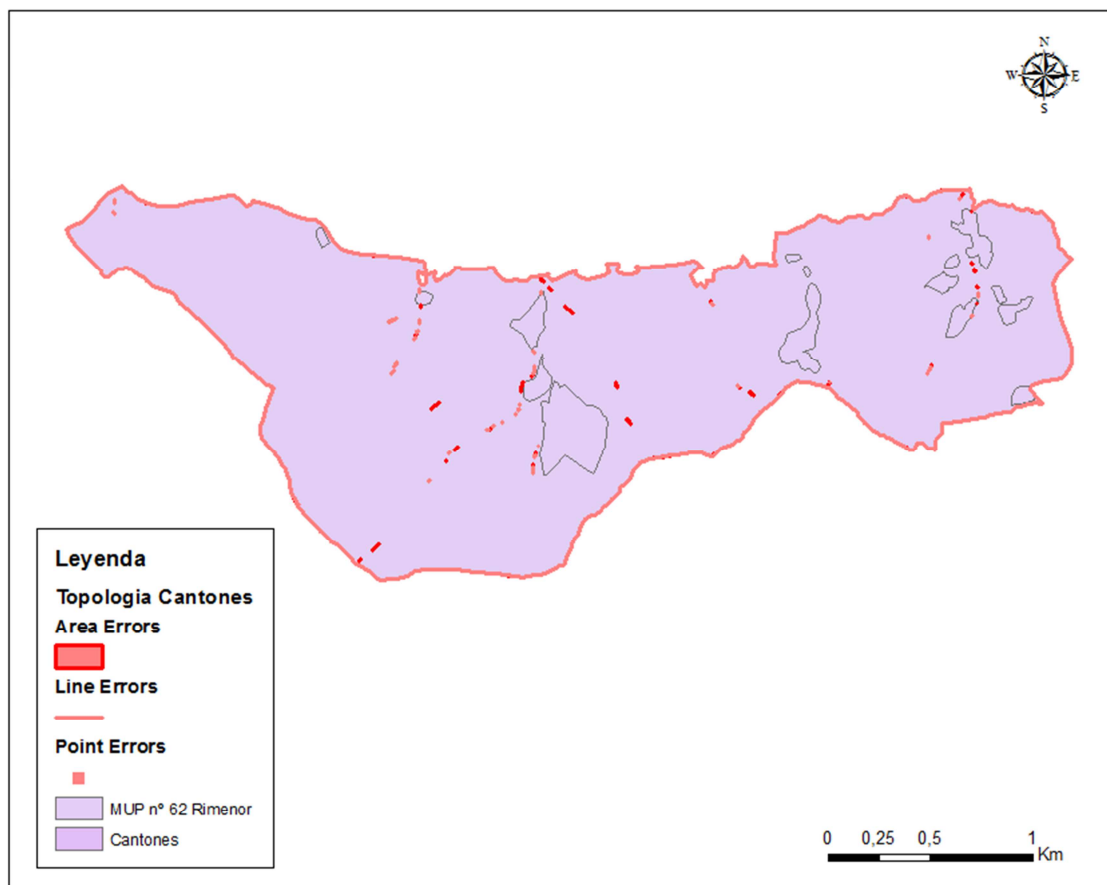


Ilustración 26. Errores topológicos detectados tras validar las reglas topológicas establecidas para el shapefile “Cantones”.

4.5. Identificación de masas o tipologías forestales.

La principal especie arbórea del monte es el haya (*Fagus sylvatica*), que ocupa un total de 275.55 ha, seguida de abedulares (*Betula alba*) que ocupa una superficie de 43.40 ha. Además se encuentra un robledal de roble albar (*Quercus petraea*) que ocupa tan solo 0.67 ha y una acebada (*Ilex aquifolium*) de 0.86 ha. Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 7. Descripción de las masas o tipologías forestales del monte “Rimenor”.

| Masa o tipología forestal | Superficie (ha) |
|---------------------------|-----------------|
| <i>Fagus sylvatica</i> | 278.78 |
| <i>Quercus petraea</i> | 0.44 |
| <i>Betula alba</i> | 43.40 |
| <i>Ilex aquifolium</i> | 0.86 |
| Pastos | 3.93 |
| Prados | 0.87 |
| Matorral | 130.01 |
| Vegetación rupícola | 17.61 |
| TOTAL | 472.90 |

Los distintos tipos de masa identificados como objeto de albergar el urogallo cantábrico (*Tetrao urogallus cantabricus*) son:

Hábitat Fs-5. Masas puras de haya en estado de latizal con presencia de arándano y con media-alta densidad de arbolado y sotobosque. Hay abundancia de clases diamétricas inferiores, es decir, de 10 cm.

Hábitat Fs-6. Masas puras de haya en estado de latizal con ausencia de arándano y con media-alta densidad de arbolado y sotobosque. Hay abundancia de clases diamétricas inferiores, es decir, de 10 cm.

Hábitat Fs-9. Masas puras de haya en estado de fustal con presencia de arándano. Si bien en el estrato arbóreo la especie dominante y casi exclusiva es el haya (>80%), también pueden aparecer pies de roble albar y de abedul.

Hábitat Fs-10. Masas puras de haya en estado de fustal con ausencia de arándano.

Hábitat Qt-1. Masas de roble en estado de latizal con presencia de arándano en el sotobosque.

En la ilustración siguiente muestra como está repartido el monte “Rimenor” según la vegetación y los hábitats del urogallo.

Masas o tipologías forestales

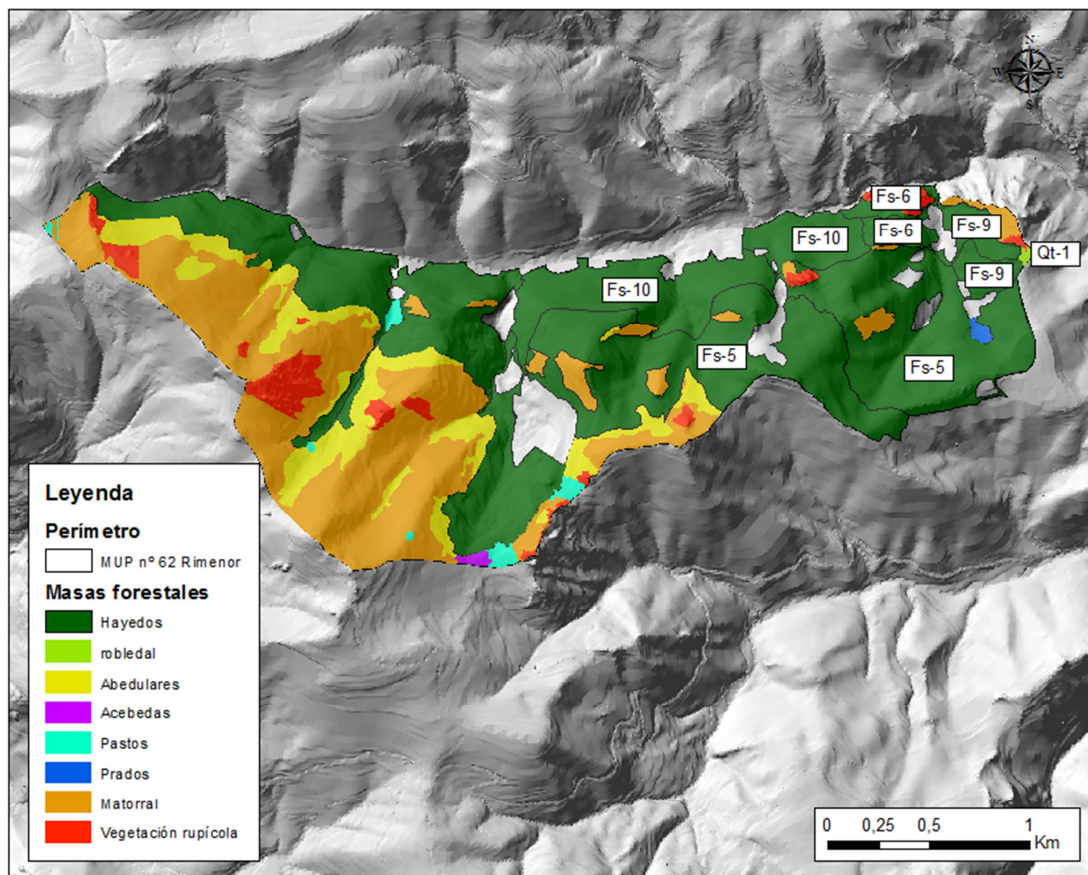


Ilustración 27. Masas o tipologías forestales del monte “Rimenor”, creado a partir de archivo “Vegetación” y con las herramientas de edición.

4.6. Rodalización.

Al interseccionar las capas de “Cantones” y “Tipos de masa”, se obtienen un total de 33 rodales, oscilando su superficie entre 0.60 y 65.99 ha. El número de rodales por cantón varía entre los 5 a 6 cantones por rodal.

En la tabla siguiente se muestra la división en cantones y rodales, con su correspondiente superficie:

Tabla 8. División en cantones y rodales del monte “Rimenor”.

| Cantón | Rodal | Superficie (ha) |
|---------------|--------------|------------------------|
| 1 | 1a | 35.78 |
| | 1b | 0.74 |
| | 1c | 18.55 |
| | 1d | 54.86 |
| | 1e | 10.56 |
| 2 | 2a | 26.46 |
| | 2b | 33.79 |
| | 2c | 11.68 |
| | 2d | 0.60 |
| | 2e | 2.46 |
| 3 | 3a | 31.92 |
| | 3b | 65.99 |
| | 3c | 12.86 |
| | 3d | 6.62 |
| | 3e | 1.08 |
| 4 | 4a | 13.24 |
| | 4b | 3.62 |
| | 4c | 57.68 |
| | 4d | 5.52 |
| | 4e | 0.89 |
| | 4f | 2.39 |
| | 4g | 0.87 |
| 5 | 5a | 4.87 |
| | 5b | 2.74 |
| | 5c | 2.07 |
| | 5d | 0.44 |
| | 5e | 6.25 |
| 6 | 6a | 24.45 |
| | 6b | 2.59 |
| | 6c | 0.55 |
| | 6d | 0.86 |
| | 6e | 23.37 |
| | 6f | 6.55 |
| TOTAL | | 472.90 |

El resultado final se muestra a la figura siguiente:

Rodales

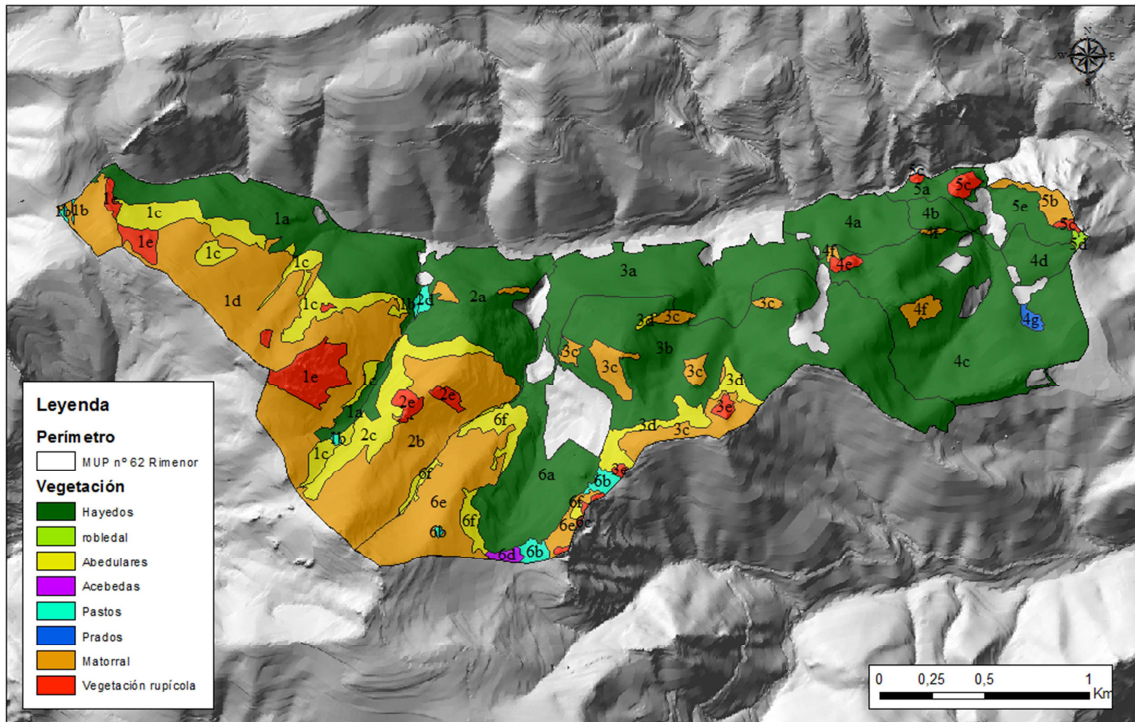


Ilustración 28. Rodales del monte “Rimenor”, obtenido tras la intersección de los archivos “Cantones” y “Tipos de masa”.

4.6.1. Correcciones topológicas.

Igual que en el caso anterior, las reglas topológicas que se imponen son las siguientes:

- a) La capa de “Rodales” no debe presentar hueco alguno.
- b) La capa de “Rodales” no debe presentar solapamientos.
- c) La capa de “Rodales” debe estar cubierto por la capa que define el límite del monte.

Una vez validada, se observa que existen un total de 357 errores y son corregidos mediante las herramientas de edición.

Las excepciones son las mismas que en el caso anterior.

4.7. Inventario dasocrático.

4.7.1. Zona de actuación.

Tal y como se ha mencionado en el apartado de “Materiales y métodos”, la zona de actuación se encuentra limitada por los factores topográficos, así como insuficiencia de los caminos o pistas forestales. La zona de actuación resultante alberga un total de 99.16 ha y se reparte de la siguiente forma:

Tabla 9. Descripción de la zona de actuación del monte "Rimenor".

| Hábitats | Especie | Rodales | Superficie (ha) |
|--------------|------------------------|---------|-----------------|
| Fs-5 | <i>Fagus sylvatica</i> | 3b, 4b | 33.30 |
| Fs-6 | <i>Fagus sylvatica</i> | 4b, 5a | 8.49 |
| Fs-9 | <i>Fagus sylvatica</i> | 4d, 5e | 6.25 |
| Fs-10 | <i>Fagus sylvatica</i> | 3a, 4a | 45.16 |
| Qt-1 | <i>Quercus petraea</i> | 5d | 0.44 |
| TOTAL | | | 99.16 |

Zona de actuación

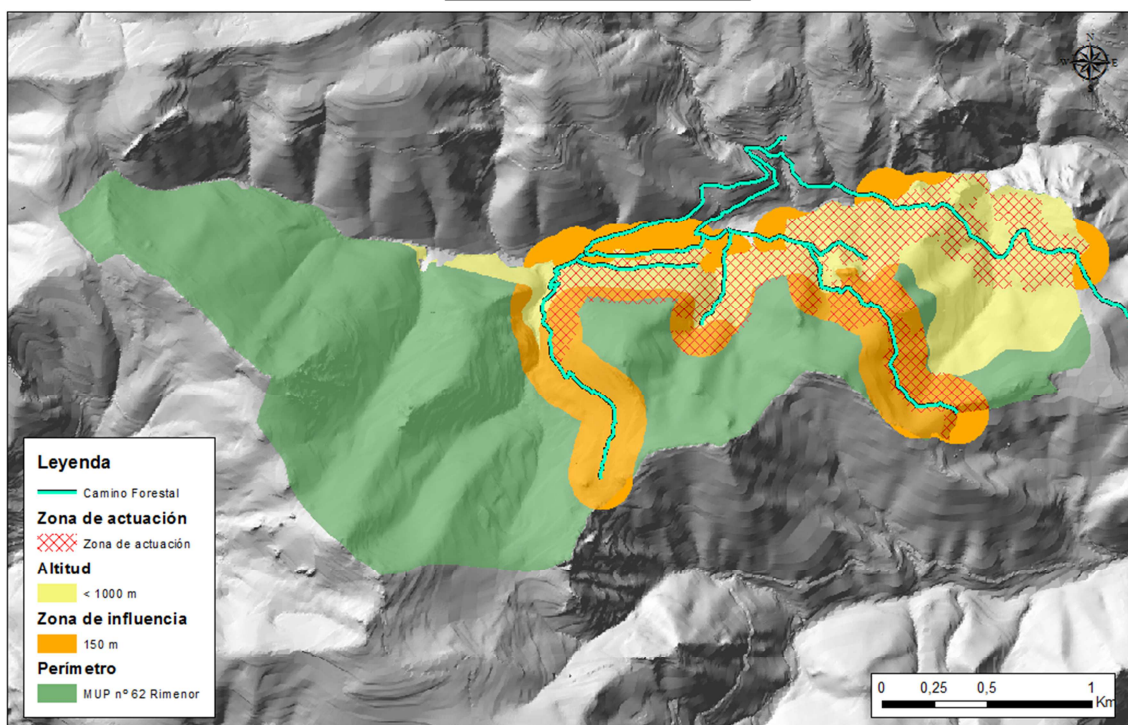


Ilustración 29. Zona de actuación del monte "Rimenor". Creado a partir de la zona de influencia de 150 metros de los caminos forestales, altitudes menores a 1000 metros, las especies inventariables de la zona e inclusión de los rodales 3a, 4a, 4b, 4d, 5a y 5e.

4.7.2. Creación de puntos de muestreo.

Para calcular el número de unidades de muestreo que componen la muestra, se utiliza la expresión propuesta para el muestreo aleatorio simple (m.a.s), el cual depende del error absoluto del muestreo y de la estimación de la varianza, que se calculan a partir de un muestreo piloto. Este muestreo como el muestreo definitivo, el cálculo del número de parcelas y las características de estas se describen de un modo detallado en el Anexo VI: Muestreo piloto y definitivo.

Por tanto, el tamaño mínimo de muestra con un error relativo de muestreo no superior al 15% fijado con una probabilidad fiducial del 95%, es de trece.

Estas trece parcelas se distribuyen aleatoriamente, con la condición de que cada una de ellas diste mínimamente 200 m. La distribución de las parcelas se aprecia perfectamente en la figura siguiente:

Parcelas de Inventariación

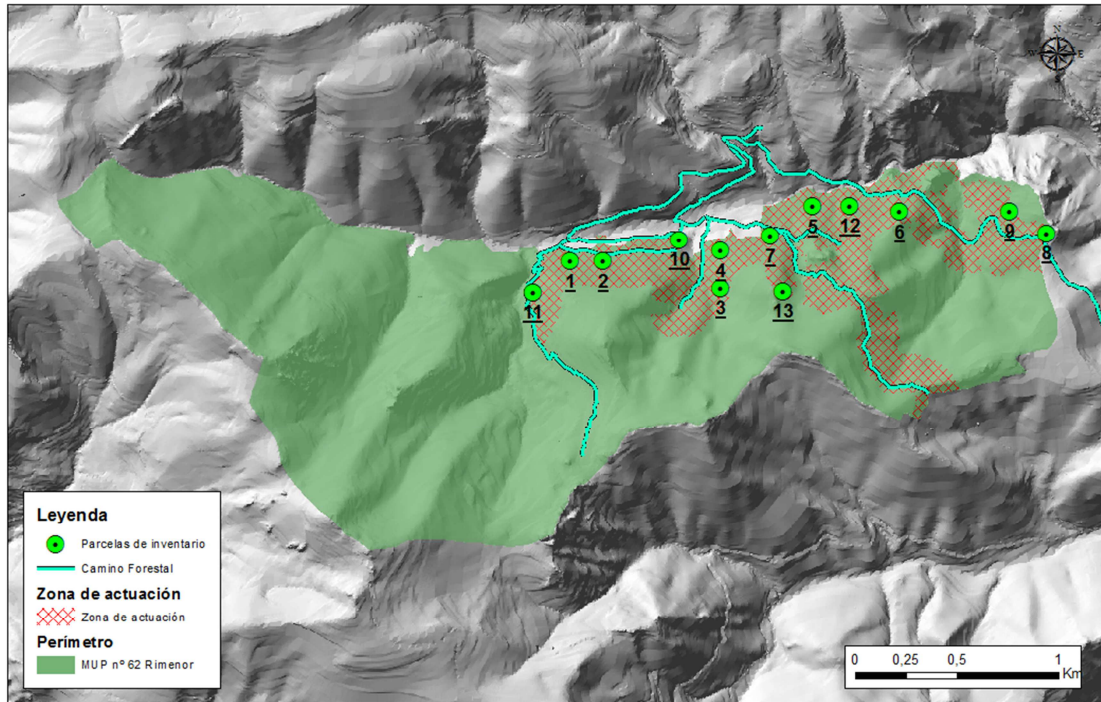


Ilustración 30. Parcelas de inventariación del monte “Rimenor”, construido a partir del método aleatorio simple.

4.8. Cálculo de las coordenadas X e Y de cada parcela.

En la siguiente tabla se localizan las parcelas, con sus coordenadas en X y en Y para el sistema de coordenadas en ETRS89 UTM Zona 29 norte:

Tabla 10. Localización de las trece parcelas a inventariar distribuidas aleatoriamente. Sistema de coordenadas ETRS89 UTM huso 29 Norte.

| Parcela | Coordenada X_{UTM} | Coordenada Y_{UTM} |
|----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 728720.03 | 4782761.44 |
| 2 | 728876.72 | 4782761.72 |
| 3 | 729458.74 | 4782629.13 |
| 4 | 729652.41 | 4782887.19 |
| 5 | 729911.14 | 4783032.56 |
| 6 | 730338.10 | 4783005.61 |
| 7 | 729700.32 | 4782886.84 |
| 8 | 731057.82 | 4782898.66 |
| 9 | 730876.83 | 4783009.96 |
| 10 | 729253.50 | 4782869.08 |
| 11 | 728533.46 | 4782609.75 |
| 12 | 730091.26 | 4783035.75 |
| 13 | 729762.44 | 4782615.19 |

4.9. Cartografía.

La cartografía que se incluye en el proyecto de Ordenación Forestal del Monte de Utilidad Pública núm. 62 “Rimenor” es:

- I. Mapas de situación y localización a escala 1/15.000. Aquí se detalla la localización del monte a nivel comarcal y a nivel autonómico.
- II. Mapa de límites del monte. Aquí se detallan los límites del monte, los enclavados y el camino forestal a escala 1/5.000.
- III. Mapa de altitudes. Aquí se observan los rangos altitudinales del monte “Rimenor” a escala a 1/5.000.
- IV. Mapa de orientaciones a escala 1/5.000.
- V. Mapa de pendientes a escala 1/5.000 clasificados según las posibilidades de mecanización.
- VI. Mapa de vegetación actual a escala 1/5.000.
- VII. Mapa de inventariación a escala 1/5.000. Aquí se detallan la clasificación por rodales del monte “Rimenor”, así como las parcelas de inventariación y el camino forestal.
- VIII. Mapa de divisiones a escala 1/5.000. Denominado a la división por cantones del monte objeto de estudio.
- IX. Mapa planificación a escala 1/5.000. Aquí se detallan las actuaciones que se darán en el primer año de gestión a partir de la aprobación del proyecto de ordenación.
- X. Mapa de figuras de protección 1 a escala 1/15.000. Hace referencia a la inclusión del monte en el Parque Natural de Ubiña-La Mesa.
- XI. Mapa de figuras de protección 2 a escala 1/15.000. Se caracteriza la inclusión del monte dentro del LIC “Montovo-La Mesa”.
- XII. Mapa de figuras de protección 3 a escala 1/15.000. Se refiere a la inclusión del monte “Rimenor” dentro del ZEPA “Ubiñas-La Mesa”.

Para representar el monte “Rimenor” a escala 1:15.000 se ha tenido que emplear la Hoja A3. Sin embargo, para representarlo a escala 1:5.000 se ha tenido que recurrir a la hoja A0.

Teniendo en cuenta las normas ISO para el bloque de título, conocido como “cajetín”, se decide emplear el siguiente formato:

| | | | | | |
|---|--|--|---------------------------------------|------------------------------------|-----------|
| Proyecto PROYECTO DE ORDENACIÓN FORESTAL DEL MONTE U.P. NÚM. 62 "RIMENOR" | | | | | |
| Mapa SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN | | | Ref. técnica Pedro Álvarez Álvarez | Creado por Miren Mtz. Oianguren | |
| Centro  | Entidad responsable Universidad de Oviedo | | Firma | Nº Identificación MAPA 1 | |
| | Escala 1:15.000 | | | Fecha 30/6/14 | Id. Es |

Ilustración 31. Modelo de bloque títulos a utilizar en los mapas cartográficos.

La anchura total es de 180 mm y una altura de 60 mm. Para todos los tamaños de papel se ha utilizado el mismo bloque de títulos.

Los resultados de los diferentes análisis espaciales realizados se plasman en mapas cartográficos que se enumeran correlativamente del 1 al 12. Estos mapas son adjuntados en la sección de Cartografía.

5. CONCLUSIONES.

1. El esquema de la Geodatabase permite establecer un único sistema de coordenadas para todos los archivos que participan en ella, bien para los archivos vectoriales como rasters. Además, en el caso de los rasters permite asignar un único tamaño de píxel. En consecuencia, ofrece una gran ventaja respecto a la organización, estructuración y rendimiento del software ArcGIS.
2. El Model Builder permite automatizar una serie de procesos y consecuentemente agiliza el trabajo y se ahorra considerablemente el tiempo de ejecución de dichos procesos.
3. La construcción del Modelo Digital de Elevaciones (MDE), así como los modelos derivados son imprescindibles para la descripción topográfica o el relieve que conforma el área de estudio, ya que, la caracterización morfológica del territorio es un factor determinante de la aptitud forestal.
4. El principal condicionante para el aprovechamiento maderable de los montes en la Comarca, y en general en Asturias, es el relieve que dificulta las labores de mecanización y aumenta los costes de explotación. Se recomienda para estas zonas de alta pendiente, un uso preferente protector, sin perjuicio del aprovechamiento maderable de las masas para su mejora y mantenimiento, mediante métodos de que minimicen los riesgos hidrológico-forestales.
5. La intersección de los archivos “Cantones” y “Tipos de masa” permite establecer la división en rodales de forma sencilla y práctica.
6. Las correcciones topológicas demuestran ser una herramienta imprescindible para corregir cualquier incoherencia a la hora de digitalizar, de modo que ayuda a mantener la esencial “integridad” de los datos espaciales.
7. Una correcta representación del dibujo gráfico, texto y bloque de títulos, conlleva una precisa y completa definición y comprensión de todo elemento que participa en el mapa. Además, un “cajetín” adecuado permite facilitar el intercambio de documentos, asegurar su compatibilidad y facilitar su rápida identificación.

6. BIBLIOGRAFÍA.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (1990). *Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo*. UNE –EN ISO 5457. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (1990b). *Dibujos en construcción. Espacios para dibujo y texto, cuadros de rotulación en formatos*. UNE –EN ISO 9431. Madrid: AENOR.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (2004). *Campos de datos de bloque de títulos y en cabeceras de documentos*. UNE –EN ISO 7200. Madrid: AENOR.

ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEACH INSTITUTE (ESRI). (2010). *Building geodatabase*. Redlands (CA, United States): Ersi.

FELICÍSIMO, A.M., (2014). *Curso de introducción: Modelo digital de elevaciones* [en línea]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Oviedo. Universidad de Oviedo. [Consultado: 15 de mayo de 2014]. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/~feli/index2.html>

FERNÁNDEZ, E. (2012). *Ejemplos de aplicación de Model Builder de ArcGIS 10 en la gestión forestal*. P. Álvarez y C. Ordoñez (dir.) Trabajo fin de máster. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD. (2012). *Documento técnico para la conservación y mejora del hábitat del urogallo (Tetrao urogallus cantabricus) en la cordillera Cantábrica*. Madrid: Fundación Biodiversidad.

GOBIERNO DE ESPAÑA. (2014). *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA)* [en línea]. Madrid: MAGRAMA. [Consultado: 10 de mayo de 2014]. Disponible en: www.magrama.gov.es

GOBIERNO DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2014). SITPA: *Geoportal del Sistema de Información Territorial y la Infraestructura de Datos Espaciales del Principado de Asturias* [en línea]. Oviedo: Gobierno del principado de Asturias. [Consultado: 10 de mayo de 2014]. Disponible en: www.sitpa.cartografia.asturias.es

GONZÁLEZ, J., PIQUÉ, M., VERICAT, P., (2006). *Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de espacios forestales*. Solsona: Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

GONZÁLEZ, M.R. (2014). *Modelos digitales de terreno*. Apuntes: Modelos digitales de terreno. Máster universitario en Teledetección y SIG. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

LÓPEZ, A., MUÑOZ, A., SÁNCHEZ, J.F., PEÓN, P., DÍAZ, R. (2007). *Catálogo de montes y concepto de utilidad pública forestal*. Oviedo: Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural. Gobierno del Principado de Asturias. DL: AS-5644/2007.

MADRIGAL, A. (1994). *Ordenación de montes arbolados*. Madrid: ICONA. ISBN 84-8014-117-4.

MENA, C., GALLARDO, J., ORMAZABAL, Y., MORALES, Y., MONTECINOS, R. (2006). "Teledetección y SIG en el ámbito forestal: Experiencias en Chile". *Ambiencía*, vol. 2, pp. 171-185. Curitiba-Brasil.

MENÉNDEZ, M. (2012). *Aplicación de técnicas geoestadística en la estimación de área basimétrica*. P. Álvarez (dir.). Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

MINISTERIO DE AGRICULTURA (1971). *Instrucciones General de Ordenación de Montes Arbolados*. Orden Ministerial de 29 de diciembre de 1970. BOE núm. 36 de 11 de febrero de 1971.

ORDOÑEZ, C. (2014). *Modelos digitales del terreno. Descripción y análisis del relieve topográfico*. Apuntes: Modelos Digitales del Terreno. Máster universitario en Teledetección y SIG. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

PEÑA-LLOPIS, L. (2006). *Sistemas de Información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. Alicante: Club Universitario.

PEUCKER, T.K., FOWLER, R.J., LITTLE, J.J. (1978). *The triangulated irregular network*. Barnaby (Canada): Simon Fraser University. Geography department.

REQUE, J.; PÉREZ, R. (2011). *Del monte al rodal. Manual SIG de Inventario Forestal*. Valladolid: Vicerrectorado de Docencia, Universidad de Valladolid. DL: VA-149-2011.

SÁNCHEZ, M.J. (2014). *¿Qué es la geodatabase?* Apuntes: ArcGis Desktop. Máster universitario en Teledetección y SIG. Universidad de Oviedo. Escuela Politécnica de Mieres.

SERRADA, R. (2000). *Apuntes de Repoblaciones Forestales*. Madrid: Fundación Conde Valle de Salazar. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal (ITF).