

PROYECTO INFOREST - CUENCA:

Aplicación de las imágenes de satélite de muy alta resolución al inventario y gestión forestal en el municipio de Cuenca

PROTOCOLO DE COLABORACIÓN ENTRE EL AYUNTAMIENTO DE CUENCA Y LA CONSEJERIA DE MEDIOAMBIENTE Y DESARROLLO RURAL PARA EL DISEÑO E IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN Y CERTIFICACIÓN FORESTAL

Coordinadores:

Francisca Gómez Fernández franciscagomez@grupotecopy.es

Centro de Observación y Teledetección Espacial S.A.,

c/ Antracita, 7 (Módulo 17)

28045 MADRID

José Antonio García Abarca joseag@jccm.es

Jefe de Servicio de Medio Natural

Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural

c/ Colón, s/n

16002 CUENCA

1 SISTEMAS DE INFORMACION, IMÁGENES DE SATELITE Y GESTION FORESTAL

La Ley 43/2003, del 21 de Noviembre, de Montes, tiene como objeto fundamental la conservación y protección de los montes españoles teniendo en cuenta los criterios de desarrollo sostenible, mediante la introducción de nuevas herramientas para la gestión forestal. En este sentido, se promueve la implantación de los sistemas de gestión sostenible y la progresiva certificación de montes y cadena de custodia, de acuerdo con las normas UNE 162000 sobre Gestión Forestal Sostenible.

Varios elementos de los que intervienen en la gestión forestal (ej. la elaboración de inventarios) comienzan a verse apoyados en nuestros días por la introducción de nuevas tecnologías, a pesar de que

han existido ciertas limitaciones para su introducción. Las nuevas herramientas se caracterizan por su mayor eficiencia y precisión, una mejor relación coste/beneficio y una disminución de los costes ambientales y sociales, lo que favorece la implantación de los nuevos modelos de gestión que promueven la gestión sostenible de los espacios forestales. Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones comienzan a cubrir parte de estas necesidades, destacando entre ellas las tecnologías de las comunicaciones (dispositivos móviles), aunque técnicas como la Teledetección y herramientas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) adquieren progresivamente mayor importancia y los productos y aplicaciones desarrollados a partir de los mismos se incorporan paulatinamente al sector.

Imágenes de satélite y SIG hace ya tiempo que constituyen herramientas claves de apoyo a la gestión forestal en países como Estados Unidos y Canadá, donde el sector maderero tiene una importancia sustancial en amplias regiones. En Europa, donde las explotaciones forestales tienen una dimensión inferior y se recurre a otros métodos de gestión, ambas tecnologías se han introducido con fuerza en los países nórdicos y Alemania como apoyo en el proceso de la certificación, tanto en sus fases iniciales como para realizar el seguimiento de plantaciones ya certificadas. La combinación de ambas técnicas ha aportado capacidades no sólo para el control y seguimiento de los recursos naturales sin también en el apoyo en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los mismos.

La combinación de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección ofrece una herramienta realmente eficaz para el inventario y la Gestión forestal y constituye por tanto un elemento de interés estratégico si se tienen en cuenta las necesidades de información que las nuevas políticas sectoriales exigirán en breve plazo tanto al Sector Público como al privado.

2 INFOREST Y LOS MONTES DEL MUNICIPIO DE CUENCA

El proyecto InForesT surge como resultado de un proceso de investigación previo desarrollado por COTESA que ha tenido como objeto el determinar el grado de aplicabilidad de las técnicas de tratamiento digital de imagen de satélite y de los Sistemas de Información Geográfica a la Gestión Forestal.

Los resultados obtenidos como consecuencia de este primer estudio, que ha tomado como zonas de trabajo explotaciones madereras situadas en ambas vertientes de la Sierra de Guadarrama, han puesto de manifiesto el gran potencial que las imágenes de satélite de muy alta resolución pueden ofrecer para el apoyo tanto en el proceso de inventario como en algunos aspectos clave de la gestión.

La experiencia, desarrollada en particular gracias al apoyo del Centro de Montés de Valsaín, adscrito al Organismo Autónomo de Parques Nacionales, ha servido de base para establecer los planteamientos sobre los que se pone en marcha el Proyecto **InFOREST- Cuenca**.

InFOREST tiene como objetivo global el desarrollo de Servicios especializados destinados a apoyar la gestión forestal mediante la aplicación de técnicas de Teledetección y la integración de los datos en el marco de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Para ello, el proyecto se ha diseñado con el propósito de dar cabida a la realización de estudios en zonas de trabajo con características agroclimáticas variadas y sistemas de gestión diversos que garanticen que los desarrollos realizados pueden satisfacer al mayor número de usuarios posible.

Se trata por tanto de un proyecto de I+D con una importante componente tecnológica en la que los usuarios finales de la información han jugado un papel importante para garantizar el éxito. En este contexto, el presente trabajo ha sido cofinanciado por la Agencia de Desarrollo Económico (ADE) de la Junta de Castilla y León y el Patronato de Promoción Económica de Cuenca y ha sido realizado en colaboración con la Consejería Provincial de Medio Ambiente de la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, para cuya sede en Cuenca se ha desarrollado el proyecto.

InFOREST – Cuenca se ha centrado en el estudio de una masa forestal situada en el noreste del término municipal de Cuenca.

El término municipal de Cuenca posee una superficie forestal de unas 53.000 ha, distribuidas en 23 montes de utilidad pública, y una posibilidad maderable anual conjunta de 55.000 m³ de madera. De la superficie forestal total, se han seleccionado para realizar el proyecto los montes 106, 111, 109, 118 y 116, los cuales se extienden a través del Parque natural de la Serranía de Cuenca y pertenecen al grupo de montes que conforman la Comarca natural de Palancares y Tierra Muerta (figura 1).



Figura 1. Localización del área de trabajo.

Esta zona se encuentra en el interior montañoso de la provincia de Cuenca y constituye un valioso espacio natural cuya situación en el núcleo montañoso más meridional del Sistema Ibérico, separando las vertientes hidrográficas de las fachadas atlántica y mediterránea, le confiere un elevado valor biogeográfico. Debido a sus valores y particulares características, esta zona fue incluida en el Lugar de Interés Comunitario (LIC) Serranía de Cuenca (ES4230014), el cual es el LIC con mayor número de hábitats incluidos en el anejo 1 de la Directiva 92/43/CEE de toda Castilla-La Mancha, con 35 tipos diferentes.

Las masas forestales con mayor representación son los pinares de pino laricio (*Pinus nigra*) y los sabinars de sabina albar (*Juniperus thurifera*), siendo los primeros los más extensamente distribuidos y los sometidos a explotación forestal. La continentalidad del clima local y la xeromorfía generalizada en el sustrato calizo-dolomítico les favorece frente a las frondosas, que representadas por encinares, quejigares y rebollares (enclaves silíceos) ocupan un segundo plano.

Destaca el Monumento Natural de Palancares y Tierra Muerta (Decreto 2/2001) que se sitúa en plena área de interés y algunos árboles singulares como el pino *candelabro*, el pino *abuelo* y la sabina *retratá*.

A los condicionantes de origen estrictamente natural que condicionan la presencia y distribución de las especies, se añaden las diversas técnicas y métodos de gestión forestal aplicadas por las explotaciones presentes en la zona, lo que se refleja en la composición y características de las poblaciones.

Todos estos factores la convierten en un área idónea para comprobar la capacidad de discriminación de las imágenes de satélite, no sólo de las especies forestales presentes en la zona, sino de las posibles asociaciones que puedan existir entre su localización y la presencia de determinadas variables del medio físico.

3 INFORMACION DISPONIBLE

Una de las mayores dificultades inherentes a InForest ha sido el adaptar todos los datos disponibles de una manera compatible e interactiva entre ellos para su análisis e incorporación al Sistema de Información. Para la puesta en marcha de InForest se ha dispuesto de información procedente de cuatro fuentes principales de datos:

- **Imágenes de satélite:** Para el proyecto se han utilizado diferentes tipos de imágenes de satélite con diferentes fines cada uno.
 - Las imágenes de **Landsat** se han aprovechado para detectar cambios a lo largo del tiempo de la cobertura vegetal. Se han obtenido dos imágenes, una de Landsat 5 TM del año 1987 y otra de Landsat 7 ETM del año 2001.
 - Las imágenes **Aster** se han utilizado para demostrar la capacidad que éstas aportan para la generación de variables de tipo global que son necesarias para una adecuada gestión forestal: stress hídrico, estado de desarrollo vegetativo, vitalidad de la vegetación, características del suelo, etc.
 - Las imágenes de muy alta resolución **IKONOS** se han utilizado principalmente para la clasificación de la imagen, fotointerpretación y delimitación de copas.
- Datos procedentes del **Servicio Forestal de Cuenca**
 - Cartografía temática (hábitats, Corine Land Cover 2000, Geomorfología, lugares protegidos, Red Natura, LICs, ZEPAs, Montes de utilidad pública, vías pecuarias...).

- Ortofotos del SIGPAC del año 2002.
- Divisiones dasocráticas, tanto en formato DWG (formato de dibujo CAD) para la parte este de la zona Norte y la cartografía digital de los tramos para los Montes 109, 111, 116, 118 y 106 (figura 2).

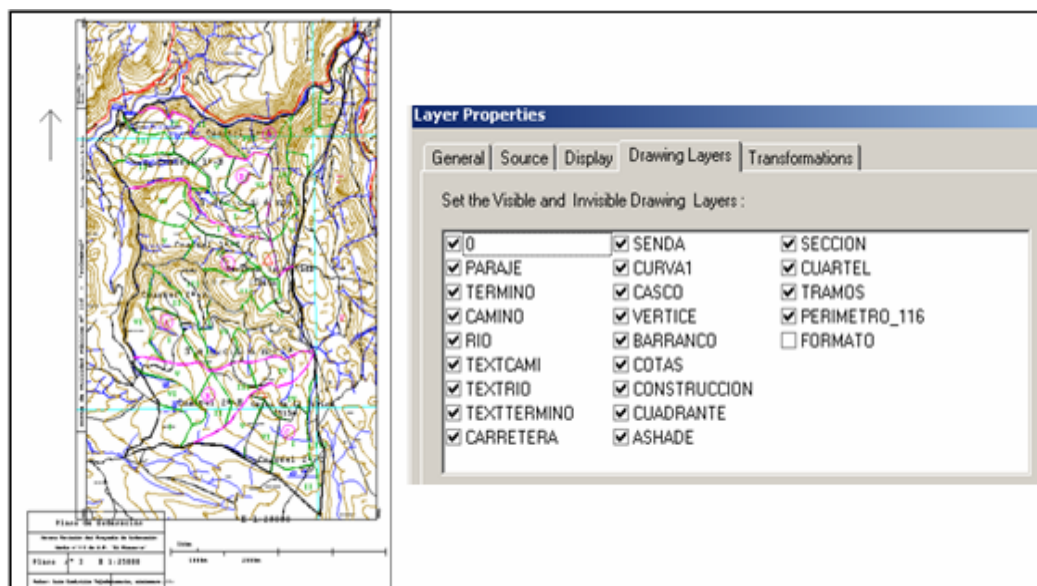


Figura 2. Información en capas de los DWG.

- Datos de inventario con número de pies por tramo, diámetro y especie de pino por tramo. Estructurados en libros con hojas diferenciadas por especie. Estas especies son tres: Pinus Nigra, Pinus Sylvestris y Pinus Pinaster (figura 3 y 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	REVISIÓN DE LA ORDENACIÓN DEL M.U.P Nº 116 " EL PICUERZO "											
2	Pinus nigra					TRAMO 2º - A - VI						
3	10	12	14	16	18							
4	237	173	174	135	161							
5	159	131	132	58	111							
6	0	0	0	0	0							
7	1011	510	562	397	495							
8	880	504	569	408	425							
9	2287	1318	1437	998	1192						TOTALES	7232
10	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		

Figura 3. Hojas de Excel con información del nº pies por tramo.

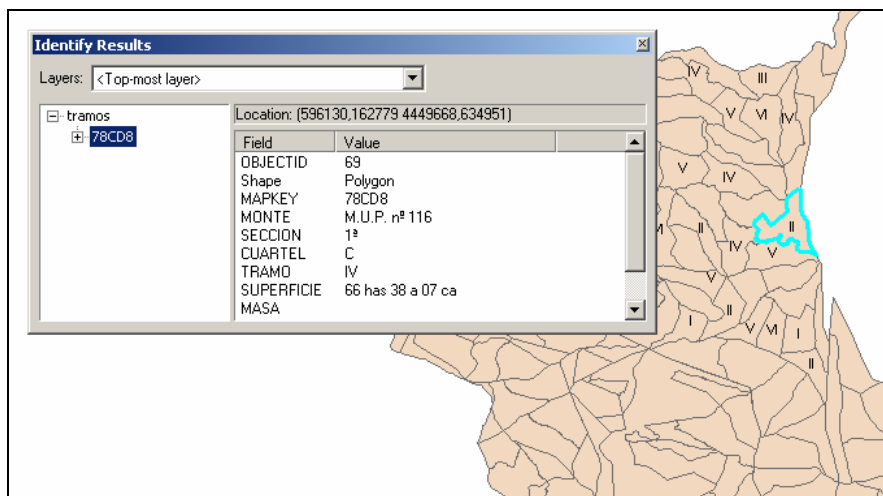


Figura 4. Captura de pantalla y Tabla asociada a los tramos.

- IGN (Instituto Geográfico Nacional)
 - Se ha contado con el modelo digital de terreno del IGN a escala 1: 25.000 con cotas en metros cada 25 metros en coordenadas UTM.
- IGME (Instituto Geológico y Minero de España)
 - Se ha contado con el Mapa Geológico de las hojas 587, 588, 610, 611 y 635 a escala 1: 50.000.

4 IMÁGENES DE SATELITE E INVENTARIO FORESTAL

4.1 DETECCIÓN DE CAMBIOS

Los satélites Landsat forman parte de una serie de satélites americanos lanzados por la NASA para el estudio de los recursos terrestres y transformados en partes vitales de una red de adquisición de datos que puede ser utilizada por todos los países del mundo. La posibilidad de obtener seguimientos evolutivos se puede llevar a cabo con imágenes de distintas fechas. Con una imagen de Landsat TM de archivo del año 1987 y una Landsat ETM del 2001 de la zona de trabajo se ha generado una serie temporal de la zona en la que se aprecian cambios significativos en los tramos por las cortas, incendios, plagas, etc. (figura 5).

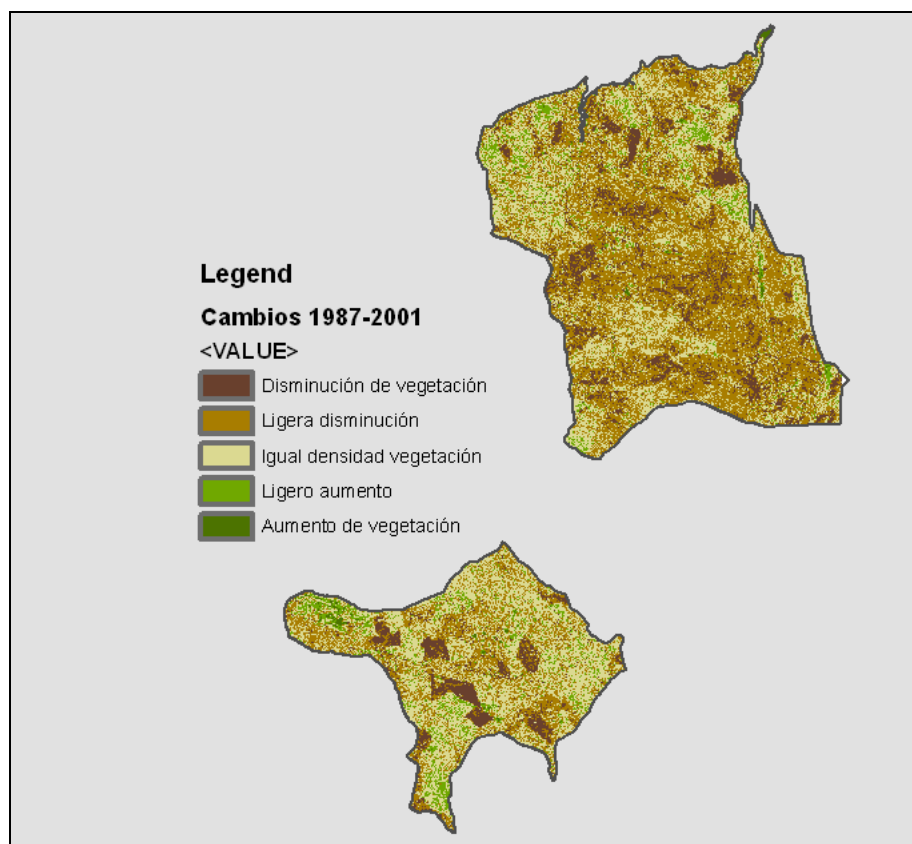


Figura 5. Cambios en la cobertura vegetal entre los años 1987 y 2001.

4.2 INVENTARIO FORESTAL

Hoy en día, existen varias misiones comerciales de observación de la tierra destinadas a la adquisición de imágenes de muy alta resolución que pueden proporcionar datos aptos para la generación del inventario forestal. Son dos los factores que han favorecido la selección de imágenes de IKONOS para la realización del presente estudio:

1. Una estimación aproximada de la dimensión de las copas de masas arbóreas homogéneas maduras ha permitido evaluar que el píxel de IKONOS en multiespectral es suficiente para agregar la información al nivel adecuado con objeto de contar con información contextual más amplia, sin que por ello se pierda precisión temática.
2. IKONOS se caracteriza por captar información en una región algo más amplia del espectro que otros sensores dentro de las longitudes de onda del rojo y, por el contrario, en una franja más estrecha en la región del infrarrojo, lo que resulta determinante a la hora de definir su capacidad de discriminación

de especies vegetales, ya que es en estas dos regiones donde se define el comportamiento de la vegetación.

La metodología que se ha seguido para llevar a cabo la realización del estudio se ha estructurado en dos fases principales: la ortorrectificación de las imágenes y el tratamiento digital de los datos con objeto de extraer información de los mismos. El diagrama de flujos que se presenta a continuación resume todos los pasos que se han seguido a lo largo de esta fase del proyecto.

4.2.1. Ororrectificación de imágenes.

Para la ortorrectificación en la zona de trabajo se ha seleccionado como sistema de referencia la Proyección UTM, huso 30 Norte, Elipsoide Hayford Internacional 1909, Datum Europeo 1950 (ED50). Se ha ortorrectificado en primer lugar la imagen de 2005 y se han registrado a ésta, una vez completado este proceso, las imágenes de 2006 y 2004.

La generación de ortoimágenes a partir de las imágenes de IKONOS, ha requerido del empleo de un Modelo de Elevación Digital (DEM), la toma de puntos de control (GCP) y la utilización de un modelo de transformación de tipo paramétrico que permite ajustar la posición de cada píxel en la imagen con la del mismo sobre el plano que se corresponde con la proyección cartográfica seleccionada.

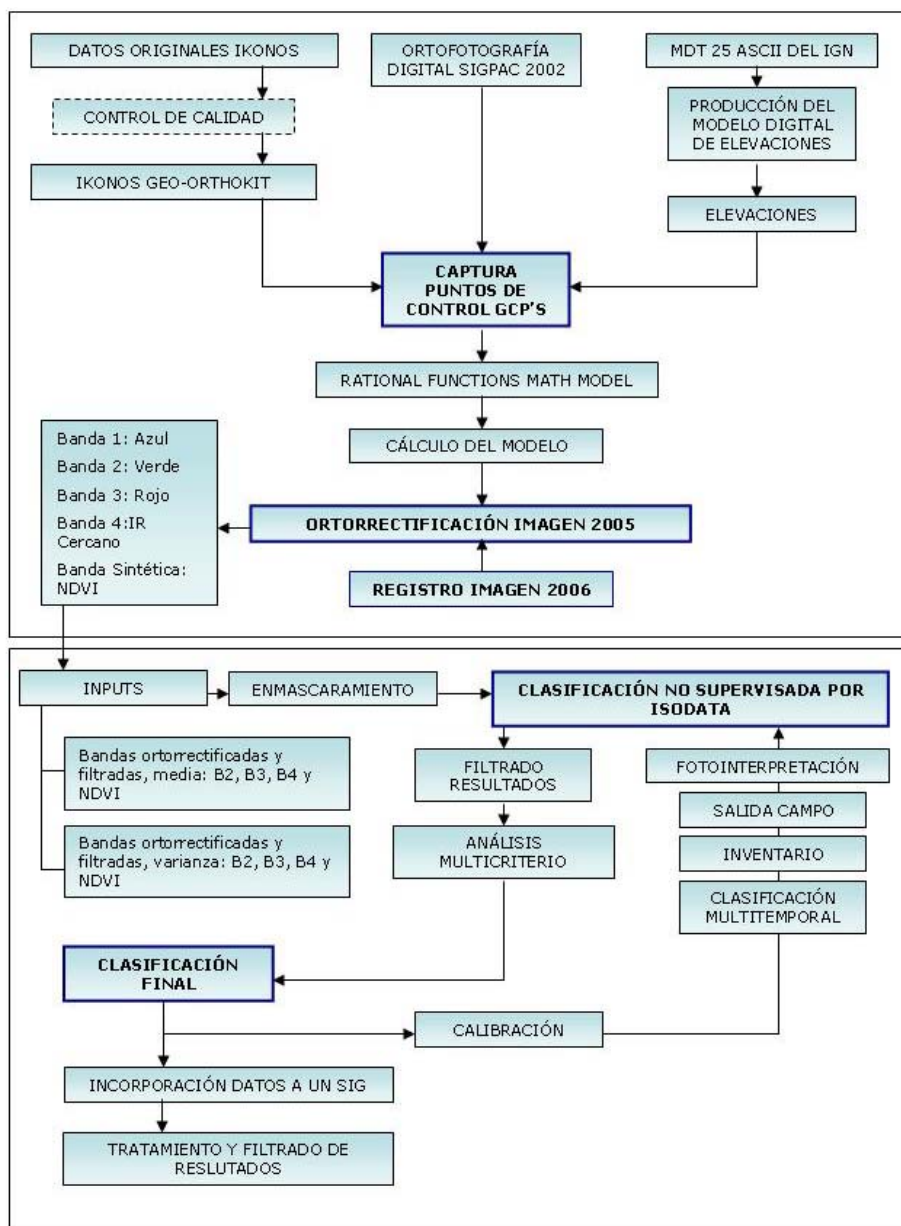


Figura 6. Diagrama Metodológico.

Los puntos de control se han tomado independientemente para la banda pancromática y para las bandas multiespectrales. Además, puesto que se dispone de varias escenas independientes que cubren el área de trabajo, la tarea de toma de puntos de control se ha realizado para cada una de ellas de forma independiente. Para la toma de los puntos de control se han utilizado como apoyo las ortofotografías digitales del SIGPAC del año 2002.

Para completar el proceso de ortorrectificación se ha utilizado un modelo paramétrico denominado *Rational Functions Math Model* [6], que utiliza cuatro funciones polinomiales de tres coordenadas: latitud, longitud y altura o elevación. Una vez definidas las ecuaciones de transformación, se ha procedido a remuestrear la imagen por el método del vecino más próximo, para garantizar que se produce la menor alteración posible en los valores digitales originales.

Una vez completado el proceso de ortorrectificación, se ha procedido a realizar la fusión y el realce de ambas con el propósito de generar una composición en falso color que se ha utilizado en el apoyo de aquellas fases del estudio que han requerido la aplicación de técnicas de fotointerpretación. El realce se ha realizado con las bandas multispectrales creando un falso color (Bandas 4, 3 y 2) en el que la vegetación se resalta en tonos rojizos (figura 7).

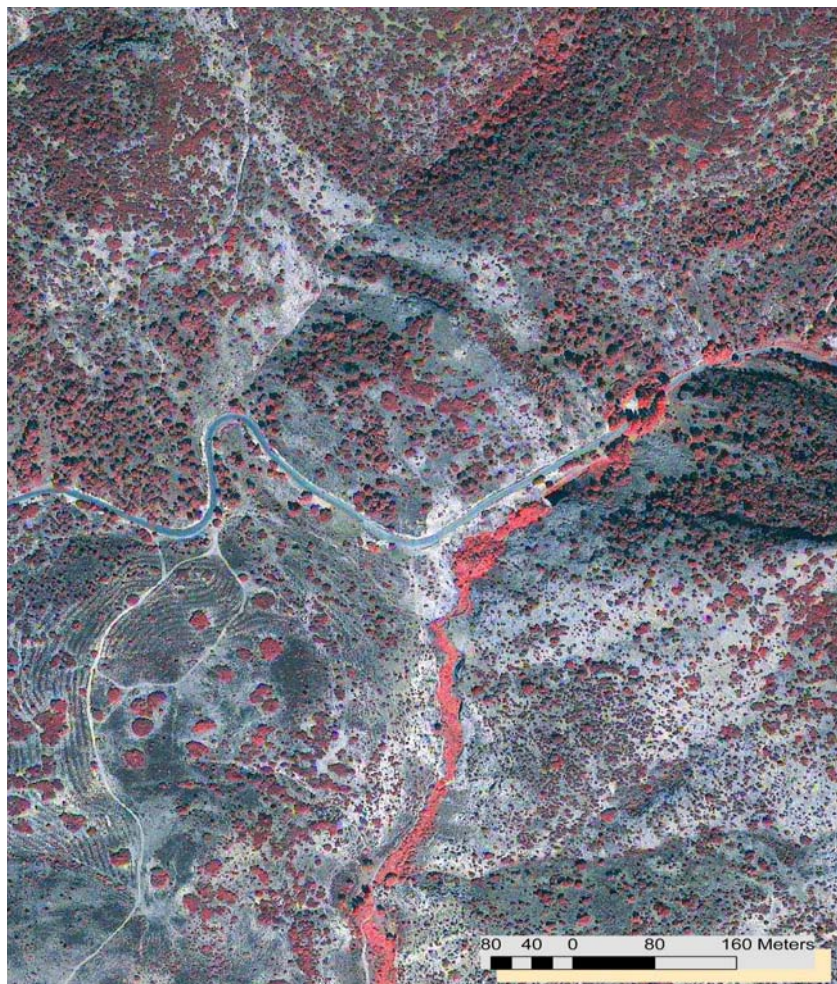


Figura 7. Imagen en falso color de una zona del monte 106 resultante de la fusión de las bandas multispectrales con la pancromática una vez ortorrectificadas.

4.2.1 Clasificación para el inventario

La clasificación de imágenes multiespectrales ha tenido como objeto agrupar los píxeles componentes de las diversas bandas espectrales en un número finito de categorías. Para su realización se ha aplicado el método denominado clasificación no supervisada por *isodata*. Con posterioridad se ha realizado un proceso de categorización de clases mediante el cual se ha asignado a las coberturas de vegetación reales una o varias de las clases que han surgido en la clasificación (figura 8). El proceso de categorización de clases se ha abordado utilizando tres criterios principales:

- Categorización mediante análisis visual del emplazamiento espacial de las coberturas de vegetación.
- Análisis de los valores digitales de las bandas de IKONOS.
- Comprobación de las clases en función de los datos aportados por una campaña de campo cuyo objeto ha sido la recogida de información sobre el terreno.

Como resultado, se ha identificado una serie de clases relacionadas con las coberturas vegetales presentes en la zona. Los resultados obtenidos se han comparado con los datos del inventario forestal para verificar la bondad de la clasificación obtenida y determinar si es posible establecer algún criterio que permita correlacionar los datos de inventario con las estadísticas obtenidas para las imágenes.

Para ello, se ha comparado el área basimétrica del Inventario Forestal con la fracción de cabida cubierta resultante de la clasificación de la imagen IKONOS de 2005. El área basimétrica se ha calculado, por tramo, multiplicando el número de pies de cada clase diamétrica del tramo por su diámetro tipo. La fracción de cabida cubierta se ha obtenido a partir del área que ocupan por tramo las clases de pinar de la clasificación. Entre ambos datos existe una correlación directa y proporcional, lo que ha llevado a concluir que las imágenes de satélite pueden proporcionar una fuente de datos útil para el apoyo al inventario.

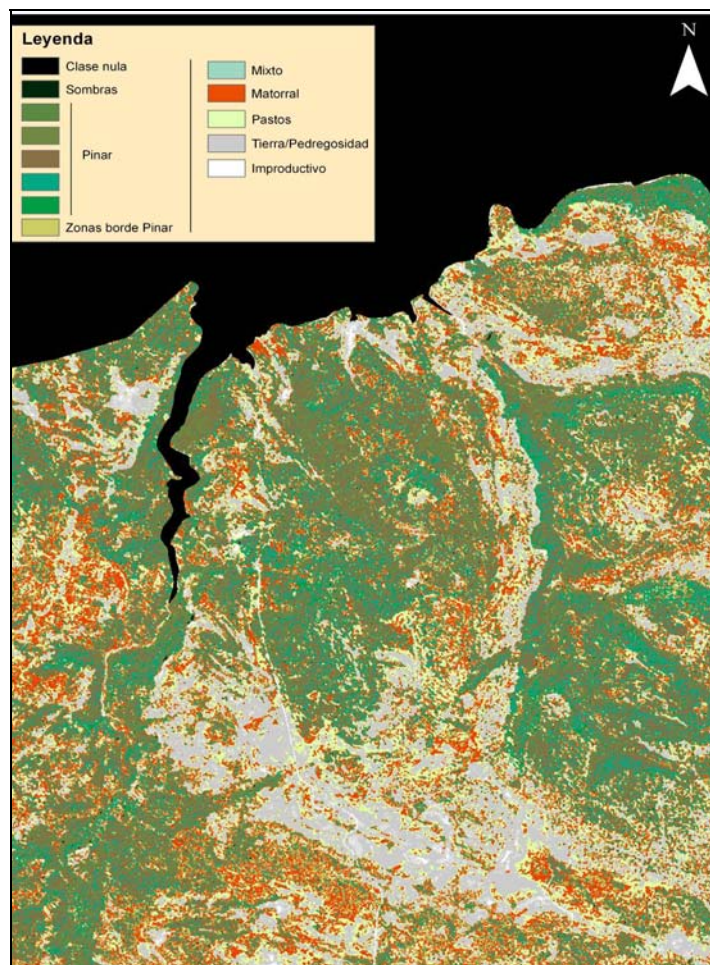


Figura 8 .Detalle de Clasificación no supervisada por ISODATA.

5 CARACTERÍSTICAS DE INFOREST - CUENCA

Con la creación de InForest, se ha pretendido facilitar al Servicio Forestal el acceso a toda la información disponible relativa a los Montes de la zona de estudio. Esta se ha estructurado por grupos temáticos fácilmente identificables, desarrollando herramientas de consulta y de apoyo a la generación de mapas de síntesis entre otras funciones.

El modelo de datos sobre el que se ha construido InForest se ha basado en el modelo de entidad – relación, pero adaptado para la inclusión de objetos complejos geométricos (modelo objeto – relacional). Este modelo ha permitido integrar en una base de datos común, como es Access, toda la información

gráfica. El modelo de datos se ha diseñado por medio de herramientas CASE (de diseño asistido) para obtener un resultado estándar aplicable a toda la casuística variable de cualquier Monte.

Dada la situación actual, ya que no se dispone de software o de cartografía digital unificada, se ha determinado que InForest provea de las necesidades esenciales a la JCCM en esta primera fase de desarrollo, con el objeto de poder ampliar en un futuro las posibilidades del sistema. Para ello se ha planteado la implantación de un sistema escalable, que pueda asumir las necesidades futuras mediante sencillas actualizaciones. El sistema seleccionado es ArcGIS de ESRI, que propone una arquitectura corporativa capaz de crecer en función de las necesidades de los usuarios.

La versión de InForest que se ha implementado en el servicio central de Montes de Cuenca dispone de toda la información tratada, tanto la información gráfica como alfanumérica, en una base de datos central de tipo Access accesible desde un puesto con el producto ArcView 9.1. Con este producto es posible efectuar modificaciones gráficas y de datos utilizando sencillas herramientas de dibujo tipo CAD. Para las imágenes de satélite se han utilizado ficheros con formatos estándar, adecuadamente organizados en directorios.

Con el objeto de que el acceso a la información almacenada en InForest se pueda realizar de forma simple por los operadores de la JCCM, se ha llevado a cabo una personalización de las herramientas que proporciona Arcview 9.1. El acceso a esta personalización se realiza mediante un archivo mxd previamente configurado con las barras de herramientas de Análisis, Visualización y Navegación en datos espaciales. Este archivo se puede ejecutar desde el propio archivo o desde la aplicación.

Puesto que intentar englobar en una misma vista toda la información relacionada con InForest resulta poco eficiente para el usuario se han diseñado varias vistas temáticas (Data Frames), cada una de las cuales proporciona el acceso a datos específicos, tales como:

- Inforest: contiene principalmente las divisiones dasocráticas, el Mapa Topográfico, el Modelo Digital y tres grupos de capas como Cartografía Básica, Cartografía Temática y BCN_50 que asumen la misma estructura y contenidos que la Geodatabase.
- Pendiente: muestra información relacionada con la pendiente como curvas de nivel de 10 y 20 metros, tramos clasificados por pendiente y estadísticas asociadas, modelo digital del terreno y una capa que distingue por rangos las pendientes dentro de los tramos para el análisis dentro de cada uno de los mismos.

- Clasificación-Imágenes: Contiene 5 grupos de capas: Cambios 1987-2001 de imágenes Landsat, Imágenes IKONOS con diversas combinaciones de capas, Landsat y Aster con varias combinaciones también, índices de estos últimos y las clasificaciones. Los tramos en esta vista llevan asociadas estadísticas en Hectáreas de cada clase de la clasificación por tramo, es decir, la cabida cubierta de cada clase en cada tramo individual.
- Salida de Campo: Incorpora los puntos de toma de datos, las zonas de interés y los recorridos. Desde esta vista se puede acceder directamente a los estadillos de campo con todas las fotos y los datos recogidos.

6 CONCLUSIONES

Sin poner en cuestión los procedimientos de muestreo y las estimaciones estadísticas utilizadas de manera clásica para llevar a cabo el inventario, la utilización de imágenes de muy alta resolución ha permitido obtener una localización espacial precisa de los recursos forestales mediante la combinación de datos cartográficos (derivados de la interpretación de las imágenes) y estadísticos. Esta combinación permite realizar en cualquier espacio geográfico inventarios caracterizados por la explotación de las propiedades biofísicas de las cubiertas vegetales observadas, propiedades que definen la respuesta espectral de las citadas coberturas.

Si se compara la metodología empleada para la realización del trabajo con los métodos clásicos que se aplican para la producción de cartografía temática para el inventario forestal, la utilización de imágenes de satélite de muy alta resolución ha presentado algunas ventajas significativas, tales como:

- Elevada resolución temporal: gracias a los tiempos de revisita y a la posibilidad de programar la adquisición de imágenes es posible actualizar anualmente el producto.
- Capacidad de capturar amplias superficies, con lo que se ve reducido drásticamente el número de ficheros digitales con los que se trabaja.
- Geometría de adquisición y homogeneidad de la información: gracias a la altura a la que vuela un satélite de observación de la tierra las imágenes que sus sensores toman tienen una gran calidad geométrica y proporcionan información espacial continua y homogénea.

- Rango dinámico y espectral amplio: Los sensores a bordo de los satélites adquieren imágenes en modo pancromático y multiespectral, desde el espectro óptico hasta el infrarrojo cercano. Esta característica hace muy versátil el empleo de la información capturada.
- Bajo coste por ha: a pesar de que la adquisición de las imágenes de satélite de muy alta resolución aún resulta cara, hay que tener en cuenta que el abaratamiento de costes procede fundamentalmente del proceso de la imagen que se efectúa a posteriori, tanto la ortorrectificación como el tratamiento digital.

La incorporación de otras imágenes de menor resolución (en torno a 1:50.000) permite además realizar el seguimiento multitemporal de las plantaciones durante los periodos de vigencia de los planes de gestión. La frecuencia del seguimiento dependerá de las características del área de trabajo, el plan de gestión y los factores que se han detallado como necesarios a la hora de seleccionar las fechas de adquisición.

Por otra parte, la información multiespectral que estos sensores capturan permite completar el análisis con información que los sensores de muy alta resolución espacial no pueden abarcar (índices de superficie foliar, contenido de humedad del suelo, estimaciones de evapotranspiración o estimación de la precipitación, por citar aquí solo una pequeña muestra), debido a la aportación que supone su mayor resolución espectral.

La incorporación de la totalidad de datos de que se dispone en el sistema InForest y el desarrollo de herramientas a la medida, ha permitido asimismo a los técnicos de la JCCM el acceso sencillo y organizado a toda la información que se ha generado como resultado del proyecto, lo que ha permitido conseguir un acceso más eficaz de los datos y variables que necesitan para llevar a cabo una adecuada gestión forestal.