

TRABAJO FIN DE MÁSTER

CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES LANDSAT Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PASTOS DE PUERTO EN EL PARQUE NATURAL DE LOS VALLES OCCIDENTALES

Autor: Marco Gastón Romeo

Director: Juan de la Riva Fernández

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Noviembre de 2014



Universidad
Zaragoza

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



*La explotación pastoril modela paisajes,
vacía la masa forestal y crea contactos, los multiplica,
aumenta la diversidad*

(Pedro Montserrat Recoder en *Los pastos Pirenaicos
y su importancia económica*, 1968)

Resumen

El objetivo principal del trabajo aquí presentado es la caracterización de los pastos de puerto de las cabeceras de los valles más occidentales del Pirineo aragonés, cabeceras que conforman el Parque Natural de Los Valles Occidentales, el parque junto a su zona periférica es lo que hemos considerado como el área de nuestro estudio. Para esta caracterización utilizaremos técnicas de teledetección, con apoyo en diferentes métodos de clasificación de la ocupación del suelo, sirviéndonos de software específico y trataremos esta información en un entorno SIG. La hipótesis inicial se plantea, obviamente, en términos de la idoneidad del análisis multitemporal en teledetección para la clasificación de los pastos de puerto y la identificación de diferentes tipologías de interés ganadero dentro de esta categoría; pero todo ello fundamentado sobre la base de un buen conocimiento del territorio. Los productos más destacados que queremos obtener son las cartografías de ocupación del suelo, resultado de las diferentes técnicas utilizadas en clasificación. Para conseguir estos objetivos partiremos de la información espectral de las imágenes de satélite del programa Landsat (TM, ETM+ y OLI) la clasificación se completara con información de cartografía existente y el conocimiento personal.

Palabras Clave: Landsat, clasificación, pastos, cervunal, ocupación del suelo.

Abstract

The main objective of the work presented here is the characterization of pastures port headers of the western valleys of the Aragonese Pyrenees, headers that make up the Parque Natural de Los Valles Occidentales, the park with his peripheral zone is what we considered as the area of our study. For this characterization will use remote sensing techniques to support different methods of classifying land cover, serving us specific software and try this information in a GIS environment. The initial hypothesis arises, obviously, in terms of the adequacy of multitemporal remote sensing analysis for classification of grasses harbor and the identification of different types of livestock interest within this category; but all based on the basis of a good knowledge of the territory. Major products we want to get are the maps of land use, the result of the different techniques used in classification. To achieve these objectives start from the spectral information of the satellite images of Landsat program (TM, ETM + and OLI) classification was completed with information from existing maps and personal knowledge.

Key Words: Landsat, classification, pastures, cervunal, land cover.

Índice general

1	Introducción.....	1
2	Objetivos e hipótesis	3
3	Antecedentes.....	3
3.1	Gestión ganadera años 50 y actual	4
3.1.1	Gestión ganadera tradicional	4
3.1.2	Cambios en la gestión ganadera	5
4	Área de estudio.....	6
5	Metodología	9
5.1	Proceso metodológico del trabajo	9
5.2	Fuentes y materiales utilizados	10
5.3	Corrección radiométrica.....	13
5.3.1	Corrección atmosférica	13
5.3.2	Corrección topográfica.....	18
5.4	Clasificación	22
5.4.1	Generación de neocanales para la clasificación: Análisis de Componentes Principales	22
5.4.2	Clasificación no supervisada	26
5.4.3	Definición de la leyenda	27
5.4.4	Clasificación supervisada.....	31
6	Resultados	36
6.1	Cartografía mediante clasificación no supervisada y análisis estadístico	36
6.2	Cartografía mediante clasificación supervisada y análisis estadístico	40
7	Conclusiones.....	46
8	Bibliografía.....	48
9	Anexos	51
9.1	Anexo 1. Seguimiento de un ganado en relación a los pastos	51
9.2	Anexo 2. Entrevista a un ganadero.	52

Índice de figuras

Figura 1 Evolución de la carga ganadera de ovino en Ansó-Fago (1960-2009).....	5
Figura 2 Localización del área de estudio.....	7
Figura 3 Diagrama del proceso metodológico.....	10
Figura 4 Diagrama del proceso de corrección de las imágenes.....	14
Figura 5 TOA	14
Figura 6 Reflectividad aparente a nivel superficial	14
Figura 7 Valores de cuerpo oscuro para una imagen de 11/06/2002	17
Figura 8 Factor corrector de la distancia Tierra-Sol (d^2)	17
Figura 9 Angulo cenital solar.....	18
Figura 10 Influencia de la topografía.....	18
Figura 11 Modelo no lambertiano.....	19
Figura 12 Modelo no-Lambertiano usado por el PNT	19
Figura 14 Dos primeros componentes de la imagen de agosto del 2002.....	22
Figura 14 Varianza.....	23
Figura 15 Covarianza.....	23
Figura 16 primer componente principal para las imágenes del 2014.	23
Figura 17 Segundo componente principal para las imágenes del 2014.....	23
Figura 18 Autovectores del CP1 para las imágenes de 2009.	24
Figura 19 Segundo componente principal para las imágenes de 2009.....	24
Figura 20 Primer componente principal para las imágenes de 2002.	25
Figura 21 Segundo componente principal para las imágenes de 2002.....	25
Figura 22 Parámetros del método ISODATA.....	27
Figura 23 Método supervisado.	31
Figura 24 Método de divergencia transformada.....	33
Figura 26 Método de máxima probabilidad.	34
Figura 27 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2002.	35
Figura 28 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2009.	35
Figura 29 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2014.	35
Figura 27 Clases de pastos en relación a las alturas.	36
Figura 28 Clases de pastos en relación a las pendientes.	36
Figura 32 Clases en relación a las alturas.....	40
Figura 33 Clases en relación a las pendientes.....	40
Figura 34 Porcentaje de las clases para el año 2014.....	45
Figura 35 Porcentaje de las clases para el año 2009.....	45
Figura 36 Porcentaje de las clases para el año 2002.....	46

Índice de tablas

Tabla 1 Disponibilidad de imágenes Landsat.....	11
Tabla 2 Estadísticas de las imágenes del año 2002.	11
Tabla 3 Estadísticas de las imágenes del año 2009.	12
Tabla 3 Estadísticas de las imágenes del año 2014.	12
Tabla 5 Hojas correspondientes al mosaico del MDE.....	13
Tabla 6 valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2002	15
Tabla 7 Valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2009	15
Tabla 8 Valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2014	16
Tabla 9 Valores de Gain y Offset para imágenes las del 2002	16
Tabla 10 Gain Offset 2009.....	16
Tabla 11 Gain y offset para el año 2014.....	16
Tabla 12 Valores de irradiancia solar.	17
Tabla 13 Valores de transmisividad incidente.....	18
Tabla 14 Autovalores de los ACP 2014	24
Tabla 15 Autovalores de los ACP de 2009	24
Tabla 16 Autovalores de los ACP 2002	25
Tabla 17 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2002.....	33
Tabla 18 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2009.....	33
Tabla 19 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2014.....	33

1 Introducción

El presente documento recoge las tareas realizadas en el marco del Trabajo Fin del Máster del título en "Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del territorio: SIG y teledetección". Su título es "**Clasificación digital de imágenes Landsat y caracterización de los pastos de puerto en el Parque Natural de Los Valles Occidentales**", siendo el objetivo principal del trabajo la caracterización de los pastos de puerto de las cabeceras de los valles más occidentales del Pirineo aragonés, cabeceras que conforman el Parque Natural de Los Valles Occidentales.

Para esta caracterización utilizaremos técnicas de teledetección, con apoyo en diferentes métodos de clasificación de la ocupación del suelo, sirviéndonos de software específico y trataremos esta información en un entorno SIG.

Los productos más destacados que queremos obtener son las cartografías de ocupación del suelo, resultado de las diferentes técnicas utilizadas en clasificación. Para conseguir estos objetivos partiremos de la información espectral de las imágenes de satélite del programa Landsat (TM, ETM+ y OLI) la clasificación se completara con información de cartografía existente y conocimiento personal.

El trabajo también pretende ser la base para futuros proyectos y profundizar aún más, si cabe, en la mejora de la clasificación digital, además de intentar aportar facilidades en la gestión ganadera de la zona y profundizar, de la misma manera, en la influencia de la actividad ganadera en la biodiversidad y cómo revertir las situaciones que ponen en riesgo dicha actividad, la propia biodiversidad, los paisajes y la cultura que sustenta. Los pastos son la base de la actividad ganadera, además de los factores mencionados, es por esto que son los protagonistas del presente estudio.

En la sección 2 del trabajo se recogen las motivaciones principales que han llevado al planteamiento del proyecto y la introducción al mismo. Los objetivos y la hipótesis se recogen en la sección 3 y los antecedentes en el apartado 4, en que realizamos una descripción de la gestión ganadera y su evolución, mientras que el área de estudio queda descrita y contextualizada en la sección 5. Las fuentes y los materiales utilizados están recogidos en el apartado 6 y la metodología seguida queda detallada en la sección 7. Los resultados y su análisis en el siguiente apartado. Por último las conclusiones a nuestro estudio. Además se ha incluido la bibliografía y fuentes utilizadas y en los anexos 1 y 2 la entrevista que se le ha realizado a un agente local implicado directamente con el estudio y el seguimiento de las actividades de un ganado de la zona en relaciona los pastos de puerto.

En el entorno socioeconómico actual, las actividades ganaderas representan una porción marginal y más cuando hablamos de ganadería extensiva en entornos como los Pirineos. Sin embargo este mismo entorno pretende dar a los intereses medioambientales y conservacionistas cada vez mayor protagonismo e importancia, siendo creciente la preocupación por el medio ambiente y su conservación a nivel global.

Este hecho no deja de ser una contradicción si se tiene en cuenta que los pastos de montaña son el resultado de un uso ancestral por los herbívoros domésticos y que su

futuro y, por ende, el de la biodiversidad que sustentan depende de la continuidad de la gestión y su explotación.

Desde un punto de vista meramente económico los pastos constituyen la base de la ganadería extensiva; en cuanto al territorio, cabe destacar la extensión de los paisajes pastorales del Pirineo, destacando el hecho de que la mayor parte de nuestros Parques Naturales y del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido están conformados por zonas pastoreadas (Fillat 2008.). Estos parajes albergan la mayor diversidad de plantas vasculares desde una perspectiva ecológica, además de mantener los agrobiosistemas más complejos. En estos términos se expresan Aldezábal *et al.* (2002):

*Tradicionalmente, las áreas pastorales del Pirineo han constituido la base de la economía local, albergando además una parte importante de su valor paisajístico y de su riqueza biológica. Los cambios de uso de muchas de estas áreas, a veces amparadas por figuras de protección, dan lugar a numerosos interrogantes. Ello se debe a que, a diferencia de otro tipo de ambientes, la conservación de los pastos está vinculada al mantenimiento del pastoreo. Algunos estudios parecen haber demostrado que existe una relación estrecha entre el cese o declive paulatino del pastoreo y la pérdida de diversidad vegetal en las comunidades utilizadas (Aldezábal *et al.*, 2002).*

Es muy alto el interés científico del estudio de estas comunidades vegetales y es aquí donde nace la necesidad de un proyecto como este cuyo objetivo principal es la caracterización de los pastos, base de la actividad ganadera, por lo que el interés no es solo científico, si no que abarca el interés social, desde la perspectiva económica y ecológica.

Por citar alguno de los múltiples elementos que generan interés ecológico de las áreas pastoreadas podemos destacar que de los 128 grandes tipos de paisaje reconocibles en el NE de la Península Ibérica, 31 han sido originados y mantenidos por la ganadería; además, entre las 266 comunidades vegetales definidas para el NE peninsular como "hàbitats prioritarios" en la Directiva hábitats de la UE, 108 son comunidades pascícolas; más del 40% (alrededor de 1000 especies) de la flora del Pirineo se encuentran en los pastos y que el 53% de los endemismos vegetales del Pirineo forman parte de los pastos (Fillat, 2008.).

Recojo, a este respecto, dos citas de Pedro Montserrat:

Si los montes de Ansó dejaran de pastarse varios veranos seguidos, es previsible que aumentara enormemente el cervuno agrio, por acumulación excesiva de hojarasca sin descomponer; en estos cervunales desaparecería pronto el regaliz y el ganado apenas obtendría alimento. La explotación pastoril modela paisajes, vacía la masa forestal y crea contactos, los multiplica, aumenta la diversidad (Montserrat Recoder, 1968).

En nuestro clima el bosque avasalla, sombreia, homogeneiza y elimina plantas heliófilas, precisamente las más variadas y difíciles de mantener. Nuestras orquídeas tan bellas pueden simbolizar sin duda ese aumento de la diversidad en los pastos (Montserrat Recoder, 2001).

2 Objetivos e hipótesis

El **objetivo principal es la caracterización y clasificación de los pastos de puerto** de las cabeceras de los valles occidentales del Pirineo aragonés mediante **teledetección**. Tal objetivo implica otros, secundarios, en relación con la metodología utilizada:

- La integración de la **dimensión multitemporal y multiestacional** en el análisis, para lo que nos serviremos de las escenas Landsat disponibles para la zona, desde finales de la primavera a inicios del otoño, en tres años climáticamente diferentes.
- La aplicación de **procedimientos de clasificación**, que, por un lado, haremos de forma no supervisada y, por otro, de forma supervisada, eligiendo zonas de entrenamiento a partir de la información existente (bibliografía, cartografía) y el conocimiento personal, e integrando –junto a la información espectral– la relativa a las características topográficas del terreno, como la altitud o la iluminación.
- La **caracterización de los pastos** de puerto a partir de la cartografía generada, la información espectral, asociada a las imágenes de satélite utilizadas, y las variables topográficas.

Todo ello implica explorar cuáles son las informaciones más relevantes y abordar un **análisis explicativo de los resultados** obtenidos al aplicar los diversos ensayos metodológicos. Naturalmente, se hace preciso también aplicar de forma exhaustiva los debidos **pretratamientos a las imágenes**, singularmente los relacionados con la corrección radiométrica, por cuanto se trata de un área de montaña con fuertes contrastes topográficos.

La **hipótesis inicial** se plantea, obviamente, en términos de la idoneidad del análisis multitemporal en teledetección para la clasificación de los pastos de puerto y la identificación de diferentes tipologías de interés ganadero dentro de esta categoría; pero todo ello fundamentado sobre la base de un **buen conocimiento del territorio**.

3 Antecedentes

Teniendo en cuenta la cartografía de pastos, no son muchos los estudios que anteceden al presente, además, el uso de las técnicas de clasificación digital también aportan novedad.

Es necesario destacar los trabajos del Instituto pirenaico de ecología (CSIC). Son pioneros los estudios de Pedro Montserrat, por ejemplo el trabajo (*La Jacetania y la vida vegetal*, del año 1971) en el que se presenta una cartografía de la vegetación de la comarca, en la que distingue varias clases de pastos. De igual manera, destacables son los trabajos encabezados por Federico Fillat Estaqué, todavía hoy en activo y presente en la dirección de importantes proyectos en los que los pastos tienen una papel protagonista, en este trabajo también ha colaborado y aportado su experiencia y su profundo conocimiento de los montes jacetanos.

Uno de los antecedentes que marcan el planteamiento del presente trabajo son los resultados obtenidos en el marco del proyecto fin de carrera que en el año 2012 presentamos como “Dinámica de ocupación del suelo (1956-2009) y gestión ganadera en

el municipio pirenaico de Ansó” en el que se planteó como futura línea de trabajo la caracterización de los pastos de los puertos del entorno ansotano.

Como geógrafo y apoyándome en esa definición de *ciencia de síntesis*, aprovecho para explicar las influencias de las diferentes disciplinas que se han encontrado en este trabajo y que han quedado imbricadas como los agujones de un tejado, por un lado la experiencia en teledetección de Juan de la Riva como investigador y docente, tutor del presente trabajo y del anterior en el que se analizaron los cambios de ocupación del suelo en los últimos 50 años en este mismo entorno, por otro lado las aportaciones de Federico Fillat y toda una exitosa carrera como investigador en el Instituto Pirenaico de Ecología y su profundo conocimiento de los montes pirenaicos, destacar también toda la extensa bibliografía y las conversaciones con Pedro Montserrat presentes en los resultados obtenidos, también han sido enriquecedoras las aportaciones desde una perspectiva matemática(*ciencia también de síntesis*) de Martin Gastón Romeo. Así pues, una síntesis de la Teledetección, la Ecología y las Matemáticas, y, por último, la base de la motivación para la realización del trabajo, personalizadas en la experiencia del pastor Martín Gastón Aznárez y del ilusionante trabajo del ganadero Samuel Gastón Romeo, coincidentes los apellidos de estos últimos con el que suscribe estas líneas, quedando aún más claro el principal objetivo que se deriva, de intentar adaptar la formación académica con la vocación personal, resultado de un enriquecedor entorno familiar.

3.1 Gestión ganadera años 50 y actual

Uno de los intereses de nuestro estudio es poder aportar algo en aplicaciones futuras, a la gestión ganadera en la zona de estudio, por esto es necesario conocer en qué consisten y han consistido estas actividades en estos entornos, el importante descenso de la actividad ganadera hace peligrar las condiciones ecológicas de estos parajes, que además se enmarcan en la figura de parque natural.

La actividad ganadera es esencial para el territorio y la sociedad, ya que no solo genera productos de calidad, sino también configura el paisaje, ayuda a controlar los incendios forestales, regula los ciclos del agua y la calidad del suelo, ayuda a potenciar la biodiversidad y a conservar el patrimonio cultural y la identidad territorial. El abandono de la actividad ganadera comporta el deterioro o la pérdida de hábitats de notable interés y singularidad ecológica (Plataforma por la ganadería extensiva y el pastoralismo, 2014).

3.1.1 Gestión ganadera tradicional

La gestión ganadera que se realizaba durante los años 50 varía en algunos conceptos y prácticas respecto a la gestión actual, entendemos que esos cambios en la gestión tuvieron una repercusión sobre la ocupación del suelo.

El modelo de gestión que se practicaba durante estos años, era un modelo trashumante, además de esta práctica, existen otros factores que diferencian las explotaciones de los años 50 con las de la actualidad, los productos que generaban las explotaciones han ido cambiando y adaptándose a las exigencias del mercado, durante estos años el productos finales eran corderos de mayor edad y corderos alimentados en los puertos de verano

(borregariles¹), factor este, muy importante para explicar alguna de las clases identificadas.

La elevada productividad de los pastos estivales, tanto por la amplia superficie ocupada como por su alto valor pastoral, facilitó la formación de grandes rebaños de ovino, que consumían el pasto y contribuían de esta forma a su renuevo y al mantenimiento de su calidad (Montserrat Recoder, 1964).

Las cargas ganaderas eran mucho mayores que en la actualidad, llegando a unas 35.000 cabezas de ovino para el año 1957 en la mancomunidad Ansó-Fago.

3.1.2 Cambios en la gestión ganadera

Los cambios en la gestión ganadera que se han producido desde los años 50 a la actualidad han sido muchos, como hemos explicado en el apartado anterior. Como observamos en la gráfica correspondiente a la Figura 1 se ha producido un importante descenso en las cargas ganaderas. La ganadería extensiva experimentó profundos cambios, con la crisis terminal del sistema trashumante, el descenso del ovino y un ligero incremento del vacuno, que en ningún caso llegó a compensar la pérdida de oveja (Lasanta, 2007). La presión humana y la ganadera disminuyeron, concentrándose en las áreas más fértiles y con mejor accesibilidad y marginándose la mayor parte de las laderas, que se aprovechan recientemente de forma muy extensiva o se han abandonado completamente (García-Ruiz, 1988) (Balcells, 1970).

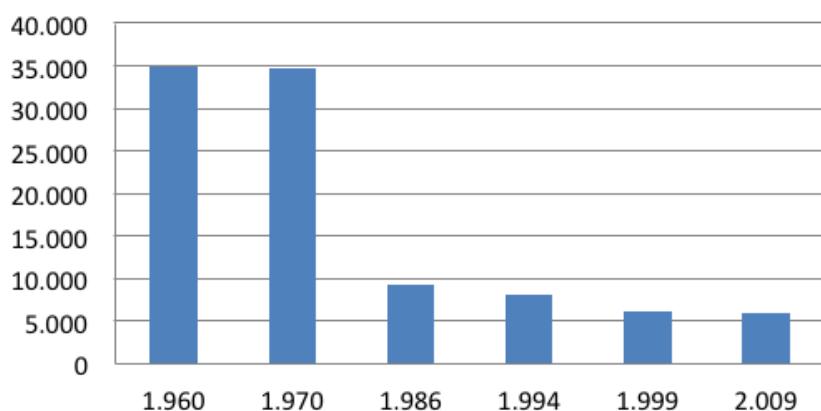


Figura 1 Evolución de la carga ganadera de ovino en Ansó-Fago (1960-2009).

Existen diferentes factores que entendemos que han favorecido ese descenso, entre otros podemos mencionar:

- Cambios en la demanda de productos y en los objetivos de producción.
- Mecanización del campo y descenso de la mano de obra.
- Migraciones campo-ciudad.
- Descenso y control de los precios de los productos (PAC) y aparición de productos alóctonos (mercado global).
- Cierre de los mataderos municipales.

¹ **Borregariles:** Puertos destinados a las corderas de reposición y a los corderos de carne hasta los años 70 que desaparecen. Actualmente son puertos embastecidos (cervuno agrio) u ocupados por matorral.

- Aumento de exigencias burocráticas y de infraestructuras.
- Aumento de los precios en los cereales y forrajes.
- Reforestación de montes.
- Acotado de algunas zonas (Fago).
- Desarrollo de la actividad turística.

En varios trabajos, que tienen como fuente de información fotografías aéreas de al menos dos fechas, se señala que desde mediados del siglo XX se asiste a un proceso generalizado de incremento de la cubierta vegetal, con el avance de matorrales y arbolado (Lasanta, 2000).

Una serie de factores están condicionando el proceso de revegetación observado en el área de estudio. El principal de ellos resulta evidente: los cambios socioeconómicos que han conducido a la marginación productiva y al abandono generalizado del espacio agrícola (Lasanta, 2007). Existen otros muchos factores que han incentivado también el incremento generalizado del embastecimiento de algunos puertos, entre ellos la gestión reciente de estos espacios. Por un lado, las repoblaciones y acotados forestales han favorecido el aumento del bosque de forma más rápida (de la Riva, 1997); por otro lado, la gestión ganadera ha implicado que los sectores pastoreados mantengan una cubierta pastable, mientras que los poco visitados por el ganado o con mayores inconvenientes para su uso, se hayan visto inmersos en procesos de embastecimiento y sucesión vegetal.

4 Área de estudio

Se localiza en el extremo noroccidental del Pirineo aragonés, colindando al norte con Francia y al oeste, con Navarra. Se extiende por las cabeceras de los ríos Veral, Aragón Subordán, Osia, Estarrún y Lubierre. Administrativamente, se ubica dentro de la Comarca de la Jacetania (Huesca) afectando a los términos municipales de Ansó, Aisa, Aragüés del Puerto, Borau y Hecho.

En conjunto, el Parque Natural de los Valles Occidentales se extiende por una superficie de 27.073 ha, a las que se añaden 7.335 ha de Zona Periférica de Protección, zona que también se ha incluido dentro del estudio.

El paisaje de los valles occidentales lleva la impronta de su historia socioeconómica y de las condiciones físicas ligadas a esa historia, las distintas cubiertas del suelo están estrechamente relacionadas con las condiciones bioclimáticas, geomorfológicas y topográficas; igualmente la vegetación reacciona en este contexto, a la variabilidad topográfica, climática y geomorfológica, tanto en la estructura como en la composición de las diferentes comunidades. Así, el papel del hombre y la importancia que tiene la dinámica geomorfológica deben tenerse en cuenta a la hora de explicar la diversidad de los ecosistemas de la montaña ansotana, la hidrología de laderas, los procesos geomorfológicos, controlados en buena parte por la topografía (Modelo digital del terreno y pendientes) y la litología, representan unos factores muy importantes para explicar la distribución y heterogeneidad de los pastos y de los diferentes ambientes que pueden identificarse en este territorio pirenaico. Por otro lado, las grandes unidades litológicas se caracterizan por el predominio de determinado tipo de formas, depósitos y fenómenos,

configurando un verdadero paisaje morfogenético, a la vez que explican en gran parte la presencia, composición y potencialidad de los diferentes ambientes pascícolas del territorio.

La zona de estudio forma parte de las influencias atlánticas amortiguadas y desde los primeros estudios de (Lefebvre, 1933) se consideró como el extremo oriental de lo que él llamaba Pirineos atlánticos orientales. Esta misma idea del amortiguamiento de las influencias atlánticas la retomó (Montserrat Recoder, 1971) para hablar de un clima subcantábrico con tendencia al submediterráneo. Una cuantificación posterior de esta tendencia la desarrolló (Creus, 1983) en su tesis doctoral y también sirvió para localizar posibles gradientes estacionales en la distribución de la precipitación (Fillat, 1981). Los fenómenos típicos del clima de montaña habían sido resumidos en las aportaciones de (Puigdefábregas, 1966) sobre la inversión térmica y recientemente fueron ampliados con otros parámetros geográficos (latitud y longitud) tratados en conjunto por (de la Riva, 1997).

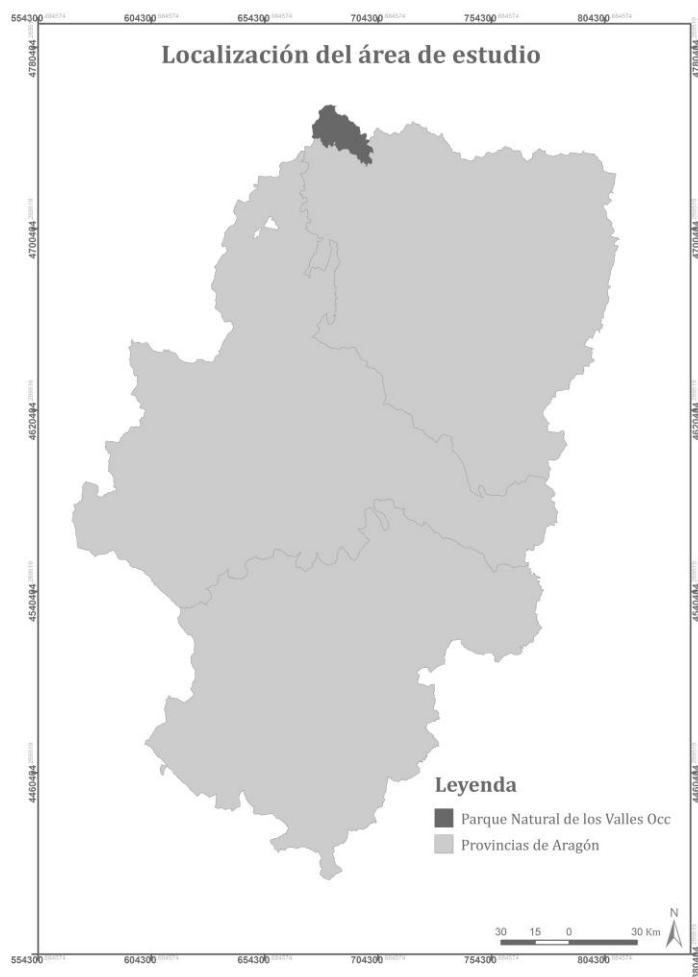


Figura 2 Localización del área de estudio.

Sin embargo, la relación entre los distintos estados físicos del agua y los intercambios energéticos que con ellos se suceden, hacen que las relaciones entre lluvia y temperatura sean también muy estrechas (Montserrat Recoder, 1971). Por ello, en la zona de estudio, son frecuentes situaciones de inversión térmica (Creus, 1983) y existen simultáneamente

enclaves favorecidos térmicamente hasta los que llegan plantas que normalmente habitan cotas más bajas (Montserrat Recoder, 1973), es por este comportamiento que finalmente solo incluimos la imagen de iluminación y no la de altitudes como información auxiliar a la espectral. También las características de la oscilación térmica o la relación entre temperatura y altitud introducen nuevas matizaciones en la relación entre los distintos valles occidentales.

Respecto a la distribución estacional de precipitaciones, una primera zonación a partir de los datos disponibles hacia 1974 (Fillat, 1981), permitía destacar la pérdida de importancia del invierno, como estación más lluviosa, frente al otoño, cuando se pasaba del valle francés de Aspe al valle de Ansó. Si desde Ansó se progresaba hacia la cuenca del Guarga, en dirección sureste, aumentaba la importancia de la primavera que llegaba a ser la estación más lluviosa. Sin embargo, si el avance hacia el este se hace por las estaciones próximas a las montañas del norte prácticamente esa importancia de la primavera no se alcanza hasta la cuenca del Cinca, al otro lado del Cotejabo. Estas variables geográficas de longitud y latitud, más la general de altitud, definen unas zonas climáticas en toda la Jacetania, de la misma forma que en la zona de estudio (de la Riva, 1997).

Considerando la importancia de las precipitaciones para diferenciar los diversos tipos anteriores, está claro el efecto de barrera a las perturbaciones del noroeste que oponen las diversas cadenas montañosas, al sur de las cuales en cambio, se dan claras situaciones Fohën. Por ello, de la Riva (1997) distingue una zona con más precipitaciones (superior a los 1500 mm) al norte de las Sierras Interiores y, otra segunda, comprendida entre dichas Sierras y los relieves que marginan por el sur la Depresión Media, en la que se registran entre 1500 mm y 800 mm anuales. Ya más al este, en dirección a la Guarguera, las precipitaciones descienden de los 800 mm e incluso de los 600 mm en algún caso. En todas estas estaciones la relación de la pluviometría con la latitud es muy estrecha descendiendo las lluvias al avanzar hacia el sur.

La altitud, en cambio, expresa mejor su influencia cuando se dan los fenómenos convectivos del mes de agosto, que llegan a compensar incluso los gradientes impuestos por la longitud geográfica de las estaciones. En realidad, un mayor avance hacia el este nos va acercando a las condiciones continentales del Pirineo central, donde los fenómenos tormentosos del verano aportan los máximos de precipitación. Estas características combinadas de altitud y longitud se destacan también al considerar los gradientes altitudinales de precipitación, que alcanzan el valor medio de 1,42 mm/m en los Altos Valles occidentales mientras en la cuenca del Gállego desciende a 1,07 mm/m (P.O.R.N. VALLES OCC., 1995).

En cuanto al régimen fluvial mencionar la influencia de la zona kárstica en la cuenca del Veral respecto a la del Aragón Subordán, esta característica se detecta fácilmente a través de las comparaciones de los aforos de Zuriza y La Mina (Fillat, 1981) en los que se nota una pérdida de caudal relativo en el Veral y podría ocurrir incluso un trasvase subterráneo hacia el propio Aragón Subordán (García-Riuz *et al.*, 1985).

En el Alto Aragón Occidental se individualizan cuatro unidades morfoestructurales que de N a S son: Zona Axial, más antigua que constituye el eje de la Cordillera, Sierras Interiores, Depresión Media y Sierras Exteriores. De estas cuatro unidades, el área de estudio abarca

las dos primeras y parte de la tercera que corresponde a los relieves formados a partir de los materiales de tipo flysch. (P.O.R.N. VALLES OCC., 1995). La zona del Pirineo comprendida en este estudio posee fundamentalmente rocas calizas (en las Sierras Interiores), pizarras y areniscas (en la pequeña zona correspondiente al Pirineo Axil) y flysch eoceno (en la vertiente sur de las Sierras Interiores, antes de llegar a las margas de la Canal de Berdún).

Los municipios de la zona de estudio fueron declarados zonas de agricultura de montaña (Gómez *et al.*, 1987) y como tales tienen unos tipos de suelos similares a los de otras cordilleras del mundo. Respecto a las clases agrológicas, la importancia de las características de montaña se resume en la escasez de las superficies cultivables y en la gran contribución de las cumbres improductivas. Más de las tres cuartas partes de los suelos no son cultivables.

La localización de las clases de laboreo sistemático, las mejores, están a lo largo de los principales ríos y barrancos, próxima a los núcleos de población. Respecto al laboreo ocasional, se trata de zonas circundantes a las mejores tierras fluviales y también situadas en algunos depósitos morrénicos. Por el contrario, la clase improductiva se localiza en la mayoría de las cumbres calizas (Mesa de Los Tres Reyes, Petrachema, Gorreta de los Gabachos, Chipeta, Ezcaurri, Cresta de Alano, Peñaforca, Agüerri o Visaurín, entre otros) y en algunas cumbres del flysch próximas a las calizas.

La mayor parte del territorio estudiado lo forman terrenos no cultivables (80%), dedicados a pastos de verano y bajantes (P.O.R.N. VALLES OCC., 1995). Lo que muestra el importante potencial silvopastoral de la zona de estudio.

5 Metodología

5.1 Proceso metodológico del trabajo

El análisis realizado parte de la consideración de la clasificación digital como punto de partida para la caracterización de los pastos de puerto, que posibilita, posteriormente, analizar las características de los mismos. Para ello se han seguido una serie de pasos que quedan reflejados en la Figura 3.

Una parte importante del proceso metodológico se corresponde con el procesado de las imágenes, que, con anterioridad, han debido ser analizadas en relación con su disponibilidad y características para, posteriormente, seleccionar aquellas de interés para nuestro estudio. Un primer producto que se ha obtenido, tras corregir las imágenes y analizarlas estadísticamente, ha sido la clasificación no supervisada, hemos considerado este orden no de forma arbitraria, sino con la intención de apoyarnos en este primer resultado para la elección de las parcelas de entrenamiento de la clasificación realizada con el método supervisado. Además, también ha servido de apoyo a la hora de definir la leyenda y caracterizar las diferentes clases; esta parte ha sido contrastada con información bibliográfica y con la consulta a expertos. Finalmente, la última parte del proceso metodológico seguido, ha sido la comparación de las diferentes cartografías obtenidas y el análisis de los resultados.

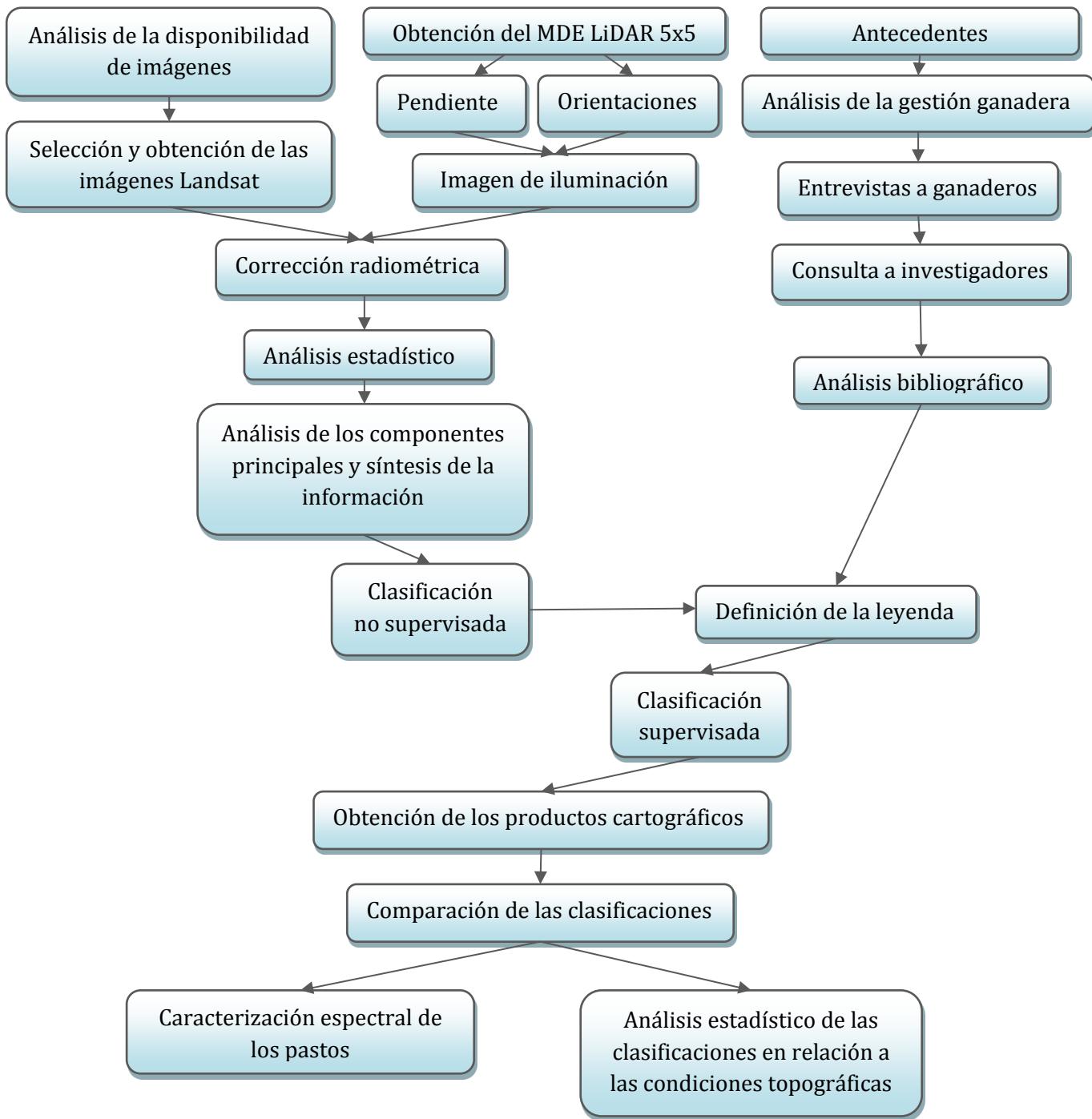


Figura 3 Diagrama del proceso metodológico.

5.2 Fuentes y materiales utilizados

La familia de satélites Landsat que inicialmente se llamaron ERTS (Earth Resources Technology Satellites), fue la primera misión de los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. La forman 8 satélites de los cuales sólo se encuentran activos el 5 y el 8. Su mantenimiento y operación está a cargo de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) y la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Los satélites Landsat llevan a bordo diferentes sensores. Su evolución ha buscado siempre captar información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se han ido incorporando a los sensores; el primero, conocido como Multispectral Scanner Sensor (MSS), seguido de Thematic Mapper (TM) que tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor, el siguiente fue Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que entre sus mejoras técnicas destaca una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros y por último el satélite LANDSAT 8 con los sensores Operational Land Imager (OLI) y Thermal Infrared Sensor (TIRS), lanzado al espacio en agosto de 2012, formado por 11 bandas y amplias posibilidades de combinación lo que permite un mayor aprovechamiento de la información (NASA, 2014).

	Junio			Julio			Agosto			Septiembre		
	Fecha	Nubes	Sensor	Fecha	Nubes	Sensor	Fecha	Nubes	Sensor	Fecha	Nubes	Sensor
2002	2002/6/11	36%	ETM+				2002/8/14	0%	ETM+	2002/9/15	0%	ETM+
	2002/6/27	3%	ETM+									
2003				2003/7/8	0%	TM	2003/8/25	0%	TM			
2007				2007/7/19	20%	TM	2007/8/4	0%	TM	2007/9/5	0%	TM
2009	2009/6/22	4%	TM	2009/7/8	44%	TM				2009/9/10	21%	TM
2010				2010/7/27	12%	TM						
2011				2011/7/30	17%	TM	2011/8/23	58%	ETM+	2011/9/8	45%	ETM+
2013	2013/6/25	56%	ETM+				2013/8/20	3%	OLI	2013/9/5	0%	OLI
2014	2014/6/20	2%	OLI	2014/7/22	13%	OLI	2014/8/23	41%				

Tabla 1 Disponibilidad de imágenes Landsat.

Tras el inventario de las imágenes (Tabla 1) y de analizar sus características, se han elegido las imágenes con las que se va a realizar el estudio. En muchos casos el porcentaje de nubes que aparece en los metadatos de la imagen no es suficiente para descartarlas, ya que se va a trabajar una parte de la escena, en la que puede darse el caso que, aun con un alto porcentaje de nubes, nuestra área de estudio quede libre y así podamos incluirla en la selección; para ello, se hace necesario realizar una previsualización en el visor del USGS, para comprobar las características y calidad de la escena Landsat (Path:199 / Row:30).

27/06/2002	Min	Max	Media	Desvest
b1	1,0241E-09	1	0,032	0,032
b2	1,1621E-09	1	0,048	0,035
b3	6,0451E-10	1,034	0,05	0,042
b4	0,0029782	1,1472	0,236	0,065
b5	0,0025264	1,0581	0,139	0,055
b6	2,6568E-10	0,83406	0,072	0,047
14/08/2002	Min	Max	Media	Desvest
b1	1,0241E-09	1	0,032	0,032
b2	1,1621E-09	1	0,048	0,035
b3	6,0451E-10	1,034	0,05	0,042
b4	0,0029782	1,1472	0,236	0,065
b5	0,0025264	1,0581	0,139	0,055
b6	2,6568E-10	0,83406	0,072	0,047
15/09/2002	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,0022767	0	0,049	0,03
b2	1,6958E-10	0	0,063	0,036
b3	3,3442E-10	0,48375	0,06	0,044
b4	4,4218E-10	1,0051	0,239	0,08
b5	0,00235	0,84538	0,157	0,076
b6	9,4562E-11	0,63535	0,084	0,058

Tabla 2 Estadísticas de las imágenes del año 2002.

En las Tablas 2, 3 y 4 se han analizado las estadísticas de cada una de las imágenes para cada uno de los años, las estadísticas están calculadas para cada una de las bandas que nos interesan para el estudio, se han obtenido los estadísticos mínimo, máximo, media y desviación estándar.

22/06/2009	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,0013591	1	0,045	0,045
b2	1,8321E-10	1	0,051	0,051
b3	0,0019664	1,2834	0,049	0,054
b4	0,0027615	1,4233	0,256	0,075
b5	0,001699	0,94848	0,147	0,062
b6	2,2273E-10	0,82686	0,083	0,057
08/07/2009	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,0013591	1	0,045	0,045
b2	1,8321E-10	1	0,051	0,051
b3	0,0019664	1,2834	0,049	0,054
b4	0,0027615	1,4233	0,256	0,075
b5	0,001699	0,94848	0,147	0,062
b6	2,2273E-10	0,82686	0,083	0,057
10/09/2009	Min	Max	Media	Desvest
b1	1,6728E-09	1	0,048	0,033
b2	8,071E-10	1	0,06	0,04
b3	0,0023581	0,90196	0,06	0,046
b4	1,8824E-10	1,0694	0,237	0,068
b5	0,0017203	0,87857	0,159	0,075
b6	8,3823E-12	0,92024	0,09	0,062

Tabla 3 Estadísticas de las imágenes del año 2009.

20/06/2014	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,0025747	1	0,069	0,092
b2	0,00015778	1	0,077	0,09
b3	0,00061489	1,5085	0,073	0,097
b4	0,0074617	1,4487	0,292	0,092
b5	0,00015567	1,2713	0,155	0,068
b6	0,00053574	0,94893	0,083	0,056
22/07/2014	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,00021174	1	0,044	0,045
b2	1,8409E-09	1	0,059	0,046
b3	0,000021912	1,3921	0,052	0,053
b4	0,000040803	1,4048	0,302	0,086
b5	7,9943E-11	0,87039	0,154	0,061
b6	0,00012476	0,684	0,083	0,052
23/08/2014	Min	Max	Media	Desvest
b1	0,000028313	2	0,048	0,075
b2	1,606E-09	2	0,065	0,071
b3	1,0644E-09	1,7504	0,062	0,075
b4	4,8416E-10	1,8966	0,298	0,101
b5	0,000022322	1,3036	0,156	0,077
b6	0,000021338	0,95587	0,087	0,065

Tabla 4 Estadísticas de las imágenes del año 2014.

El siguiente producto es el modelo digital del terreno, se ha utilizado el MDT del vuelo Lidar (Instituto Geográfico Nacional 2014) este tiene una resolución con paso de malla de 5 metros, con la misma distribución de hojas que el Mapa topográfico Nacional MTN50.

Tiene el sistema geodésico de referencia ETRS89 por lo que hemos aplicado un reproyección a WGS84 y proyección UTM en el huso correspondiente a 30 Norte. Según la hoja de que se trate, el MDT05 (Tabla 5) ha sido obtenido de una de las dos siguientes formas formas: por estereocorrelación automática de vuelos fotogramétricos del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA) con resolución de 25 a 50cm/píxel, revisada e interpolada con líneas de ruptura donde fuera viable, o bien por interpolación a partir la clase terreno de vuelos LIDAR del PNOA (Instituto Geográfico Nacional 2014).

Ubicación	MDE Lidar 5x5
hoja 117	4-4
hoja 118	1-2,1-3,1-4,2-2,2-3,2-4,3-3,3-4, y 4
hoja 144	2-4,3-3,3-4,4-1,4-2,4-3 y 4-4
hoja 143	2-2
hoja 176	1-1

Tabla 5 Hojas correspondientes al mosaico del MDE.

Desde la Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IDEARAGON 2014) se ha obtenido la información vectorial necesaria, la capa con el área del Parque Natural de los Valles Occidentales y su zona periférica, que hemos unido conformando el área de estudio, además, de esta misma fuente, se han obtenido los límites provinciales de la Comunidad autónoma de Aragón para localizar geográficamente nuestra zona de trabajo.

El software utilizado para realizar las tareas de teledetección y SIG ha sido: para procesar los datos de las imágenes, la última versión del 2013 de ERDAS Imagine, para el análisis espacial de los resultados se han gestionado desde la versión ArcGIS 10.0 del año 2012, por último el análisis estadístico de los datos de las clases relacionados con la información del terreno se ha llevado a cabo desde el software libre R A Language and Environment for Statistical Computing 2012.

5.3 Corrección radiométrica

El proceso de corrección radiométrica de las imágenes (Figura 4), implica la conversión de los valores iniciales de los niveles digitales ND, al parámetro físico de reflectividad; de esta forma se conseguirá tener una parámetro comparable para las diferentes imágenes, la reflectividad es dependiente de las características fisicoquímicas del cuerpo que refleja la energía, por lo tanto, para definir un cuerpo es condición *sine qua non* obtener los valores de reflectividad. Para alcanzar este objetivo es necesario cumplir una serie de procesos intermedios, como el cálculo de la radiancia espectral, el siguiente paso es conocer los valores de reflectividad en el techo de la atmósfera y finalmente se corregirán los efectos atmosféricos y se normalizaran topográficamente.

5.3.1 Corrección atmosférica

El primer paso para la corrección de las imágenes atmosféricamente, es el cálculo de la reflectividad aparente, que expresa ya la relación existente entre la energía incidente y la energía reflejada. Su valor varía entre 0 (la superficie no refleja nada) y 1 (la superficie refleja toda la energía electromagnética que le llega). El calificativo de “aparente” lo recibe porque se asumen dos principios que raramente son ciertos:

- Que la superficie observada es plana (pendientes inferiores al 5%).
- Que todas las cubiertas tiene un comportamiento lambertiano.



Figura 4 Diagrama del proceso de corrección de las imágenes.

Calcularemos dos tipos de reflectividad aparente, por un lado la reflectividad aparente en el techo de la atmósfera (Top Of Atmosphere-TOA-) y por otro, la reflectividad aparente de la superficie terrestre. Para el cálculo de la reflectividad aparente en el techo de la atmósfera (TOA) y para la aparente a nivel superficial necesitaremos obtener una serie de parámetros que incluiremos en la función, será necesario calcular la energía reflejada y la energía incidente Figura 5 y Figura 6.

$$\rho_{TOA} = \frac{L_\lambda \cdot d^2 \cdot \pi}{E_{0\lambda} \cdot \cos \theta_{sol}} \quad \begin{array}{l} \text{Energía reflejada} \\ \text{Energía incidente} \end{array}$$

(Radiancia_{banda_x} * Factor corrector de la distancia Tierra-Sol * π)

(Irradiancia solar en el techo de la atmósfera_{banda_x}) * (Coseno del ángulo cenital solar) *

Figura 5 TOA

$$\rho_T = \frac{(L_\lambda - L_a) \cdot d^2 \cdot \pi}{E_{0\lambda} \cdot \cos \theta_{sol} \cdot \tau_1 \cdot \tau_0} \quad \begin{array}{l} \text{Energía reflejada} \\ \text{Energía incidente} \end{array}$$

⁵(Radiancia_{banda_x} - Radiancia debida a la dispersión atm._{banda_x}) * Factor corrector de la distancia Tierra-Sol * π

(Irradiancia solar en el techo de la atmósfera_{banda_x}) * (Coseno del ángulo cenital solar) *
(Transmisividad del flujo incidente_{banda_x}) * (Transmisividad del flujo ascendente_{banda_x})

Figura 6 Reflectividad aparente a nivel superficial2

² Las notaciones y formulaciones matemáticas de este apartado están tomadas del material docente del prof. Fernando Pérez Cabello.

Para el cálculo de la reflectividad aparente se ha intentado eliminar el efecto de la dispersión atmosférica en la radiancia y obtener la reflectividad aparente de la superficie terrestre. La eliminación del efecto de la dispersión atmosférica puede abordarse mediante diferentes técnicas, en nuestro caso se ha realizado la corrección a partir de los datos que nos proporcionan las propias imágenes. Este método asumen que los efectos atmosféricos son constantes en toda la imagen y que existe una relación lineal entre los datos registrados debidos a la dispersión y la reflectividad de los objetos: aunque se trata de una forma de proceder más simple y los resultados son menos precisos que los obtenidos cuando se utilizan medidas *in situ*, éstos métodos se han mostrado muy efectivos.

El primer paso que se ha realizado dentro de este método, es la estimación de la contribución de la atmósfera a partir de cubiertas con reflectividad nula, este método está basado en el “objeto oscuro”. Se ha utilizado el método por el cual se realiza la corrección del histograma por sus valores mínimos (*Histogram Minimun Method*) (Chavez, 1996). Este método requiere de la presencia en la imagen de zonas con sombras o aguas muy profundas, además, sólo estima el espesor atmosférico de aerosoles, no considera las transmisividades de los flujos incidente y reflejado, ni la irradiancia difusa, y en ocasiones puede ocasionar sobre correcciones en algunas de las bandas, a pesar de esto, es considerado como un método válido para resolver la complejidad y laboriosidad que entraña la corrección atmosférica.

El procedimiento consiste en identificar la radiancia mínima de cada banda de cada una de las imágenes para, después restar estos valores a la radiancia total calculada previamente.

Fechas	ND mínimos en cada banda					
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
11/06/2002	39	28	20	14	12	9
27/06/2002	42	28	21	17	13	11
14/08/2002	35	22	16	12	8	7
15/09/2002	43	26	19	12	11	10
Radiancia mínima en cada banda						
Fechas	B1	B2	B3	B4	B5	B7
11/06/2002	38,6782	26,2701	12,9174	7,49671	1,1007	0,1775
27/06/2002	42,2212	26,2701	13,8604	10,4037	1,2917	0,309
14/08/2002	33,9542	19,0101	9,1454	5,5587	0,3367	0,045
15/09/2002	26,5182	13,5751	6,1963	5,5587	0,2597	0,046

Tabla 6 valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2002

Fechas	ND mínimos en cada banda					
	B1	B2	B3	B4	B5	B7
22/06/2009	46	20	15	12	8	5
08/07/2009	49	21	16	13	9	6
10/09/2009	41	15	11	10	7	5
Radiancia mínima en cada banda						
Fechas	B1	B2	B3	B4	B5	B7
22/06/2009	32,9502	24,6718	13,4460	8,1260	0,4696	0,1144
08/07/2009	35,2482	26,1198	14,4900	9,0020	0,5896	0,1804
10/09/2009	29,1202	17,4318	9,2700	6,3740	0,3496	0,1144

Tabla 7 Valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2009

ND	ND mínimos en cada banda					
Fechas	B2	B3	B4	B5	B6	B7
20/06/2014	8030	7191	6425	6100	5400	5325
22/07/2014	7685	6747	6053	5462	5144	5060
23/08/2014	7722	6647	5921	5560	5162	5099
Radiancia	Radiancia mínima en cada banda					
Fechas	B2	B3	B4	B5	B6	B7
20/06/2014	37,7315	25,1392	13,7878	6,51327	0,58905	0,16131
22/07/2014	33,44685	20,0538	10,1916	2,73625	0,21236	0,02976
23/08/2014	34,22476	19,08356	8,997754	3,348086	0,240762	0,049623

Tabla 8 Valores de cuerpo oscuro para las imágenes del 2014

LL	1	2	3	4	5	7
Gain	1,181	1,21	0,943	0,969	0,191	0,066
Offset	-7,38071	-7,60984	-5,94252	-6,06929	-1,19122	-0,4165
HH	1	2	3	4	5	7
Gain	0,779	0,799	0,622	0,969	0,126	0,044
Offset	-6,97874	-7,19882	-5,62165	-6,06929	-1,12622	-0,3939

Tabla 9 Valores de Gain y Offset para imágenes las del 2002

	1	2	3	4	5	7
Gain	0,766	1,448	1,044	0,876	0,12	0,066
Offset	-2,28583	-4,28819	-2,21398	-2,38602	-0,49035	-0,21555

Tabla 10 Gain Offset 2009

	2	3	4	5	6	7
Gain	0,012452	0,011474	0,009676	0,005921	0,001473	0,0004963
Offset	-62,25806	-57,3703	-48,3779	-29,6048	-7,36245	-2,48154
Gain	0,012456	0,011478	0,009679	0,005923	0,001473	0,0004965
Offset	-62,27751	-57,3882	-48,393	-29,6141	-7,36475	-2,48232
Gain	0,012573	0,011586	0,00977	0,005979	0,001487	0,0005011
Offset	-62,86394	-57,9286	-48,8486	-29,8929	-7,4341	-2,50569
Gain	0,012668	0,011673	0,009844	0,006024	0,001498	0,0005049
Offset	-63,33834	-58,3657	-49,2173	-30,1185	-7,4902	-2,5246

Tabla 11 Gain y offset para el año 2014

Obtenida la reflectividad en el techo de la atmósfera el siguiente paso es el cálculo de la reflectividad de la superficie terrestre (Figura 6). El factor corrector de la distancia Tierra-Sol (d^2) depende del día del año en el que se ha tomado la imagen (entre el momento en el que la Tierra se encuentra más cercana al sol –perihelio, 2-5 de enero- y más lejana –afelio, 2-5 de julio-). Su obtención se realiza mediante la expresión de la Figura 8.

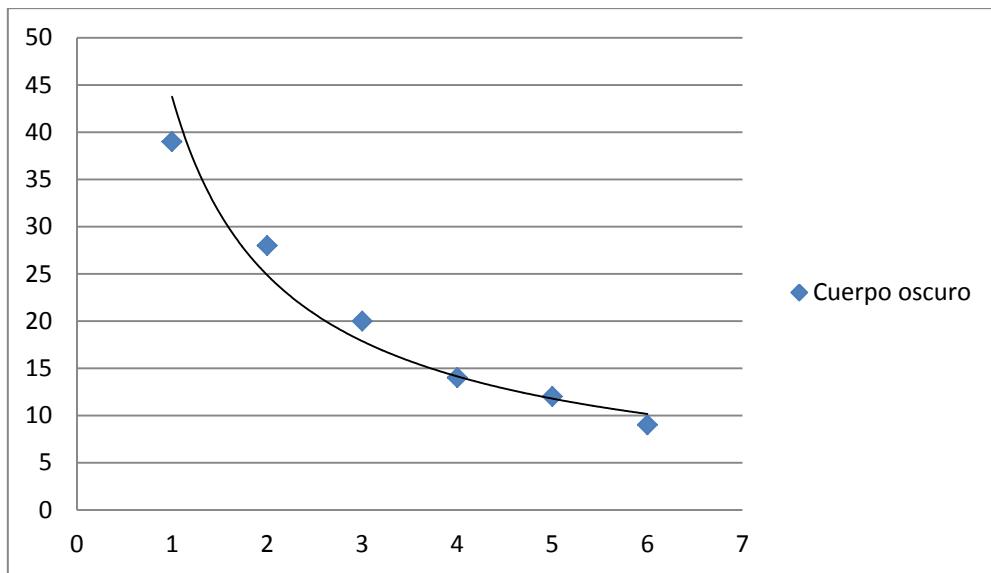


Figura 7 Valores de cuerpo oscuro para una imagen de 11/06/2002

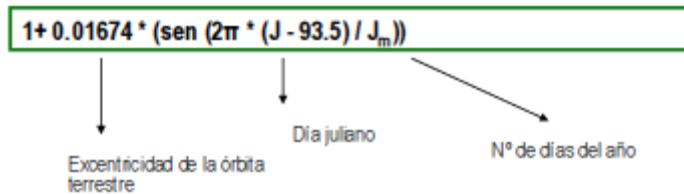


Figura 8 Factor corrector de la distancia Tierra-Sol (d^2)

El siguiente factor que tenemos que obtener es la irradiancia solar en el techo de la atmósfera (exo-atmosférica), es una constante solar, se recomiendan los siguientes valores para las bandas de TM y ETM+ (expresadas en $\text{W} / (\text{m}^2 \mu\text{m})$) (Chander, Markham y Helder 2009).

Bandas	1	2	3	4	5	7
TM ($\text{W}/(\text{m}^2 \mu\text{m})$)	1983	1796	1536	1031	220.0	83.44
ETM+ ($\text{W}/(\text{m}^2 \mu\text{m})$)	1997	1812	1533	1039	230.8	84.90

Bandas	2	3	4	5	6	7
OLI ($\text{W}/(\text{m}^2 \mu\text{m})$)	2004.6	1820.7	1549.4	951.2	247.6	85.5

Tabla 12 Valores de irradiancia solar.

Para calcular el coseno del ángulo cenital solar (Figura 9) tendremos que calcular y buscar los siguientes elementos:

- El ángulo cenital solar se calcula como el complementario al ángulo de elevación solar
- El ángulo de elevación solar viene en los ficheros de cabecera
- El ángulo cenital se debe expresar en radianes ($1^\circ = 0.01745$ radianes)

$$\operatorname{COS}((90 - \text{"ángulo de elevación solar"}) * 0.01745)$$

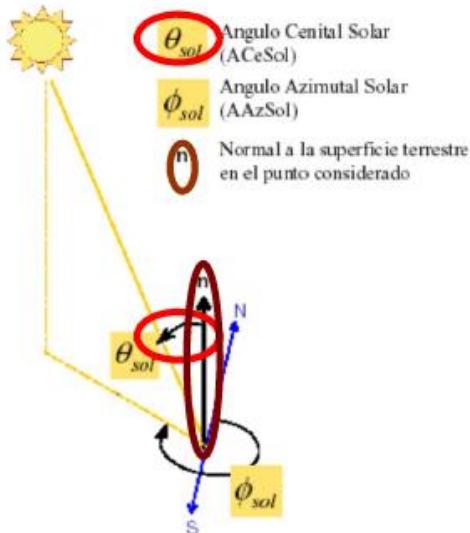


Figura 9 Angulo cenital solar.

El siguiente aspecto que se ha integrado en la corrección, es la transmisividad del flujo incidente, para nuestro método, se han tomado unos valores estándar recomendados por el Plan Nacional de Teledetección (PNT), los mismos para las bandas de TM, ETM+ y OLI.

Banda1	Banda2	Banda3	Banda4	Banda5	Banda7
0.70	0.78	0.85	0.91	0.95	0.97

Tabla 13 Valores de transmisividad incidente.

5.3.2 Corrección topográfica

El término normalización topográfica hace referencia a la compensación de las diferencias de iluminación solar introducidas por la forma irregular del terreno. La topografía tiene una influencia en la respuesta espectral y más en una zona como el Pirineo occidental (Figura 10), por lo que intentaremos minimizar esa influencia.

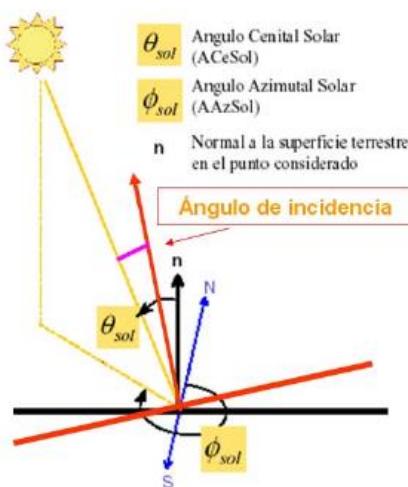


Figura 10 Influencia de la topografía.

Para paliar el efecto que produce la topografía se ha utilizado un Modelo Digital de Elevaciones que proporciona el PNT de una resolución espacial de 5X5 metros (MDE LiDAR), es fundamental que sea de menos resolución y que este bien georreferenciado,

este método resulta muy eficaz ya que permite modelar las condiciones de iluminación en el momento de la toma de la imagen. Lo utilizaremos para crear un modelo de reflectividad que normalice la superficie, es decir, como si fueran planas. Este modelo semi-empírico está basado en funciones de dependencia entre la reflectividad y los ángulos implicados en la geometría de la observación-iluminación.

La mayoría de las cubiertas terrestres no son difusores lambertianos, es decir, dispersan la radiación incidente siguiendo un patrón angular, para una buena corrección de la reflectividad, se deben considerar sus aspectos direccionales (Figura 11).



Figura 11 Modelo no lambertiano.

La función de distribución de la reflectividad bidireccional (BRDF) (Bidirectional Reflectance Distribution Function): integral de la función de proporcionalidad entre el flujo de radiación incidente y la radiación reflejada definida para ángulos sólidos infinitesimales

- Concepto teórico que modela los efectos de la reflectividad comparando la radiancia reflejada en una dirección con la incidente en otra.
- Hacer referencia a la variación de la reflectividad con la geometría de observación.
- Permite ajustar los valores de reflectividad para minimizar los efectos de la anisotropía.

Los modelos no lambertianos asumen que las superficies tienen un comportamiento anisotrópico debido a su rugosidad es un comportamiento anisotrópico. Se ha utilizado el método usado en el Plan Nacional de Teledetección (PNT) para imágenes Landsat (Figura 12).

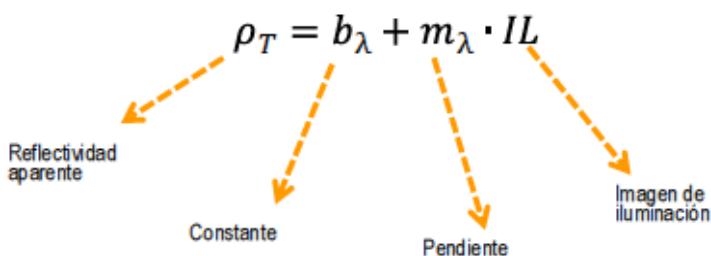
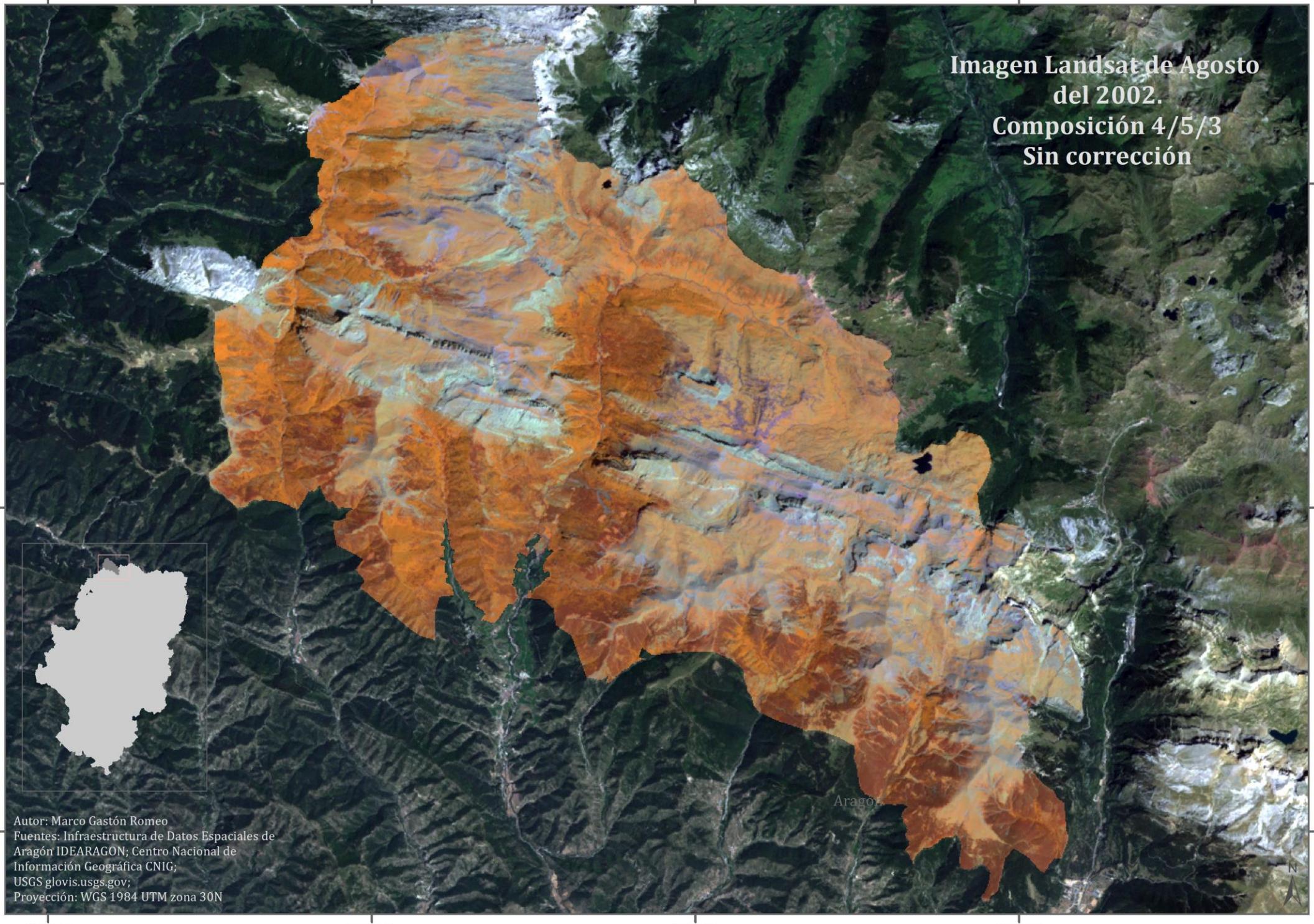
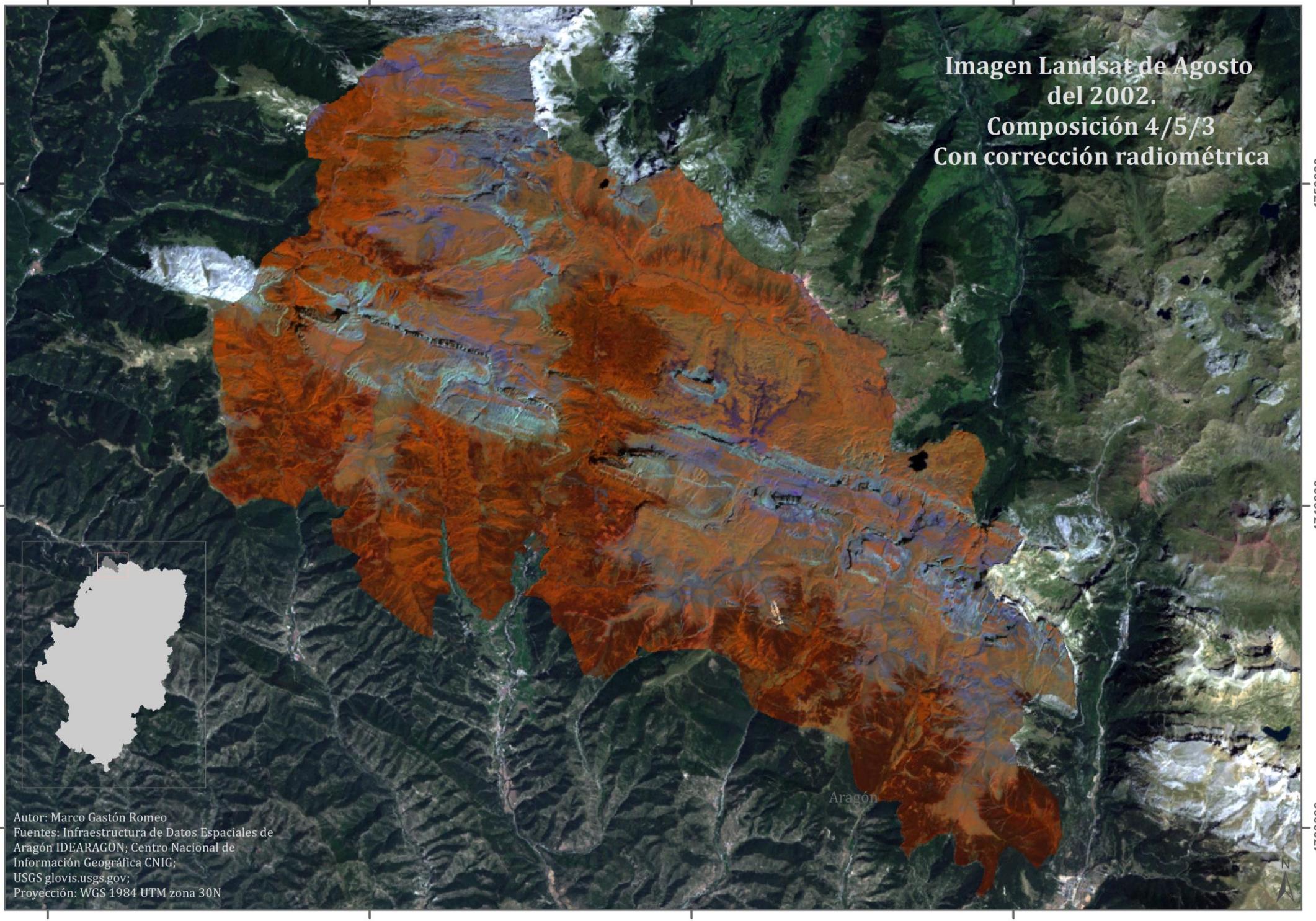


Figura 12 Modelo no-Lambertiano usado por el PNT

En las siguientes figuras se han presentado a modo de ejemplo el aspecto de la imagen antes de corregir y posterior a aplicarles las correcciones atmosférica y topográfica, en la imagen corregida llama la atención el aspecto de “aplanado” resultante de eliminar en gran medida la influencia de la topografía, más evidente un entorno de alta montaña como este.

Imagen Landsat de Agosto
del 2002.
Composición 4/5/3
Sin corrección





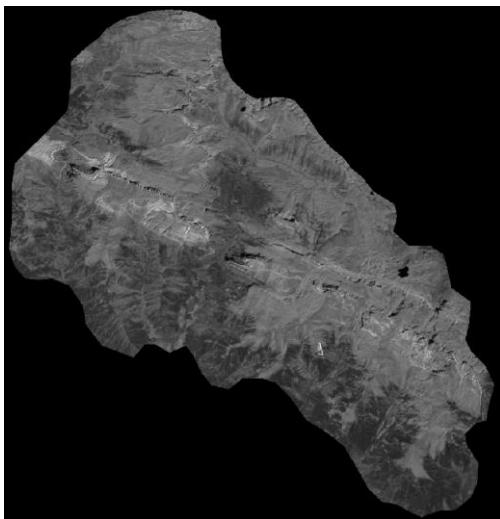
5.4 Clasificación

La clasificación digital de imágenes es una de las fases culminantes del usuario de teledetección, la clasificación, es el proceso de asignación de los pixeles de la imagen a un número finito de categorías informacionales, en función de sus características espectrales, mediante herramientas informáticas (ERDAS, 2013.) y estadísticas.

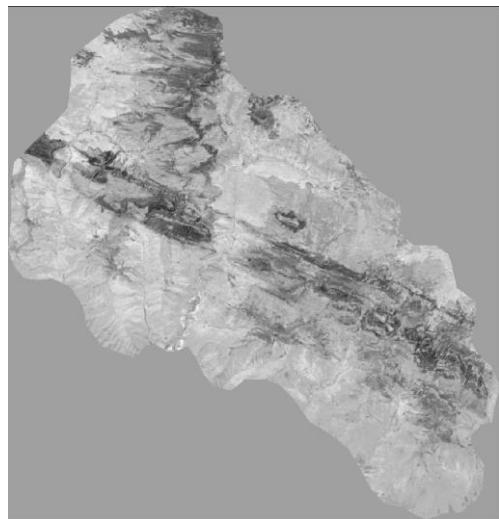
5.4.1 Generación de neocanales para la clasificación: Análisis de Componentes Principales

Para alcanzar el objetivo marcado, de poder hacer una clasificación se ha considerado que enriquecerá el resultado el utilizar bandas que sinteticen información a partir de las bandas originales. Estos neocanales nos permitirán extraer información continua y realzar aspectos significativos de las imágenes, que ayudaran en el proceso de clasificación digital.

En nuestro caso se ha realizado un análisis de las componentes principales ACP, esto es fundamentalmente una técnica estadística entroncada en las técnicas multivariantes de síntesis de la información.



Primer componente principal



Segundo componente principal

Figura 13 Dos primeros componentes de la imagen de agosto del 2002.

En el proceso de adquisición de las imágenes de satélite implica recoger información redundante, el objetivo de este análisis es resumir un amplio abanico de variables en un nuevo conjunto de menor tamaño, todo ello sin perder una parte significativa de la información original. Para ello comprime las variables y elimina la información redundante utilizando una matriz de varianza-covarianza. El ACP crea estructuras de interdependencia entre variables cuantitativas (dimensiones subyacentes comunes) mediante la transformación de un espacio de representación P en un nuevo espacio P' en el que los datos no estén correlacionados. Para cada una de las bandas, la dispersión de los valores en torno a la media se expresa mediante la varianza (Figura 14) y la variación conjunta de dos bandas se expresa mediante la covarianza (Figura 15).

$$\sigma_Q^2 \approx \frac{\sum_{i=1}^k (Q_i - \mu_Q)^2}{k-1}$$

Figura 14 Varianza.

$$C_{QR} \approx \frac{\sum_{i=1}^k (Q_i - \mu_Q)(R_i - \mu_R)}{k}$$

Figura 15 Covarianza.

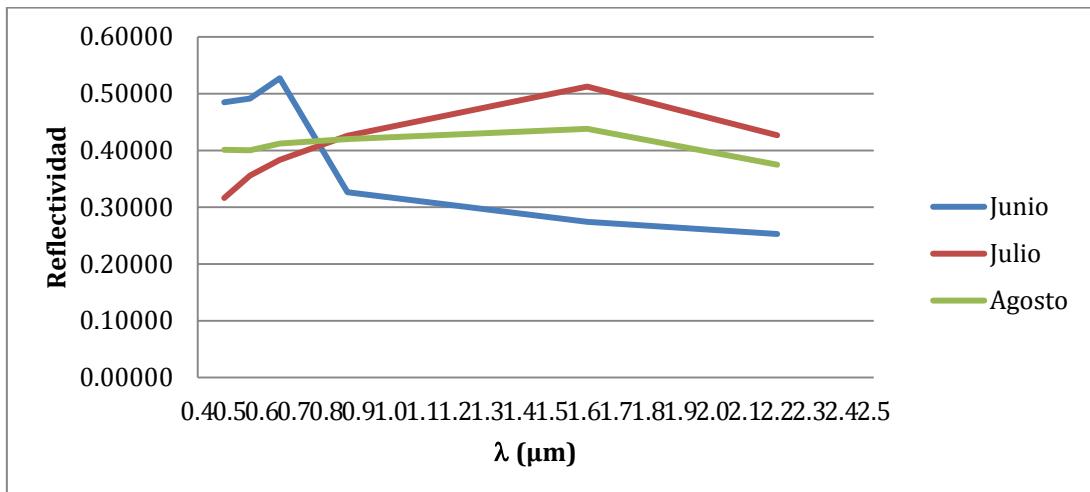


Figura 16 primer componente principal para las imágenes del 2014.

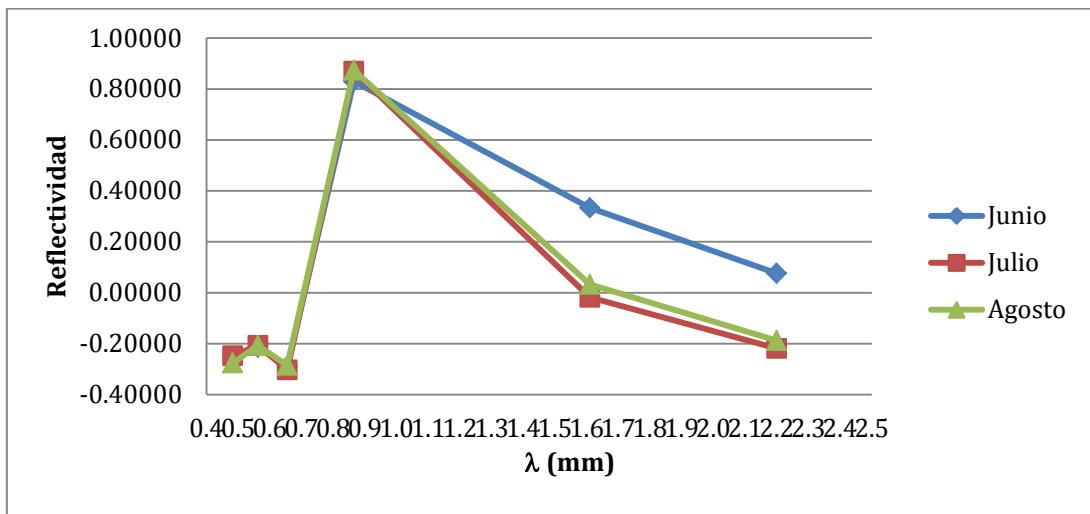


Figura 17 Segundo componente principal para las imágenes del 2014.

	Junio		Julio		Agosto	
	Autovalor	%	Autovalor	%	Autovalor	%
CP1	0.02435733	69.2	0.0122311	59.2	0.02863802	76.6
CP2	0.00671958	19.1	0.00724629	35.08	0.00731944	19.5
CP3	0.00396853	11.2	0.00103898	5.03	0.00124802	3.3
CP4	9.0682E-05	0.2	4.998E-05	0.2	4.8852E-05	0.1
CP5	2.8115E-05	0.07	2.5367E-05	0.1	3.8623E-05	0.1
CP6	9.5012E-06	0.02	6.2422E-05	0.3	5.6728E-05	0.1
Total	0.03517374		0.02065414		0.03734969	

Tabla 14 Autovalores de los ACP 2014

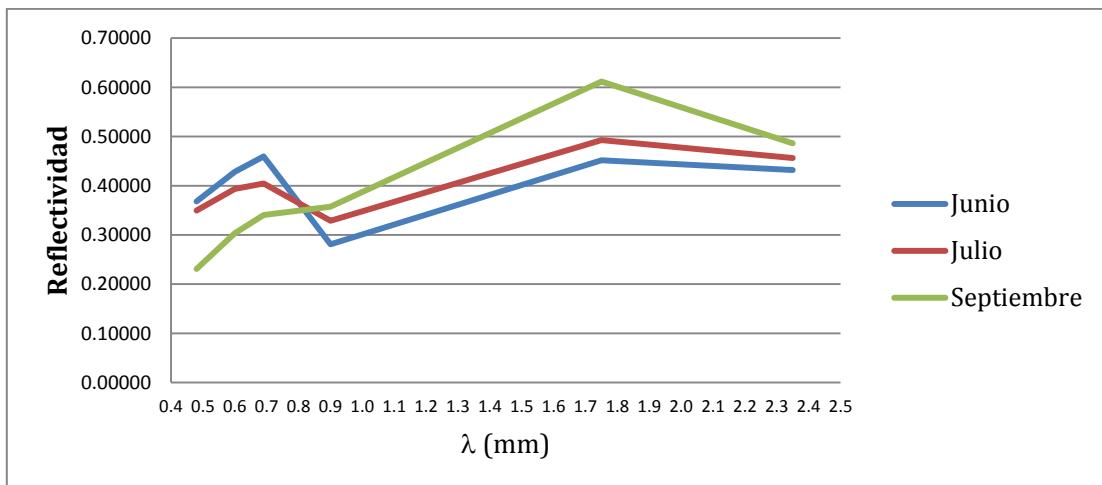


Figura 18 Autovectores del CP1 para las imágenes de 2009.

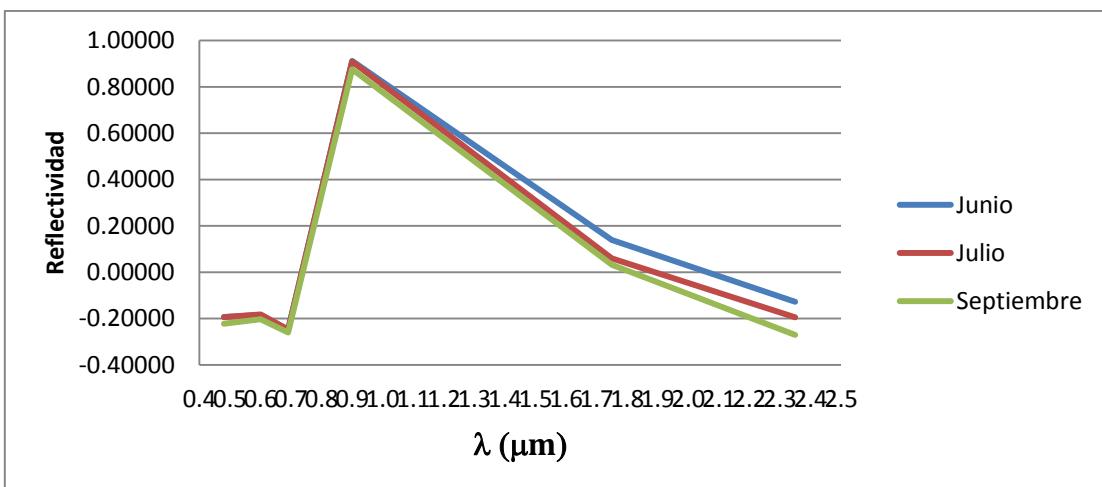


Figura 19 Segundo componente principal para las imágenes de 2009.

	Junio		Julio		Septiembre	
	Autovalor	%	Autovalor	%	Autovalor	%
CP1	0.01117449	60.9	0.01443623	69.9	0.01431911	76.7
CP2	0.00507175	27.7	0.00522557	25.3	0.00373651	20.0
CP3	0.00200826	10.9	0.00089753	4.3	0.00050301	2.7
CP4	4.6772E-05	0.3	5.9022E-05	0.3	5.6145E-05	0.3
CP5	2.7138E-05	0.1	3.2688E-05	0.2	4.5249E-05	0.2
CP6	1.3943E-05	0.1	1.2129E-05	0.1	1.2473E-05	0.1
Total	0.01834235		0.02066317		0.0186725	

Tabla 15 Autovalores de los ACP de 2009

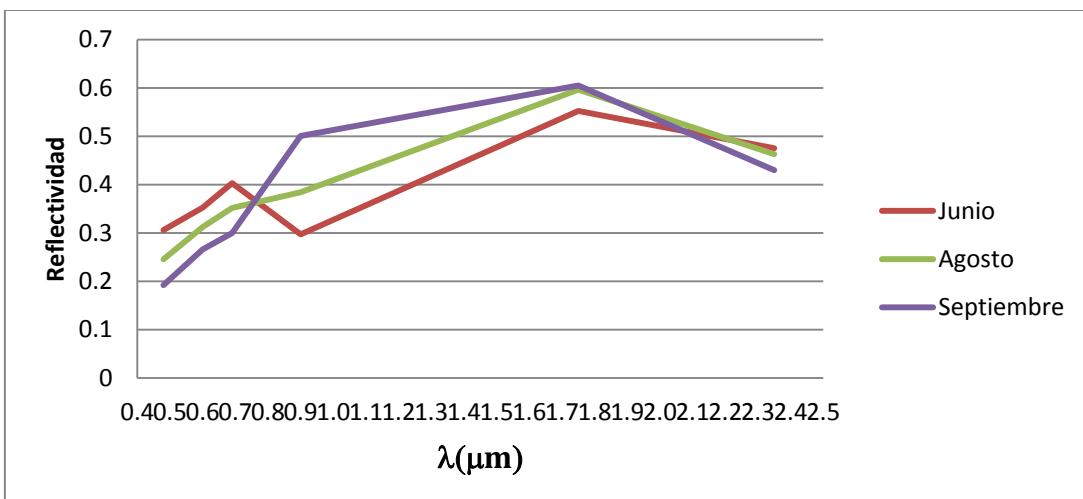


Figura 20 Primer componente principal para las imágenes de 2002.

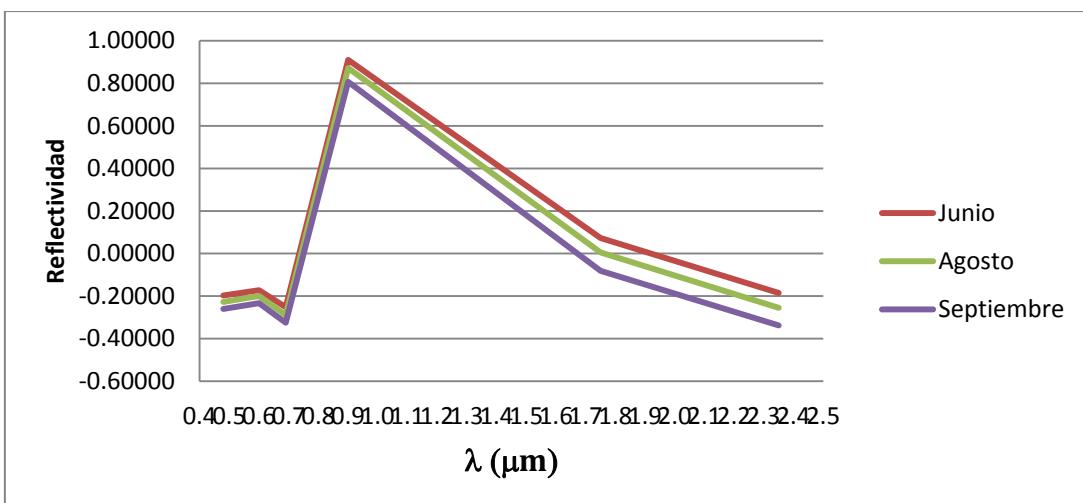


Figura 21 Segundo componente principal para las imágenes de 2002.

	Junio		Agosto		Septiembre	
	Autovalor	%	Autovalor	%	Autovalor	%
CP1	0.009805	67.1	0.01057654	68.1	0.01502221	73.7
CP2	0.00417235	28.5	0.00456085	29.4	0.00491038	24.1
CP3	0.00050665	3.5	0.00023163	1.5	0.00026735	1.3
CP4	3.6022E-05	0.2	4.4273E-05	0.3	5.4411E-05	0.3
CP5	2.7587E-05	0.2	2.5706E-05	0.2	3.3038E-05	0.2
CP6	6.9739E-05	0.5	8.2354E-05	0.5	8.9619E-05	0.4
Total	0.01461734		0.01552136		0.02037702	

Tabla 16 Autovalores de los ACP 2002

Como se aprecia en las tablas 10, 11 y 12, la información espectral queda sintetizada en su mayor parte en los dos primeros componentes principales de cada imagen, el 90% de la información se encuentra en estos productos, la información del tercer componente principal está altamente correlacionada con la iluminación de la imagen, por lo que se va a utilizar la imagen de iluminación que hemos obtenido a partir del modelo digital de elevaciones; así pues, para cada año se ha decidido tras el análisis utilizar los dos primeros componentes de cada una de las imágenes y añadir la imagen de iluminación, el resultado

será el producto (layer stack) que se utilizará para realizar las clasificaciones en primer lugar no supervisadas y supervisadas por último.

5.4.2 Clasificación no supervisada

Una de las razones por la que se va a realizar la clasificación no supervisada no es solo la obtención de una cartografía, que inevitablemente resulta de esta metodología, si no utilizar estas clases en algún caso como áreas de entrenamiento a la hora de hacer la clasificación supervisada. Esta información será un añadido más como criterios que se consideran para la clasificación final.

Antes de explicar cómo se ha abordado esta clasificación, se ha considerado conveniente indicar que se han utilizado otros productos, que, finalmente y debido en gran medida a los malos resultados, no se han utilizado; así pues, en un primer contacto con esta técnica, se calcularon diferentes Índices de vegetación y los ejes Tasseled cap de cada imagen. En un primer análisis se apreciaban unos resultados que no se aproximaban a los esperados. Finalmente comprobamos que eran los productos antes mencionados, de los dos primeros ACP, los que mejores resultados obtenían, con diferencias muy significativas respecto a los anteriores.

Para la clasificación supervisada se ha realizado una integración de información de los componentes principales a los que se les ha añadido información auxiliar, en nuestro caso esa información se ha sintetizado en otro producto, que es la imagen de iluminación.

El método no supervisado, a partir de unas instrucciones mínimas, busca agrupamientos naturales de píxeles con valores homogéneos. El resultado es una variable categórica (cualitativa) u ordinal. Los resultados necesitan interpretación y contraste, pues en algún caso no siempre los *clusters* hallados tienen un significado identificable con la leyenda.

El método no supervisado que se ha aplicado es el ISODATA, este es un algoritmo de clasificación automático iterativo, que se basa en la función de mínima distancia espectral (*Iterative Self-organizing Data Analysis Technique*). Este método se realiza mediante los siguientes procesos:

- Seleccionar valores iniciales que actuarán como referencia de los *clusters*.
- Calcular la distancia entre el píxel de referencia de cada clase y todos los demás.
- Clasificar la imagen, asignando las celdas al agrupamiento más próximo.
- Recalcular las medias de los nuevos agrupamientos.
- Repetir el ciclo de reclasificación hasta que finalice el número de ciclos prefijado.

En el proceso se pueden introducir diferentes parámetros (Figura 22) que condicionan el resultado, así pues, se pueden designar el número de clases a definir, la medida mínima de los conglomerados, el número máximo de iteraciones, así como un umbral de convergencia, que será el máximo porcentaje de píxeles cuyos valores de clase permanecen inalterados entre iteraciones, además se puede variar el número de clases dentro de un rango que se define en función del número de desviaciones estándar.

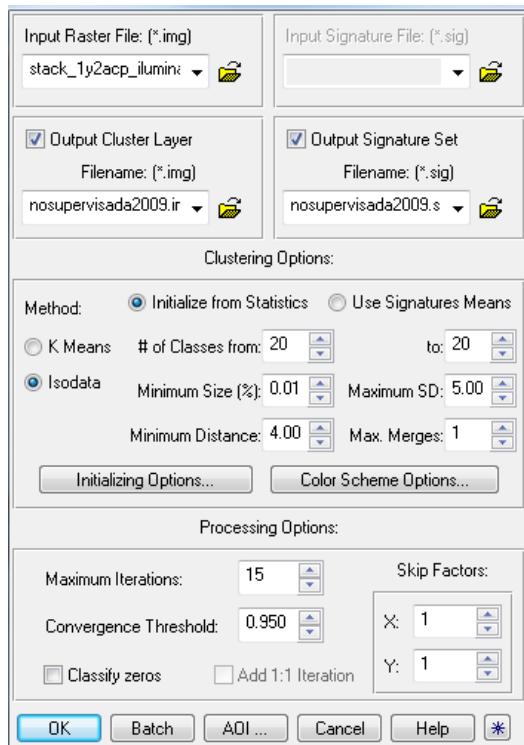


Figura 22 Parámetros del método ISODATA.

5.4.3 Definición de la leyenda

La definición de la leyenda se ha realizado basándonos en diferentes informaciones, los escritos de Montserrat Recoder, 1960, 1964, 1968, 1971, 1973 son parte fundamental en la caracterización de los pastos y las comunicaciones personales del investigador Federico Fillat Estaque y del Ganadero Martín Gastón Aznarez son la base para la definición de la leyenda y de las zonas utilizadas como entrenamiento y verificación de la clasificación supervisada, así como la explicación de las clases de pastos obtenidas tras la clasificación no supervisada, que en este caso también se ha considerado como parte del entrenamiento.

Cervunal

El cervuno (*Nardus stricta*) es una gramínea basta que se alimenta por micorrizas como los brezos. Precisa de suelos ácidos y tolera la acumulación de restos vegetales mal humificados. Forma muchas hojas duras cada verano que, al final, se aplican al suelo aplastadas por la nieve; con tanta precipitación y falta de sales, la descomposición de la hojarasca y restos de rizomas es muy lenta, formándose un fieltro en el que difícilmente medran otras plantas. El regaliz (*trifolium alpinum*) puede convivir con esta especie, mientras el ganado apure pronto los brotes tiernos y hojas del cervuno, este cervuno pastado y generalmente más rico en regaliz es más buscado por el ganado (Montserrat Recoder 1971).

Desde Canfranc hacia el oeste, se acumula mucha nieve, la cercanía al Cantábrico y la falta de montes muy elevados que limiten su influencia directa son dos factores muy importantes a la hora de explicar este fenómeno en nuestra zona de estudio. Este manto de nieve en los lugares donde puede conservarse, acorta el periodo vegetativo y elimina a

las especies de alta montaña mediterránea que suelen acompañar a la *Festuca scoparia*. Abundan las neveras con vegetación muy especial y su borde lo forman unas comunidades de pasto muy vistosas, esmaltadas en verano por innumerables flores y gran variedad de especies.

Este ambiente creado de suelo inicial, poco profundo, con roca caliza en superficie que impide la rápida acidificación edáfica esta colonizada por un especie típica de este sector, el *Horminum pirenaicum*. En estos montes, cuando cesa el pasto duro y amarillento de las solanas a sotavento de las brumas cantábricas, pasamos a los pastos de *horminum*, que evolucionan en muchos casos a cervunal con regaliz; donde se dan las condiciones para que engruesse el suelo es donde penetra el regaliz (*T. alpinum*) con llantén de tasca (*Plantago alpina*) y cervuno (*Nardum stricta*).

En los pastos mas orientales de nuestra zona de estudio (Canfranc, Aisa) el lavado del suelo es menos intenso, abundan las rocas de caliza dura que caen y persisten mucho tiempo en la superficie del suelo, entonces la penetración de plantas acidófilas es más lenta y las bandas de pasto calizo son mucho más anchas que en los puertos ansotanos. El cervunal ocupa únicamente los rellanos con más suelo y acompañado del llantén alpino (*Plantago alpina*) y regaliz.

En los zona más occidental de los puertos de Ansó es muy necesario el pastoreo intenso y precoz para frenar el desarrollo del cervuno, pues, si llega a dominar nos encontramos con el tipo de cervuno que los pastores llaman agrio, para distinguirlo del bien explotado, abonado por excrementos y rozado frecuentemente por el diente de los herbívoros (Montserrat Recoder 1971).

El tipo de pasto ansotano es subcantábrico, ocupa la posición que correspondería al subalpino del Pirineo central, pero puede subir hasta las partes más elevadas de los montes, con aspecto en muchos casos de tasca alpina o pasto denso. Esta abundancia se debe a la fuerte innivación, a las altas precipitaciones y fundamentalmente al intenso pastoreo que se ha llevado a cabo desde la prehistoria.

El cervunal es conocido en la nomenclatura de la zona como cerrillo, en la toponimia existen muchas zonas conocidas como cerrillares, por el ejemplo el cerrillar de la vertiente entre la Ezpelunga y Zotarola.

Las zonas de cervunales abandonadas o menos pastadas –que hemos mencionado antes como cervuno agrio– tienen un menor interés pastable y se convierten en menos apetecibles para el ovino. Estas zonas pueden llegar a recuperarse si la demanda de pastos aumentase, su recuperación tendría que pasar por un primer desbroce mecánico del matorral, seguido de pastoreo intenso por equinos, que son capaces de sacar provecho de este cervuno; tras este pastoreo intenso, sería hora de pasar al vacuno y finalmente al ovino, que sería capaz de mantener ese cervunal más fino y entraría finalmente el *T. alpinum*.

Pasto denso

En los rellanos menos afectados por la erosión, se juntan una serie de plantas diminutas formando un césped denso, con suelo profundo y rico en humus. Tanto sobre roca acida

como sobre roca básica, se llega al final a un mismo tipo de pasto estable, este pasto lo denominamos denso. Estos pastos densos están formados por *Bromion erecti* como especie dominante y que define estas comunidades, acompañados de *Festuca eskiae* y *Festuca gautieri*, además de otras gamines enanas que densifican el pasto, junto al *Carex curvula* (Montserrat Recoder 1971)

Además, en estas comunidades se encuentran multitud de especies que colorean el verano, destacando entre las laderas amarillentas y soleadas, son las primulas la primeras en florecer (*Primula sp*), en el periodo estival florecen las pequeñas gencianas (*Gentiana alpina*, *Gentiana Verna*, *Gentiana acaulis*) de un intenso azul, entre estas especies se encuentra el regaliz de flores rosáceas y de gran interés para el ganado.

Los pastos más finos dentro de estas comunidades, pero en las laderas mas empinadas, en la evolución de las festucas más duras, aparecen las *Festuca rubra* y la *Poa alpina*, ambas muy apreciadas por los pastores de la zona.

En esta categoría de pasto denso quedan integrados las comunidades de plantas que colonizan las zonas de suelo más rico, con exceso de materia orgánica, estas circunstancias se producen en las majadas³, conocidas como cubilares en la zona de estudio. Son muy características las especies que dominan en estos ambientes, especies de hoja ancha y de mayor tamaño que las especies de este entorno alpino.

Al fundir la nieve aparecen varias plantas comestibles, en las que destaca el *Taxacum purenaicum* y los sarriones (*Chenopodium bonushenricus*) que en su desarrollo dejan de ser comestibles y son amargas para el ganado. Las ortigas son uno de los indicadores de estos reposaderos. En primavera son muchas las especies que florecen en estos lugares, con flores muy vistosas. Cerca de las majadas encontramos todas las transiciones entre vegetación ruderal de montaña y los tipos de pasto dominantes en cada zona (Montserrat Recoder 1971). Las comunidades de *Bromion* aparecen en orlas en torno a los cubilares.

Pasto discontinuo

Las vertientes empinadas, junto a gleras móviles y aprovechando la fijación de pedruscos efectuada por las pioneras, se pueblas de un pasto punzante y alto en el que suele dominar la *Festuca eskia*.

Esta gramínea, con hojas que se asemejan a los juncos, tapiza laderas muy empinadas, donde la nieve se desliza muy fácilmente produciendo los aludes. Fuertemente enraizada, la nieve la plasta cada invierno, pero renace vigorosamente al brotar siempre por su extremo, levantándose sobre las piedras y tierra que la recubren, este tipo de crecimiento produce unas colinas semilunares muy típicas de esta estepa.

En las laderas calizas mas soleadas, donde la nieve funde pronto, encontramos la estepa mas amarillenta formada principalmente por *Festuca scoparia*. Estas dos gramíneas, tanto en las comunidades de *Festuca eskia* como en las de *Festuca scoparia* aparecen acompañadas de multitud de flores con una floración fugaz debido a la falta de agua.

³ **Majada:** Zonas de sesteo del ganado, son zonas fijas, abrigadas y cercanas a las cabañas de pastores, otra tipología de majada son los acalaraderos, lugares venteados o a la sombra donde pasar las horas de más calor, el viento ayuda al ganado a librarse de los molestos insectos.

Pasto encharcado

Las altas montañas con sus nieves persistentes alimentan la red de drenaje, caracterizada por las características químicas de sus aguas y de sus temperaturas entre los 2 y 6ºC que son corrientes durante todo el verano, con muy escasas variaciones diurnas y estacionales. La temperatura de las aguas de la red suele coincidir con la media del año, se trata, por lo tanto, de unas condiciones constantes, que además han persistido a lo largo del cuaternario y fines del terciario. En pleno invierno la vegetación de estas zonas encharcadas se mantiene verde gracias a la temperatura constante del agua que funde la nieve de las cercanías. Estas condiciones hacen que podamos encontrar las mismas comunidades a muy diferentes alturas.

Estas comunidades vegetales de especies higrófilas llevan una aureola de pasto turboso que dominan los carices.

Las especies que podemos encontrar son *Saxifraga praetermissa*, especie más común de los neveros pedregosos, junto con *Caltha palustris*, *Veronica pnoae*, *Epilobium anagallidifolium*, *Tofieldia calyculata*, *Bartsia alpina*, *Molinia caerulea*, *Chaerophyllum sp.*, etc.

Prados de siega

Esta categoría es la menos representada en la zona de estudio, se sitúan los prados de siega en los fondos de valle de los principales ríos, escasamente representados del Veral, solo alguna zonas de prados de diente que incluimos en esta categoría, por ser susceptibles a la siega, pero que conocemos que su aprovechamiento actual es exclusivamente a diente, es en el valle del Aragón Subordán donde se sitúan las mayores extensiones de esta categoría debido principalmente a la morfología del valle, también encontramos prados de siega en el río Osia y en el Estarrún.

Estas comunidades varían en composición, pero dominan principalmente los prados de rai-gras y trébol blanco en los prados de diente y de esparceta, alfalfa y otras leguminosas en los de siega, además de pastizales de rai-gras y festucas. Estos prados de siega se aprovechan a diente el redalle (pacióñ⁴).

Matorral

Este clase se sitúa en las laderas del piso alpino y subalpino, se corresponde principalmente con enebrales (*Juniperus sp*), erizales (*Echinospartum horridum*) y bojedales (*Buxus sempervirens*) su avance es en detrimento de los puertos de verano y de tránsito.

Brezal

Los brezales tienen una presencia escasa en la zona de estudio, además de escasa, su emplazamiento es muy concreto, y lo encontramos en la ladera norte de Guarrinza principalmente, su avance se produce en detrimento del cervunal, cabe destacar que

⁴ **Pacióñ:** Crecimiento de la hierba de un prado, después de la siega, se pasta en verano u otoño, equivale a lo que los ingleses llaman *aftermath*, llamaríamos otoñada a la pación desarrollada durante el otoño y pasto extremo o hibernal al que se desarrolla o puede pastarse durante el invierno (Montserrat Recoder 1960).

estudios previos, donde se estudió la ocupación del suelo en el año 1956, estas comunidades no estaban presentes y la zona (pastada por las borregas) estaba dominada por el cervunal.

Roquedo

En esta categoría se integran los afloramientos de roca desnuda, gleras o canchales, cresteríos.

Suelo desnudo

El suelo desnudo se corresponde con las zonas en las que la erosión ha dejado al descubierto el sustrato y hay muy poca presencia de vegetación.

Cuerpos de agua

Se corresponden con los Ibones de Estanés y de Acherito.

Bosque de frondosas

Los hayedos de *Fagus sylvatica* son las principales masas de frondosas que aparecen en la zona de estudio, además de comunidades de quercíneas.

Bosque de coníferas

Principalmente los bosques de pino albar o pino royo (*Pinus silvestris*) en todas sus facies, además de las masas de pino negro (*Pinus uncinata*) y abetales (*Abies alba*).

Bosque mixto

En esta categoría se engloban todos los bosques en los que no podemos definir la especie dominante, aquí podemos encontrar los hayedo-abetales, los bosques mixtos de pinar y frondosas y diferentes composiciones.

5.4.4 Clasificación supervisada

El primer paso antes de comenzar el entrenamiento en la clasificación, es la definición de la leyenda que hemos explicado en el apartado anterior, considerando que es representativa de la variabilidad informacional de la imagen e interesante para nuestro estudio.

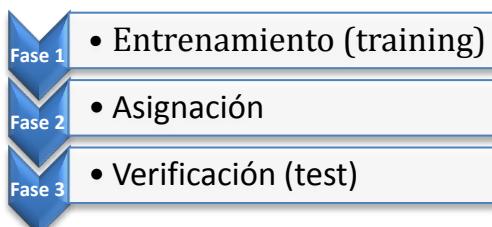


Figura 23 Método supervisado.

Fase 1

Una vez definida la leyenda el siguiente paso es la identificación de áreas de entrenamiento a partir de las categorías informacionales recogidas en la leyenda.

El set de signaturas espectrales lo almacenamos en un fichero (con formato .sig). En este fichero quedan definidas cada categoría, procurando que contengan toda la variabilidadpectral de dicha clase y cada una de sus facies.

Para la definición de las áreas de entrenamiento utilizaremos el método de localización iterativa, donde digitalizaremos en la pantalla estas áreas, nos apoyaremos en datos de campo, en el conocimiento personal de la zona y en comunicaciones personales de ganaderos e investigadores, conocedores de la zona de estudio. En algún caso se ha utilizado el apoyo de fotografía aérea (PNOA), y de cartografía temática existente.

El siguiente proceso dentro de la clasificación supervisada es el análisis de la separabilidadpectral de las categorías.

El análisis de separabilidadpectral implica un proceso de reflexión sobre la diferenciación spectral de las categorías seleccionadas mediante:

- Tabulación de estadísticas básicas, en el que hemos analizado el grado de homogeneidad-dispersión
- Procedimientos gráficos, apoyados en el diagrama de signaturas.
- Criterios estadístico-cuantitativos

A partir de las áreas de entrenamiento, se han creado las firmas espectrales y se ha hecho un análisis de separabilidad que permite evaluar el grado en el cual las categorías pueden ser distinguidas espectralmente. Para esto, se ha optado por utilizar el método de divergencia transformada, ya que con este método se han obtenido mejores resultados que con otros. Este método es el más utilizado en estudios donde se emplea esta clasificación.

Los valores que se obtienen a través del cálculo de separabilidad fluctúan entre 0 y 2 000, donde el valor de 2 000 representa la separabilidad optima entre los pares de clases. Para la interpretación de los valores de separabilidad ver tablas 17, 18 y 19, donde se muestran las matrices con estos valores de separabilidad para cada año.

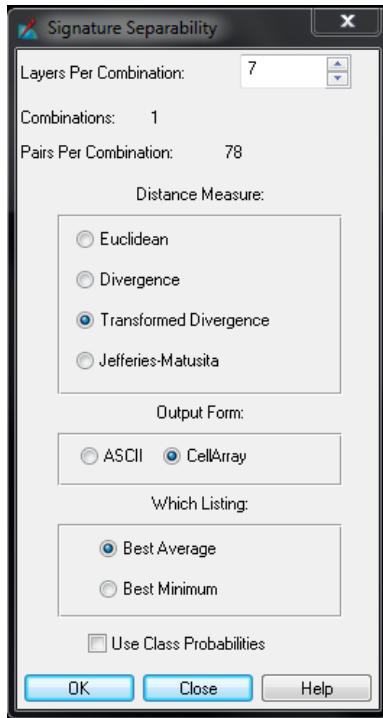


Figura 24 Método de divergencia transformada.

Frondosas	0	1976.13	1109.98	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1998.73	1998.99	2000	2000
Coníferas	1976.13	0	1884.01	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.98	2000	2000
Bosque mixto	1109.98	1884.01	0	2000	2000	2000	1999.99	2000	1999.96	1978.71	1941.09	2000	2000
Suelo	2000	2000	2000	0	2000	2000	1999.72	2000	1999.93	2000	2000	2000	2000
Cuerpos de agua	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Roquedo	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Pasto discontinuo	2000	2000	1999.99	1999.72	2000	2000	0	1961.58	1846.62	1999.97	1999.36	2000	2000
Pasto denso	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1961.58	0	1589.55	2000	2000	1961.72	2000
Cervunal	2000	2000	1999.6	1999.93	2000	2000	1846.62	1589.55	0	1999.72	1999.58	1997.85	2000
Brezal	1998.73	2000	1978.71	2000	2000	2000	1999.97	2000	1999.72	0	1980.3	1999.98	2000
Matorral	1998.99	1999.98	1941.09	2000	2000	2000	1999.36	2000	1999.58	1980.3	0	1999.91	2000
Pasto encharcado	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1961.72	1997.85	1999.98	1999.91	0	2000	2000
Prados de siega	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0

Tabla 17 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2002.

Frondosas	0	1975.25	1999.86	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1998.64	2000	2000
Coníferas	1975.25	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Bosque mixto	1999.86	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	1999.99	2000	2000	2000	2000
Suelo	2000	2000	2000	0	2000	2000	1999.8	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Cuerpos de agua	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Roquedo	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Pasto discontinuo	2000	2000	1999.8	2000	2000	0	2000	1766.79	2000	2000	2000	2000	2000
Pasto denso	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	1999.78	1999.73	1997.87	2000	2000
Cervunal	2000	2000	1999.99	2000	2000	2000	1766.79	2000	0	2000	2000	2000	2000
Brezal	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.78	2000	0	1959.25	2000	2000	2000
Matorral	1998.64	2000	2000	2000	2000	2000	1999.73	2000	1959.25	0	2000	2000	2000
Pasto encharcado	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1997.87	2000	2000	2000	0	2000	2000
Prados de siega	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0

Tabla 18 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2009.

Frondosas	0	1999.95	1733.27	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Coníferas	1999.95	0	1962.06	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Bosque mixto	1733.27	1962.06	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.97	1971.33	2000	2000
Suelo	2000	2000	2000	0	2000	2000	1999.93	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Cuerpos de agua	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Roquedo	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Pasto discontinuo	2000	2000	2000	1999.93	2000	2000	0	1999.98	1999.02	2000	2000	2000	2000
Pasto denso	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.98	0	1879.95	2000	2000	2000	2000
Cervunal	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.02	1879.95	0	2000	2000	2000	2000
Brezal	2000	2000	1999.97	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000	2000
Matorral	2000	2000	1971.33	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	2000	2000
Pasto encharcado	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000
Prados de siega	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0

Tabla 19 Análisis de separabilidad para la clasificación del 2014.

Fase 2

El siguiente paso que hemos realizado es la asignación de los píxeles de la imagen a las categorías para las que se ha entrenado el proceso. A partir del entrenamiento para cada categoría se definen ámbitos espectrales en torno al valor medio.

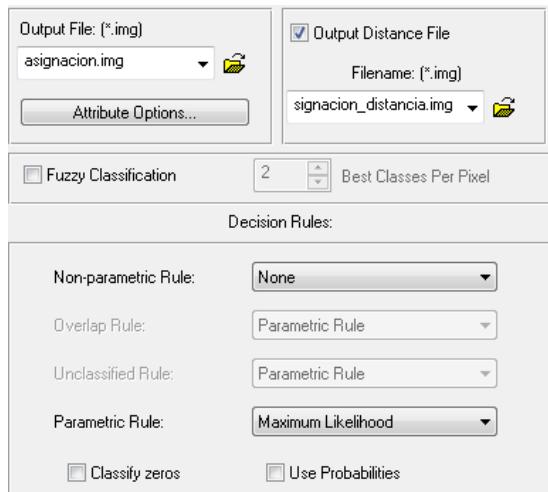


Figura 25 Método de máxima probabilidad.

Este método considera que los valores de reflectividad de los píxeles de la imagen en el seno de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto permite describir esa categoría por una función gaussiana, a partir de su vector de medidas y matriz de varianza-covarianza. Esto ha permitido calcular la probabilidad de que un pixel pertenezca a dicha categoría, conociendo su comportamiento en cada componente que empleamos para clasificar. El cálculo se ha realizado para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando cada pixel a aquella que maximice la función de probabilidad. Este método es el más empleado en teledetección, por su robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos (Chuvieco 2010).

El criterio de máxima probabilidad asume que las categorías presentan una distribución normal, requisito que ha sido comprobado en numerosos estudios. No obstante, aun en el caso de que las bandas de entrada no cumplan ese criterio, algunos autores han mostrado que los resultados siguen siendo bastantes consistentes.

Fase 3

Una vez se han obtenido los resultados de la asignación, resulta obligatorio verificar la calidad de los mismos, de cara a comprobar la validez tanto de la clasificación generada como del método propuesto. La verificación de los resultados se considera como le último paso de la clasificación digital, por lo que también es considerada parte de ella.

La verificación de los resultados ha permitido valorar el grado de acuerdo de la clasificación propuesta con la realidad. Este proceso de verificación ha requerido de información de las zonas más representativas de cada clase que hemos integrado en una matriz con las coordenadas de cada punto, esta información ha sido contrastada con información de campo, conocimiento personal del área de estudio, comunicación personal de agentes locales y de la aportación del conocimiento del Dr. Federico Fillat (CSIC).

Clases	Reference	Classified	Number	Producers	Users
Name	Totals	Totals	Correct	Accuracy	Accuracy
Cervunal	5	6	5	100.00%	83.33%
Brezal	6	6	6	100.00%	100.00%
Pasto encharcado	6	6	6	100.00%	100.00%
Pasto denso	6	6	6	100.00%	100.00%
Prados de siega	4	4	4	100.00%	100.00%
Bosque de frondosas	6	6	6	100.00%	100.00%
Bosque de coníferas	4	6	4	100.00%	66.67%
Bosque mixto	8	6	6	75.00%	100.00%
Suelo desnudo	6	6	6	100.00%	100.00%
Cuerpos de agua	6	6	6	100.00%	100.00%
Roquedo	6	6	6	100.00%	100.00%
Matorral	4	4	4	100.00%	100.00%
Pasto discontinuo	6	6	6	100.00%	100.00%
Total	74	74	71		
Overall Classification Accuracy	95.95%				

Figura 26 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2002.

Clases	Reference	Classified	Number	Producers	Users
Name	Totals	Totals	Correct	Accuracy	Accuracy
Cervunal	3	4	3	100.00%	75.00%
Brezal	3	3	3	100.00%	100.00%
Pasto encharcado	3	2	2	66.67%	100.00%
Pasto denso	3	4	3	100.00%	75.00%
Prados de siega	2	2	2	100.00%	100.00%
Bosque de frondosas	3	3	3	100.00%	100.00%
Bosque de coníferas	2	4	2	100.00%	50.00%
Bosque mixto	4	2	2	50.00%	100.00%
Suelo desnudo	3	3	3	100.00%	100.00%
Cuerpos de agua	3	3	3	100.00%	100.00%
Roquedo	3	3	3	100.00%	100.00%
Matorral	2	2	2	100.00%	100.00%
Pasto discontinuo	3	2	2	66.67%	100.00%
Total	37	37	33		
Overall Classification Accuracy	89.19%				

Figura 27 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2009.

Clases	Reference	Classified	Number	Producers	Users
Name	Totals	Totals	Correct	Accuracy	Accuracy
Cervunal	3	6	2	66.67%	33.33%
Brezal	3	2	2	66.67%	100.00%
Pasto encharcado	3	1	1	33.33%	100.00%
Pasto denso	3	4	3	100.00%	75.00%
Prados de siega	2	2	2	100.00%	100.00%
Bosque de frondosas	3	3	2	66.67%	66.67%
Bosque de coníferas	2	3	1	50.00%	33.33%
Bosque mixto	4	3	2	50.00%	66.67%
Suelo desnudo	3	3	3	100.00%	100.00%
Cuerpos de agua	3	3	3	100.00%	100.00%
Roquedo	3	3	3	100.00%	100.00%
Matorral	2	1	1	50.00%	100.00%
Pasto discontinuo	3	3	2	66.67%	66.67%
Total	37	37	27		
Overall Classification Accuracy	72.97%				

Figura 28 Verificación de la clasificación supervisada para el año 2014.

6 Resultados

Tras los tratamientos realizados a los diferentes productos se han obtenido diferentes resultados, que son necesarios comparar y extraer la información que de ellos se genera.

A modo de resumen decir que se han obtenido fundamentalmente dos propuestas cartográficas para cada año estudiado, una obtenida con el método no supervisado y posteriormente otra con la clasificación supervisada. Estas dos propuestas han sido relacionadas con la información de altitudes y pendientes.

6.1 Cartografía mediante clasificación no supervisada y análisis estadístico

En la Figura 27 podemos apreciar cómo el Pasto discontinuo no ha sufrido cambios apreciables en estos años por lo que consideramos esta homogeneidad como aspecto positivo de la clasificación, sin embargo el cervunal seco y el cervunal húmedo sufren un cambio significativo, se aprecia un descenso en altitud considerable entre la clasificación del 2002 y 2009 para desaparecer en el 2014. El pasto denso aparece entorno a las mismas altitudes en 2002 y 2009 y se observa un descenso en las alturas para el año 2014.

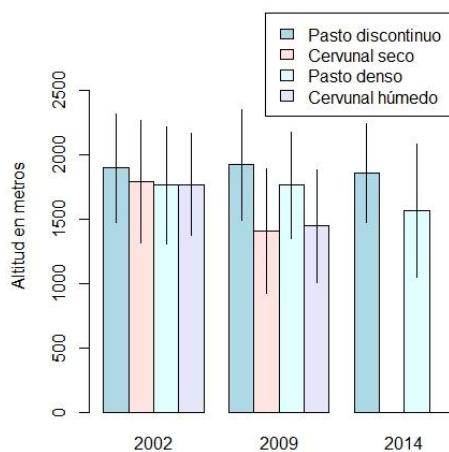


Figura 29 Clases de pastos en relación a las alturas.

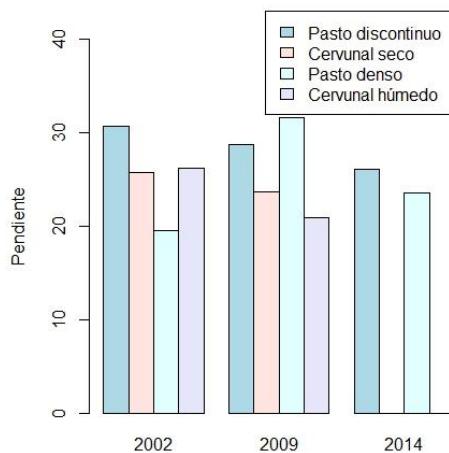


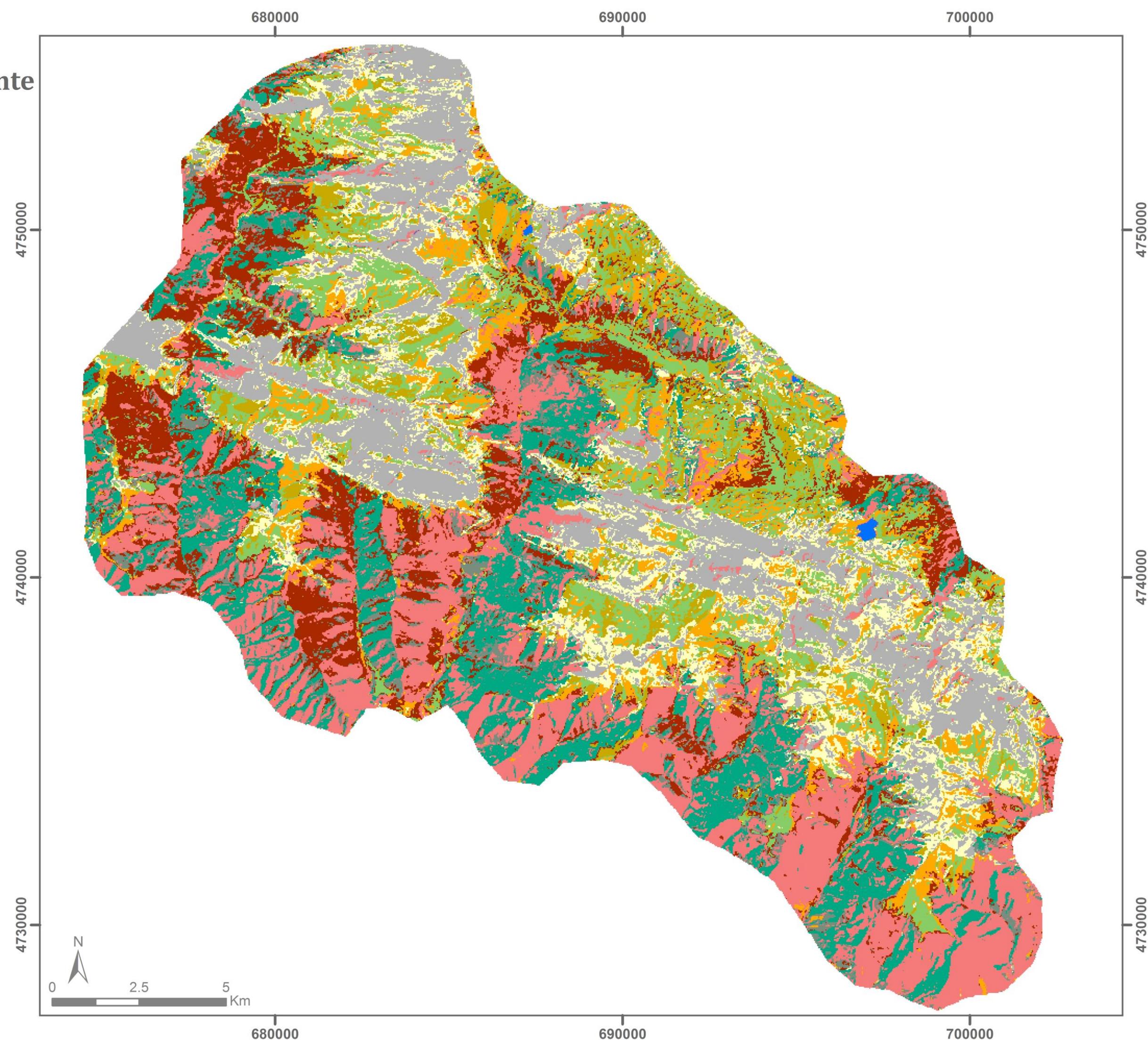
Figura 30 Clases de pastos en relación a las pendientes.

Ocupación del suelo para el año 2002 mediante clasificación no supervisada



Clases de ocupación

- Cervunal basto
- Cervunal fino
- Pasto di continuo
- Pasto denso
- Matorral
- Bosque de Coníferas
- Bosque mixto
- Bosque de Frondosas
- Roquedo
- Cuerpos de agua



Autor: Marco Gastón Romeo

Fuentes: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón IDEARAGON; Centro Nacional de Información Geográfica CNIG;

USGS glovis.usgs.gov;

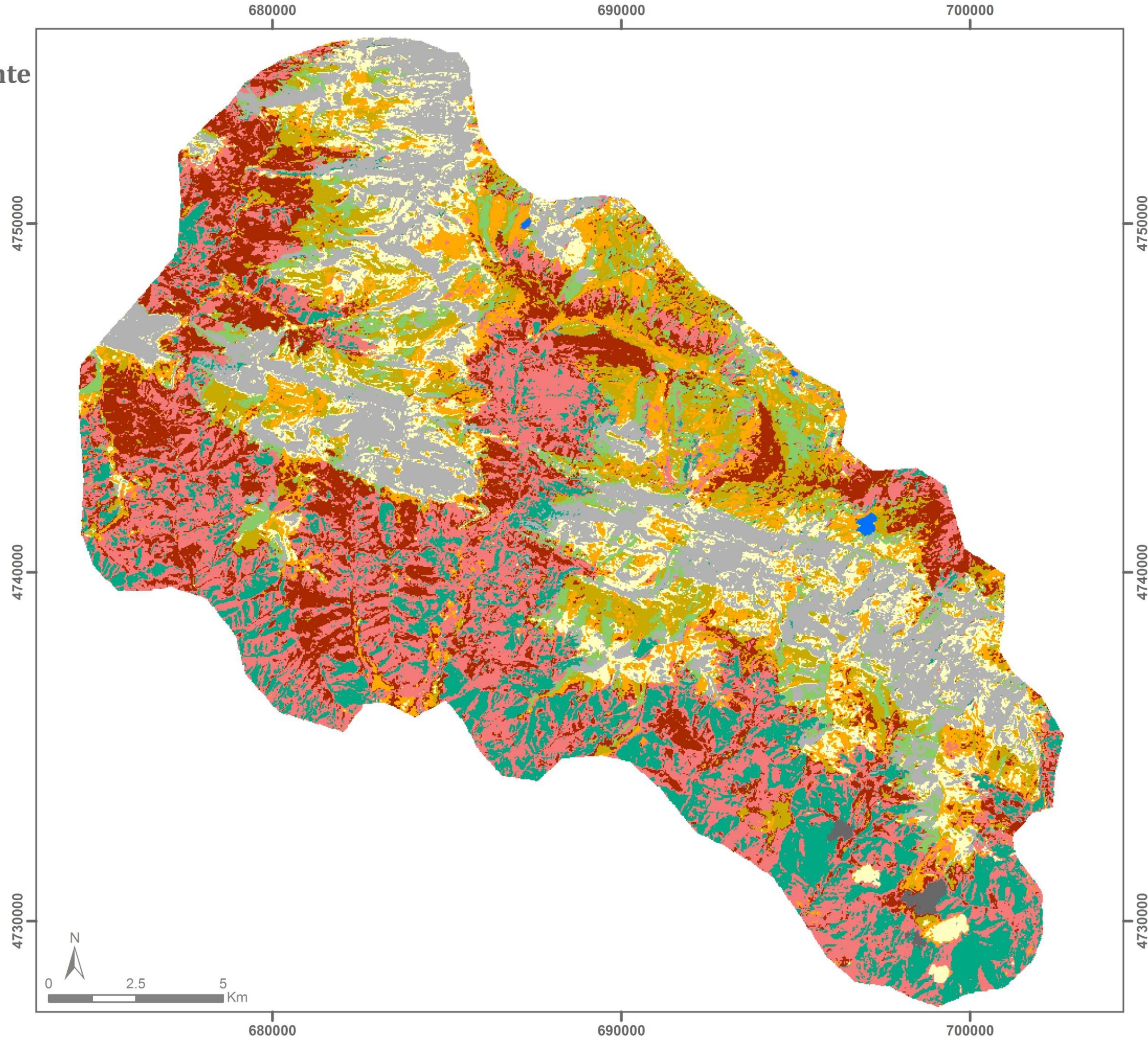
Proyección: WGS 1984 UTM zona 30N

Ocupación del suelo para el año 2009 mediante clasificación no supervisada



Clases de ocupación

- Cervunal basto
- Cervunal fino
- Pasto discontinuo
- Pasto denso
- Matorral
- Bosque de Coníferas
- Bosque mixto
- Bosque de Frondosas
- Roquedo
- Cuerpos de agua
- Sombras



Autor: Marco Gastón Romeo

Fuentes: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón IDEARAGON; Centro Nacional de Información Geográfica CNIG; USGS glovis.usgs.gov;

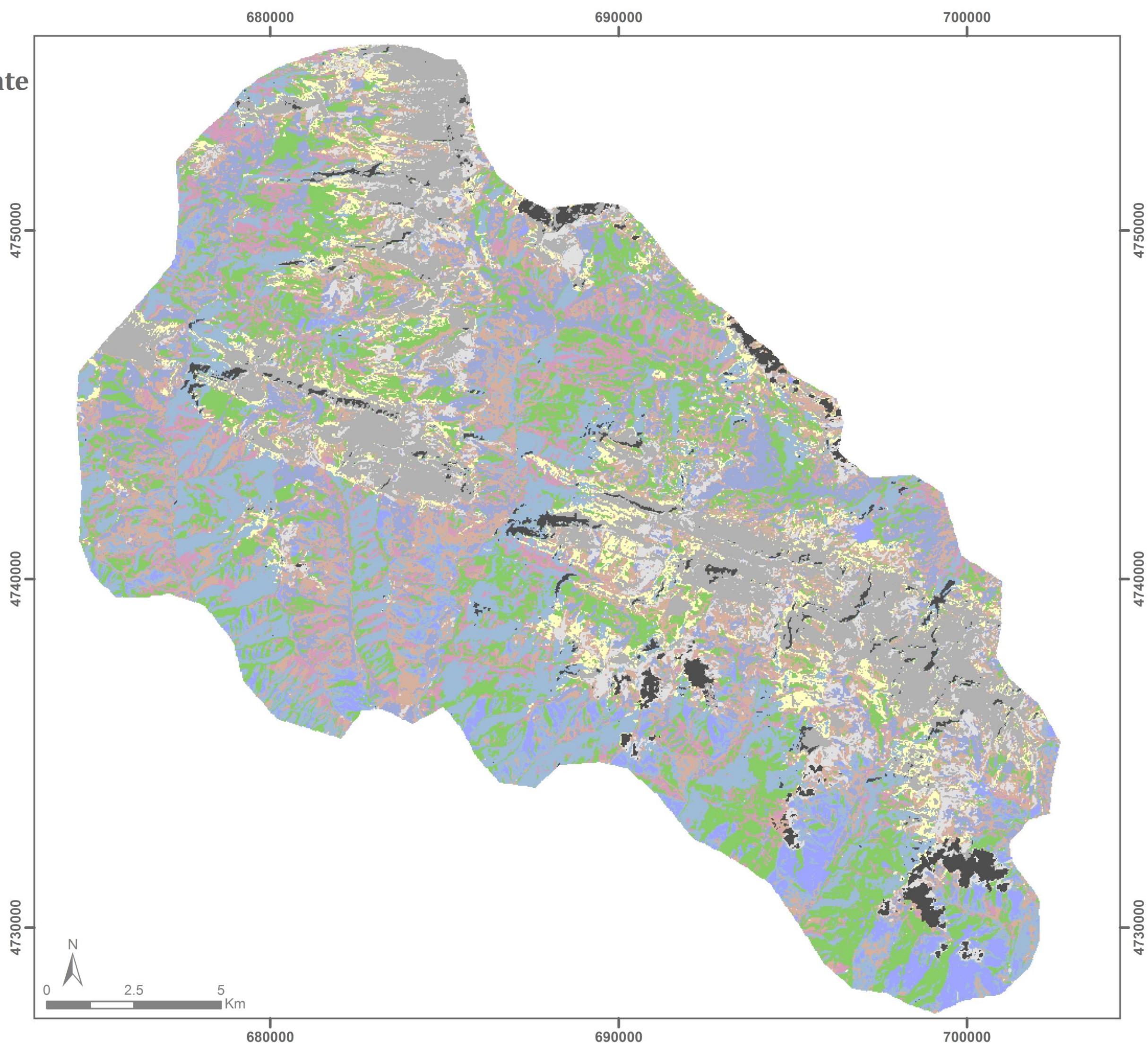
Proyección: WGS 1984 UTM zona 30N

Ocupación del suelo para el año 2014 mediante clasificación no supervisada



Clases de ocupación

- [Green] Pasto denso
- [Yellow] Pasto discontinuo
- [Brown] Matorral
- [Light Blue] Sin clase definida 1
- [Medium Blue] Sin clase definida 2
- [Dark Blue] Sin clase definida 3
- [Purple] Sin clase definida 4
- [Light Blue] Sin clase definida 5
- [Grey] Roquedo
- [Light Grey] Suelo desnudo
- [Black] Sombras



En cuanto a las pendientes, se observan cambios significativos en el pasto denso y el cervunal húmedo del 2002 al 2009, aumentando la pendiente media en el primero y disminuyendo en el segundo. En el 2014 vuelve a disminuir la pendiente en la que encontramos pasto denso y queda sin clasificar la categoría de cervunal, por lo que no podemos hacer una comparación fiable.

6.2 Cartografía mediante clasificación supervisada y análisis estadístico

En el gráfico se recoge la altura media por tipo de pasto y año junto a una barra igual al doble de la desviación estándar (95% de los datos y que da idea de la dispersión).

En este gráfico destaca que el único cambio apreciable está en el pasto encharcado que en el 2014 presenta una mayor concentración en torno a la altitud media esto es, este tipo de pasto según la clasificación obtenida, se encuentra ahora cubriendo un rango menor de altitudes que en las medidas precedentes.

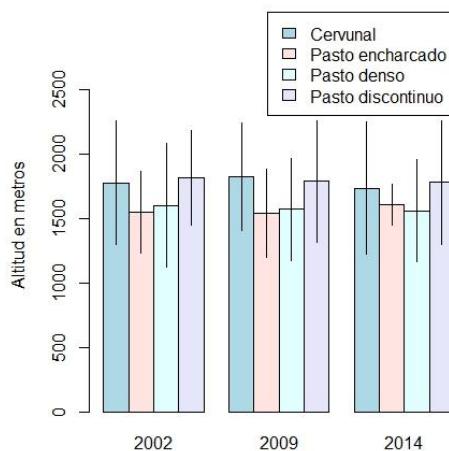


Figura 31 Clases en relación a las alturas.

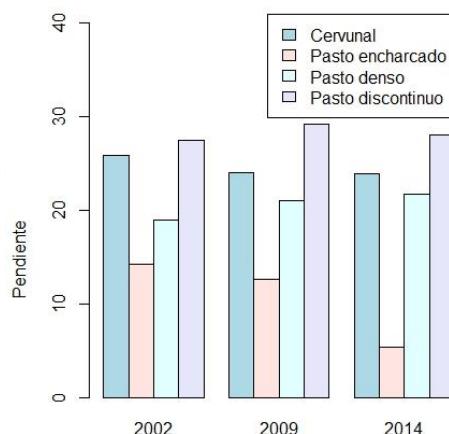


Figura 32 Clases en relación a las pendientes.

Para el caso de las pendientes la inclusión de la desviación no aporta información útil, sin embargo en los gráficos de las medias podemos observar que existe un descenso de pendientes ocupadas por el cervunal de 2002 al 2009 manteniéndose después la misma situación. Igualmente se observa como los pastos encharcados se encuentran cada vez en pendientes menores. Por último el pasto denso y el discontinuo sufren un aumento de presencia en pendientes mayores del 2002 al 2009 manteniéndose esa situación en la actualidad.

Una forma de comparar los resultados obtenidos mediante la clasificación supervisada, es calcular el porcentaje de participación de cada cubierta (Figuras 34, 35 y 36) en cada una de las cartografías resultantes.

Las mayores diferencias porcentuales las encontramos para el año 2014, aunque en este caso, dichas diferencias no son tan acusadas como en las obtenidas para la clasificación no supervisada.

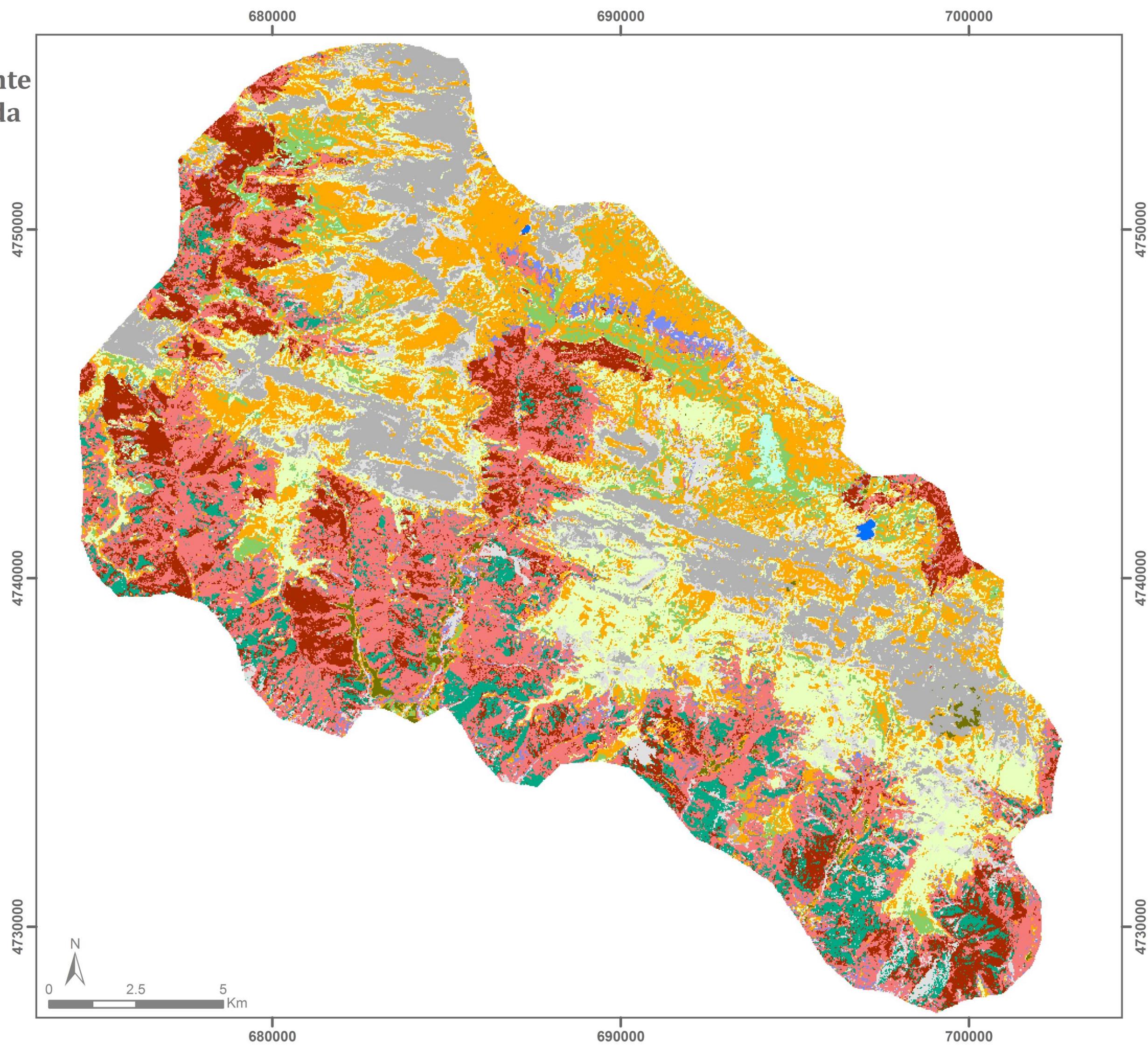
A continuación presentamos las propuestas cartográficas resultado de la clasificación supervisada.

Ocupación del suelo para el año 2002 mediante clasificación supervisada



Clases de ocupación

- Cervunal
- Pasto discontinuo
- Pasto denso
- Pasto encharcado
- Prados de siega
- Brezal
- Matorral
- Bosque de Coníferas
- Bosque de Frondosas
- Bosque mixto
- Suelo desnudo
- Roquedo
- Cuerpos de agua



Autor: Marco Gastón Romeo

Fuentes: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón IDEARAGON; Centro Nacional de Información Geográfica CNIG;
USGS glovis.usgs.gov;

Proyección: WGS 1984 UTM zona 30N



0

2.5

5

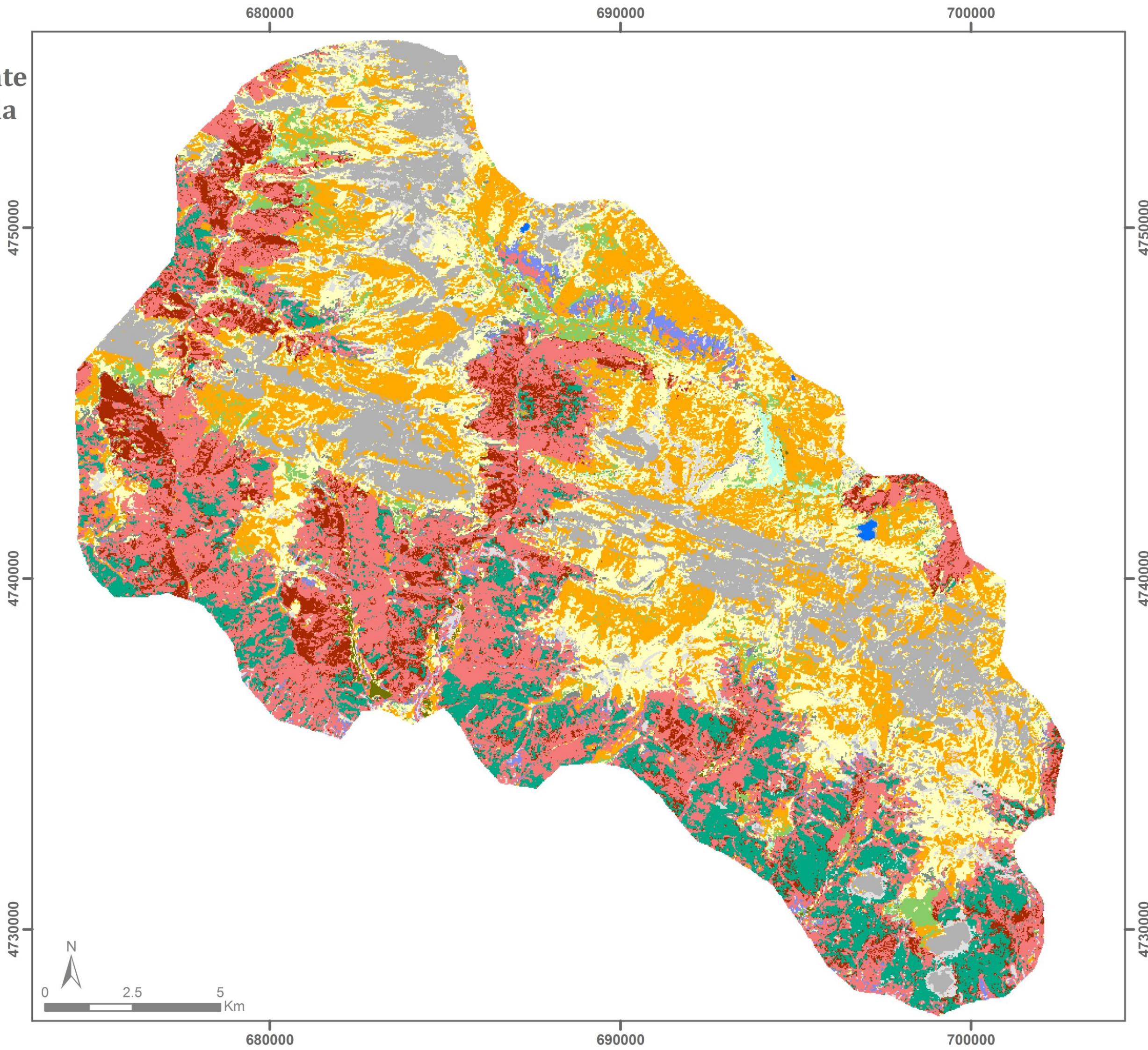
Km

Ocupación del suelo para el año 2009 mediante clasificación supervisada



Clases de ocupación

- Cervunal
- Pasto discontinuo
- Pasto denso
- Pasto encharcado
- Prados de siega
- Brezal
- Matorral
- Bosque de Coníferas
- Bosque de Frondosas
- Bosque mixto
- Suelo desnudo
- Roquedo
- Cuerpos de agua

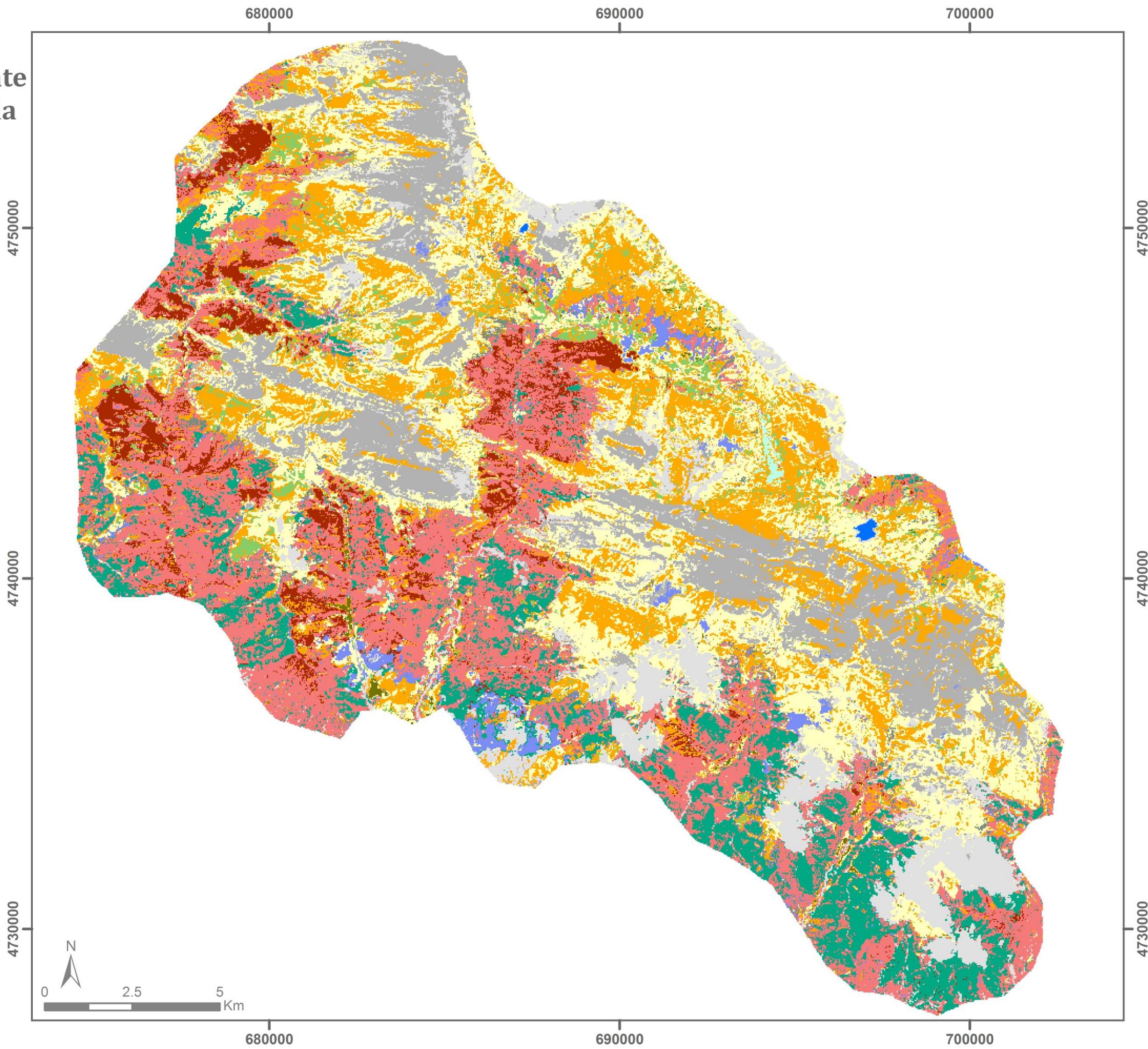


Ocupación del suelo para el año 2014 mediante clasificación supervisada



Clases de ocupación

- Cervunal
- Pasto discontinuo
- Pasto denso
- Pasto encharcado
- Prados de siega
- Brezal
- Matorral
- Bosque de Coníferas
- Bosque de Frondosas
- Bosque mixto
- Suelo desnudo
- Roquedo
- Cuerpos de agua



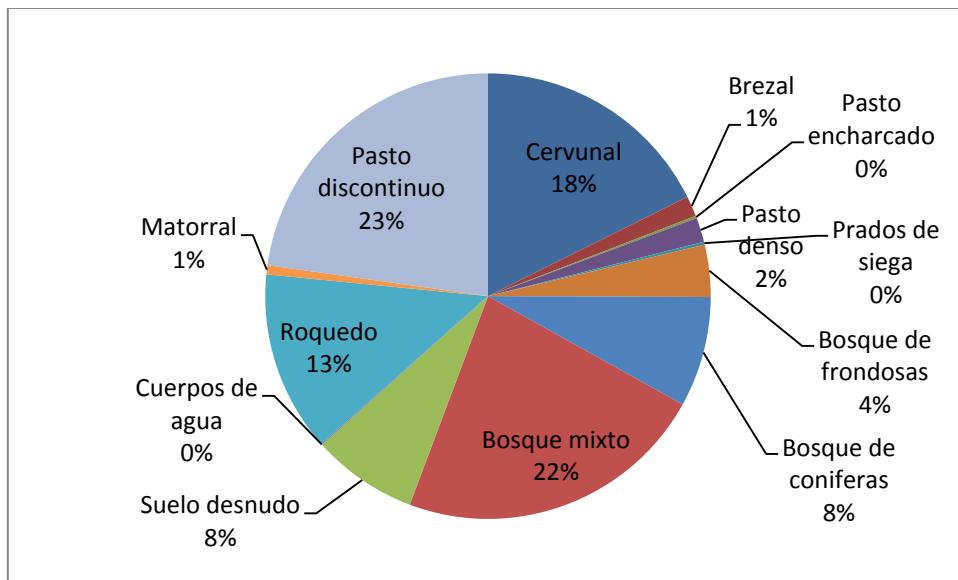


Figura 33 Porcentaje de las clases para el año 2014.

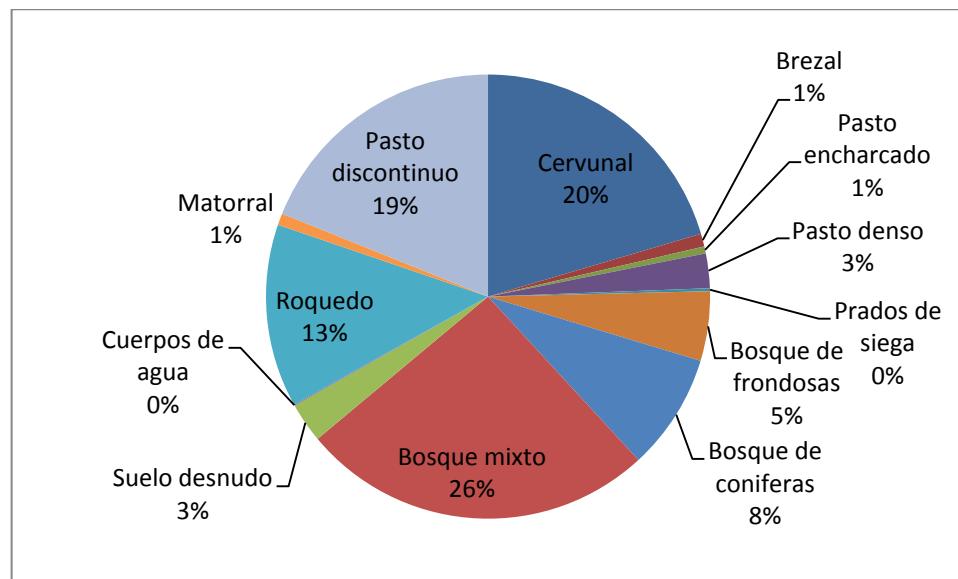


Figura 34 Porcentaje de las clases para el año 2009.

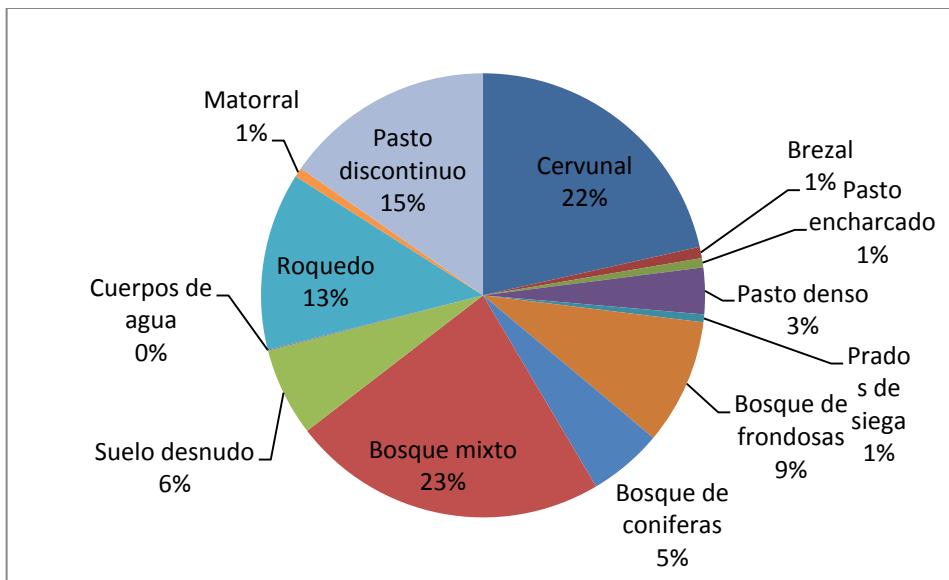


Figura 35 Porcentaje de las clases para el año 2002.

7 Conclusiones

El análisis realizado ha puesto de manifiesto que, como se planteaba en la hipótesis de partida, la utilización de imágenes de satélite Landsat permite abordar con buena calidad temática y suficiente detalle espacial la cartografía y consiguiente caracterización de los pastos de puerto en el área de estudio.

Una importante conclusión extraída hace referencia al enfoque multiestacional planteado, al poner de manifiesto la influencia de la no disponibilidad de imagen de septiembre en el proceso de clasificación para el año 2014. Su falta se traduce en unos resultados significativamente peores y en una mayor dificultad para individualizar las clases de pastos que en los años en los que sí se dispone de imagen para dicho momento del año; su ausencia se traduce en una mayor confusión espectral entre las clases, si bien para la clasificación de otras categorías es suficiente con las imágenes de meses anteriores para identificarlas adecuadamente. De esta forma queda evidenciada la hipótesis inicial, en la que planteamos que la integración de diferentes fechas, cubriendo todo el ciclo fenológico de los pastos, enriquecería los resultados, en relación con la consideración de toda la diversidad de su diverso comportamiento espectral a lo largo del año y a la influencia de la gestión ganadera paralela a este comportamiento.

Por otra parte, en las clasificaciones no supervisadas para los años 2002 y 2009 destaca significativamente el acuerdo en relación con la distribución espacial de las zonas de bosque, por lo que sería interesante aprovechar estos resultados para integrarlos en la caracterización final de la ocupación del suelo de la zona; si bien nuestro objetivo se centraba únicamente en las superficies de pasto de puerto.

Todavía en relación con la clasificación no supervisada y específicamente en cuanto a las clases de pastos, también para los años 2002 y 2009, para los que se dispone de la secuencia temporal completa desde el inicio de la primavera hasta septiembre, es interesante la diferenciación que se ha puesto de manifiesto en el caso del cervunal,

definiéndose dos facies diferentes. Estas dos clases las hemos caracterizado como cervunal basto y cervunal fino, según las comunicaciones personales de Martin Gastón Aznárez, que veía una coincidencia en las manchas obtenidas con la calidad del cerrillar (cervunal); a su vez, Pedro Montserrat menciona en su trabajo de *La Jacetania y la vida vegetal*, de 1971, del cervunal agrio, como respuesta de esta comunidad a la falta de pastoreo intensivo. Estas nuevas condiciones del cervuno hacen disminuir su valor pastable y desciende su interés ganadero; sin embargo este embastecimiento puede ser objeto, si es necesario, de una nueva gestión para su recuperación. Es sabido que, en el caso de este cervuno basto, del que hablan Gastón Aznárez y Montserrat-Recoder, puede reversirse esa situación con diferentes tratamientos, que sería interesante plantear en un futuro si la situación lo requiriera.

Si bien existe concordancia en los resultados de las diversas clasificaciones –supervisadas y no supervisadas– y los diferentes métodos, también se aprecian diferencias significativas. En este sentido, destaca la diversidad de resultados a la hora de clasificar el pasto encharcado que se extiende por la val de Agua Tuerta y algunas zonas del entorno de Zuriza; estos dos puertos constituyen dos de los baluartes dentro del rico patrimonio de los puertos de la zona. Esta clase ha sido clasificada con éxito y optima separabilidad en las clasificaciones supervisadas de los años 2002 y 2009; sin embargo en las clasificaciones no supervisadas para esos mismos años han quedado integradas en la categoría de bosque de frondosas. Esta destacable –pero interesante– confusión, no lo es tanto si consideramos ese gran valor que se le da a estos dos puertos dentro de la comunidad de pastores y gestores de estos territorios. Sería interesante, como futura línea de trabajo, ver si existe una relación directa con la productividad u otros aspectos en concreto de estos dos puertos y si esa relación tiene una consecuencia espectral que asemeje estas cubiertas estructuralmente muy diferentes, pero similares espectralmente.

Debido a las características climáticas de la zona de estudio y de la característica influencia atlántica, amortiguada por las condiciones geográficas del área de trabajo, como clima subcantábrico con tendencia submediterránea, están presentes en la zona frecuentes situaciones de inversión térmica, por lo que encontramos comunidades vegetales atípicas para ciertas altitudes, estas oscilaciones introducen matizaciones en el comportamiento de los pastos. Como consecuencia de la situación geográfica del Parque Natural de los Valles Occidentales, la influencia de las estaciones se inician siempre desde los puertos más occidentales de la zona de estudio, avanzando con días hacia los más orientales. Así, en Esper, que es un puerto de subasta, y en El Cantal, antiguo borregaril y actualmente corrido por Yeguas, las clases estudiadas inician su periodo vegetativo siguiendo una trayectoria noroeste-sureste. Es por estas razones que finalmente hemos considerado utilizar varias fechas dentro de un mismo año y unirlas a la información de iluminación, excluyendo por estas vicisitudes climáticas las elevaciones, buscando los diferentes estados de los pastos, que nos ayuden a identificarlos y diferenciarlos.

Estas características que hemos considerado en la clasificación para definir las diferentes clases de pastos quedan expresadas a su vez en la gestión ganadera (Ver Anexo 2), que se adapta a las condiciones climáticas y a los diferentes estados de los pastos a lo largo del año.

Al comprobar que cada método y cada serie temporal clasifica mejor unas clases que otras, sería interesante, para darle continuidad al trabajo y mejorar los resultados, utilizar esos aspectos positivos de cada producto y unirlos con el objetivo de dejar fuera de la clasificación las carencias y aprovechar solo las virtudes.

Sería de interés hacer una más intensa verificación en campo de los resultados obtenidos, sobre todo en aquellas zonas que conocemos en menor medida.

8 Bibliografía

- Aldezábal, A, R García-González, Daniel Gómez García, y Federico Fillat. *El papel de los herbívoros en la conservación de los pastos*. Jaca: Asociación española de ecología terrestre, 2002.
- Balcells, E. *Relaciones entre la organización social y la explotación del territorio en el Valle de Roncal*. Navarra: Pirineos, 1970.
- Chander, Gyanesh, Brian L Markham, y Dennis L Helder. «Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+,.» *Remote Sensing of Environment*, 2009: 893-903.
- Chavez, Pat S. «Image Based Atmospheric Corrections Revisited and Improved.» *American society for photogrammetric and remote sensing*, 1996: 1025-1036.
- Chuvieco, Emilio. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona: Ariel Ciencia, 2010.
- Creus, J. *El clima del Alto Aragón Occidental*. Jaca: Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos, 1983.
- De la Riva, Juan. *Los montes de la Jacetania. Caracterización física y explotación forestal*. Zaragoza: Consejo de protección de la naturaleza de Aragón., 1997.
- ERDAS. *ERDAS Imagine 2013*. 2013.
- ESRI. *ArcGIS 10.0*. 2012.
- Fernández-Giménez, María E, y Federico Fillat. *Pyrenean pastoralists observations of environmental change: an exploratory study in Los Valles Occidentales of Aragón*. Jaca: CSIC-Instituto Pirenaico de Ecología (IPE), 2012.
- Fillat, Federico. *De la trashumancia a las nuevas formas de ganadería extensiva. Estudio de los valles de Ansó, Hecho y Benasque*. Tesis doctoral E.T.S., Madrid: Ingenieros Agrónomos., 1981.
- . *Gestión semiextensiva de prados y pastos europeos ricos en especies. Caso particular de los Pirineos españoles*. Jaca: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 2003.
- . *Pastos del Pirineo*. Madrid: CSIC, 2008.
- Fundación Etretantos. *Plataforma por la ganadería extensiva y el pastoralismo*. 2014. <http://www.ganaderiaextensiva.org/> (último acceso: 30/11 de Noviembre de 2014).
- García-López, S, C Pinilla, J Delgado, y J Cardenal. «Corrección atmosférica de imágenes multiespectrales de satélite mediante transformación ACP.» *Teledetección, Medio Ambiente y Cambio Global*, 2001: 473-476.

- García-Riuz, J.M, J Puigdefábregas, y J Creus. «Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón.» *Colección de Estudios Altoaragoneses* 2. Instituto de Estudios Altoaragoneses., 1985.
- García-Ruiz, J.M. *La evolución de la agricultura de montaña y sus efectos sobre la dinamica del paisaje*. Zaragoza: Revista de estudios Agro-sociales, 1988.
- García-Ruiz, J.M. *Geoecología de las áreas de montaña*. Zaragoza: Geoforma., 1990.
- Gobierno de Aragón. *Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón*. 2014. <http://sitar.aragon.es/> (último acceso: Noviembre de 2014).
- Gomez Gonzalez, D, Remon Aldade J.L, y Garcia Gonzalez R. *Clave simplificada para la determinación de los prados y pastos pirenaicos*. Jaca: Pirineos, 2002.
- Gómez, C, E Ramos, y R Sancho. «La política socioestructural en zonas de agricultura de montaña en España y en la C.E.E.» Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 1987.
- Instituto Geográfico Nacional. *Centro Nacional de Información Geográfica CNIG*. 2014. <http://www.ign.es> (último acceso: Septiembre de 2014).
- Lasanta, Teodoro. *Cambios en la cubierta vegetal en el Pirineo aragonés en los últimos 50 años*. Zaragoza, 2007.
- . *Evolución reciente de la agricultura de montaña: El Pirineo aragonés*. Zaragoza: Geoforma., 1989.
- Lefebvre, Th. *Les modes de vie dans les Pyénées atlantiques orientales*. Paris: Librairie Armand Colin, 1933.
- Martínez Arroyo, Francisco, y Ana Palacios Agreda. *Guía práctica de la nueva PAC*. Madrid: Editorial Agricola Española S.A., 2014.
- Montserrat Recoder, Pedro. *Clasificación y cartografía de pastos*. Jaca: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, 1960.
- . *Ecología del pasto*. Jaca: CSIC, 1964.
- . *El Pastoreo diversificador*. Jaca: Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, 2001.
- Montserrat Recoder, Pedro. «Estudios florísticos en el Pirineo occidental.» *Pirineos*, 1973: 49-64.
- . *La cultura que hace el paisaje*. Estella: La Fertilidad de la Tierra ediciones., 2009.
- . *La Jacetania y la vida vegetal*. Jaca: Ibercaja, 1971.
- Montserrat Recoder, Pedro. «Los pastos Pirenaicos y su importancia económica.» *Pirineos*, 1968.
- NASA . *Landsat Science*. Diciembre de 2014. <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>.
- P.O.R.N VALLES OCC, Diputación de Aragón, CSIC Instituto Pirenaico de Ecología. «BASES ECOLÓGICAS PARA UN PLAN DE ORDENACION DE LOS RECURSOS NATURALES MANCOMUNIDAD DE LOS VALLES, FAGO, AISA Y BORAU.» PORN, Ansó, 1995.
- Puigdefábregas, J. «Avance para un estudio climatológico del Alto Aragón.» *Pirineos* 79-80 (Pirineos 79-80: 115-139.), 1966: 115-139.
- R, Team Development Core. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Viena, 2012.

Serrano, Sergio Martín Vicente. *El papel reciente de la ganadería extensiva de montaña en la dinámica del paisaje y en el desarrollo sostenible: El ejemplo del valle de Borau.* Zaragoza: Consejo de protección de la naturaleza de Aragón., 2001.

T. Lasanta, J.M. Cuadrat, S.M. Vicente-Serrano. *Influencia de la ganadería en la evolución del riesgo de incendios en función de la vegetación en un área de montaña: El ejemplo del Valle de Borau (Pirineo Aragonés).* Zaragoza: Geographicalia, 2000.

Vanhellemont, Quinten, y Kevin Ruddick. «Turbid wakes associated with offshore wind turbines observed with.» *Remote Sensing of Environment*, 2014: 105-115.

9 Anexos

9.1 Anexo 1. Seguimiento de un ganado en relación a los pastos

Comunicación personal del ganadero Samuel Gastón Romeo

Este año empezamos a sacar las ovejas a los campos (prados de siega) el 4 de abril, les damos pienso, de esta forma van acostumbrándose poco a poco al pasto de diente, y se les desciende el volumen pienso gradualmente, hasta quitárselo todo.

El 22 subimos un rebaño de 194 a Segarra (ver figura) y el 23 otro a Ezcaurri de 237, son reses machorras ya amanecidas (cubridas por los machos) y podrían ir en el mismo rebaño porque es muy poco ganau y aunque todavía hay poco brotado, en el monte les sería suficiente. Ellas están más a placer.

El 1 de Junio se vedan los puertos de la mancomunidad y entonces, aunque Ezcaurri es nuestro, las pasamos todas a Segarra. Este año el oso pego el 6, se comió 2 y decidimos bajarlas unos días (5) a los campos (prados de siega) para intentar despistarla (campos que guardábamos para otro menester). Normalmente sino pega el oso las tenemos ininterrumpidamente en Segarra, hasta el 1, el 2 o el 3 de Julio, cuando ya podemos entrar en la Ezpelunga. Y subimos todo el rebaño nuestro, y las de otros dos ganaderos, Sergio Romeo de casa Casildo y las de Alfredo Barba de casa Notario, este año iban en torno a las 1300 cabezas de ovino, junto a 25 de caprino. A finales de la temporada en puerto, este año las pasamos a Ezcaurri el 9 de septiembre porque nos pegó el oso el día 7. Y luego las volvimos a pasar a las Ezpelunga por problemas con un vecino de Garde que corrió nuestro puerto.

La estancia en la Ezpelunga fue hasta el 10 de octubre y luego las pasamos a Segarra hasta el 11 de noviembre. Y en el monte bajo hasta el 29 de noviembre pero sólo 350 ovejas (sin corderas ni preñadas que se quedan en torno a la explotación, se les suministra algo de pienso y aprovechan el pasto a diente de los prados de siega).

Desde el 11 de noviembre hasta el 29 han permanecido en el Vedao (pastos leñosos, arbolados y antiguos campos abandonados junto a las bordas), este año la cantidad de glan (bellotas) ha sido muy abundante, factor de gran interés pues es un gran aporte para el ganado, no todos los años es igual debido a la vejería del roble. Estas fechas últimas varían cada temporada en función de la climatología, y pueden variar pero en estos últimos años se ha asemejan las condiciones climáticas y por lo tanto la estancia en cada zona. Uno de los factores principales que varían la estancia en Segarra son las heladas tempranas que hacen descender la calidad del pasto, caso que no ha sido el año actual, pero si es habitual en otros años que la estancia en los bajantes sea más corta.

Actualmente aun sacamos el rebaño de machorras por el monte bajo (antiguas árticas abancaladas y campos abandonados) más cercano al pueblo, si el día lo permite.

9.2 Anexo 2. Entrevista a un ganadero.

Martín Gastón Aznárez es ganadero jubilado en la localidad oscense de Ansó. Su explotación de ganado ovino ha sido gestionada junto a sus dos hermanos. El origen de la explotación fueron 20 cabezas propiedad de la familia materna. La ganadería llegó a tener 2000 cabezas en los años 80 y hasta el año 2003. En la actualidad los tres hermanos se encuentran jubilados aunque Martín sigue ligado a la explotación que actualmente gestiona su hijo Samuel Gastón Romeo.

1. ¿Cómo comienza su actividad y su explotación ganadera? (Número de cabezas, cabaña y evolución)

Toda mi vida laboral ha estado ligada, de alguna forma, a la ganadería. En los inicios teníamos poco ganado, de hecho en casa había unas 20 ovejas, procedentes de la familia de mi madre y dadas a mi hermano mayor.

Una vez los dos hermanos mayores inician la actividad ganadera se adquiere una pequeña partida de 60 reses (Chibarro, Fago). Durante varios años la cabaña ganadera no produjo prácticamente ningún beneficio pues todas las hembras nacidas se dejaban para vida. La subsistencia se conseguía con actividades complementarias, agrícolas de autoabastecimiento, cría de animales de corral como cerdos, gallinas, conejos etc. Y jornales por cuenta ajena (forestales, construcción, madera...). Cuando se tenían ya unas 900 cabezas se adquirieron unas 260 más (Mendiareta, Ansó) por lo que siempre hemos tenido ganado de raza ansotana. En los últimos años se han adquirido 50 reses (Talecón, Ansó)

2. ¿Cómo ha evolucionado su actividad y su explotación?

Durante muchos años se trató de una ganadería exclusivamente trashumante. No se disponía de corrales ni de instalaciones ganaderas. Prácticamente todas las actividades se realizaban al aire libre; incluso tareas como el esbarreⁱ o las curas, hoy en día impensables sin logística de apoyo, se realizaban al aire libre y sin vallados. Obviamente el papel de los perros era mucho más crucial de lo que es hoy.

La dureza de la vida trashumante, la práctica imposibilidad de conciliación familiar, junto a la disminución de los beneficios obtenidos en el pastoreo en tierras bajas, malos años meteorológicos etc. gestaron la idea de sustituir ese tipo de actividad por una ganadería semiestabulada como la que se tiene en la actualidad.

Comenzamos construyendo una paridera, hace 36 años y combinando parte del ganado en régimen trashumante y en régimen semiestabulado; las machorras y preñadas que iban a parir en febrero se quedaban estabuladas en Ansó mientras que el resto bajaba a la ribera, paridas y animales para vida.

Junto a la paridera adquirimos maquinaria agrícola para autoabastecernos de forraje y heno. Esta actividad se mantuvo hasta la llegada de maquinarias más grandes, en los primeros años de este siglo que hace que la compra de los forrajes para invierno no sea desfavorable económicamente frente a la producción propia.

3. ¿Qué productos ha generado y genera su explotación?

Actualmente se produce cordero, en ocasiones dependiendo del mercado se vende lechal. Los animales que se venden presentan un peso aproximado de 23-28 Kg y tienen una edad de entre 60-80 días. Si bien no siempre ha sido este el producto generado, hace alrededor de 25-30 años se reconvirtió el mercado a las exigencias actuales. Hasta entonces los corderos salían al exterior a los 15 días de vida y se criaban principalmente con el pasto exterior. En nuestro caso proporcionábamos un pequeño cebo preventivo, para que se acostumbraran a comer grano por si la meteorología era tan adversa que no pudieran comer pasto y peligrara la supervivencia del cordero. Se solían vender en agosto-septiembre con unos 9 meses de vida. En esa época todos los ganados parían en diciembre pues se cubrían en julio con la mejor época de pastos.

Es a partir del cambio de mercado cuando la explotación también cambia la gestión. Se intenta incrementar la frecuencia de partos por cabeza y se distribuyen las pariciones a lo largo del año. En esos años comenzamos a realizar prácticas de control de celo en el ganado que hasta entonces eran desconocidas en la zona.

4. ¿Qué gastos conlleva su explotación?

Mantenimiento: El principal gasto es el de la alimentación del ganado, aquí se incluyen tanto los piensos y forrajes para el ganado estabulado como los pastos tanto de tipo comunal como particulares. El apartado de sanidad requiere una partida importante dentro del apartado de gastos de la explotación. Dentro de estas actividades hay que destacar las acciones realizadas bajo nuestro criterio, como desparasitaciones, desinfectantes, uso de antibióticos para brotes puntuales, tratamientos de enfermedades podales y campañas de vacunación para enfermedades como la agalaxia, brasquilla, carbunclo etc. Junto a estas acciones hay que añadir las impuestas por la administración y la política agraria que a mi entender y bajo mi experiencia no solo no han sido beneficiosas sino que en muchos casos perjudiciales, con datos contrastados, para la salud de la cabaña. Por poner un ejemplo, las vacunas para la glosopeda y fiebre aftosa produjeron altos niveles de mortandad (80% en crías sin destetar) y abortos. Como referencia más moderna la indecente campaña de la lengua azul.

Infraestructuras: El mantenimiento de las infraestructuras conlleva un gasto importante en la explotación. En este apartado también hay que destacar las acciones bajo nuestro criterio y las impuestas administrativamente. De las primeras podemos destacar la modernización de los vallados, el saneamiento y aislamiento de los establos etc. Dentro de las impuestas por la administración cabe nombrar la construcción de estercoleras, fosas para la eliminación de animales muertos, que a posteriori fueron prohibidas. La prohibición del aprovechamiento de los recursos naturales para la eliminación de los animales muertos es otro gasto impuesto y a todas luces infructuoso y perjudicial para el medio ambiente.

En trabajo también hemos sufrido imposiciones que al fin tampoco han supuesto ninguna ayuda ni mejora. Como claro ejemplo está la campaña de identificación animal que o no ha

supuesto ningún tipo de ayuda al ganadero cuando potencialmente sí que la había. Se puede resumir en la obligación de injertar los bolos en los animales, nada más.

5. ¿Ha percibido algún cambio en la calidad de los pastos o en el avance del matorral y el arbolado?

La calidad de los pastos en general es la misma, pero sí que cabe destacar un cambio radical en cuanto a su extensión y ubicación. La disminución de la superficie pastable en los puertos altos es evidente, observándose un avance muy grande del arbolado y el matorral. En el monte bajo el cambio del paisaje es también muy clara, habiendo desaparecido gran cantidad de claros entre los bosques del monte bajo. En mi opinión estos cambios se deben a la disminución de la carga ganadera, por un lado, y por otro a la disminución de actividades humanas en el entorno. Ha desaparecido, por ejemplo, la agricultura a baja escala, más orientada a la autosuficiencia, que conllevaba muchas tareas de desbroce y conservación del monte. Yo diría que, al menos en la zona que yo conozco, la naturaleza ha ido perdiendo a uno de sus integrantes, el hombre, y que eso ha desembocado en una clara pérdida de riqueza natural.

a. ¿Cree necesaria alguna acción para frenar el retroceso de los pastos?

Acciones de desbroce y contención del avance del matorral y arbolado en los pastos aparecen, en mi opinión, como claves para la conservación real del entorno natural y toda su riqueza. Estas acciones deberían tener un carácter continuista y no puntual para que el impacto fuera real y positivo. En este sentido, yo creía que iniciativas como la planta de Biomasa de Ansó estarían alineadas con este cometido, y que tendrían un impacto muy interesante desde el punto de vista del paisaje, la conservación y la biodiversidad además del interés económico. Sin embargo parece que todos estos aspectos se han obviado y sólo se abastece de madera talable y no de tareas de desbroce y conservación lo que tendría un doble (o triple) impacto.

6. ¿Ha desarrollado alguna otra actividad económica además de la ganadera?

Siempre hemos tenido ovejas y cabras, en los inicios la subsistencia del ganado no conllevaba apenas gastos, se alimentaban principalmente a base de pastos comunales y recolección de forrajes salvajes como el visco. También hay que decir que producían mucho menos proporcionalmente que en la actualidad o con un mantenimiento más rico en proteínas. La actividad ganadera se complementó con actividades agrícolas durante muchos años, con el fin de abastecer de alimento para el invierno.

7. ¿Considera que la creación del PN de los Valles occidentales ha mejorado o ha perjudicado su actividad económica?

La verdad es que la figura del Parque Natural no ha tenido un impacto directo en la actividad ganadera, lo cual no deja de ser, cuando menos, curioso. Y me explico, estamos hablando de una figura de conservación aplicada a un espacio natural en el que ciertas actividades humanas, como el pastoreo, han jugado un papel clave para llegar a determinar ese interés conservacionista. Sin embargo, esta figura no contiene acciones relacionadas con esas actividades el apoyo a estas o su aportación a la naturaleza. Por lo que, de entrada parece que lo que se va a fomentar es el efecto contrario, la no protección

del medio existente. Probablemente lo que se fomente sea el cambio del entorno más que su conservación. Hay ejemplos claros de ese efecto perverso en las figuras de conservación y no necesariamente relacionadas con la ganadería. El hayedo de Gamueta, sin ir más lejos, está recibiendo una aportación desmesurada de visitantes algo que en sí mismo es una perturbación tremenda de lo que es el propio bosque y que imposibilita su conservación.

La ganadería extensiva que practicamos, es la única actividad económica, en la que su sostenibilidad económica tiene una respuesta positiva ecológicamente, por lo tanto, dicha sostenibilidad no solo es compatible con los intereses conservacionistas, si no, fundamental para lograrlos.

8. ¿Cree que el aumento del turismo en la zona aporta algún beneficio a la ganadería o, por el contrario, que le perjudica?

El aumento del turismo puede tener un impacto favorable en cuanto a la posibilidad de desarrollar diferentes actividades económicas o incluso de poder distribuir algunos productos locales en la zona. Pero el impacto real que tiene es, en muchos casos, el abandono de las actividades ganaderas por las actividades ligadas al turismo lo que evidentemente es un impacto negativo. En cuanto a la actividad ganadera en sí, el incremento del turismo se traduce en aumento de personas en el monte que sí que puede causar dificultades puntuales pero no críticas.

9. ¿Qué opinión le merecen las ayudas de la PAC?

Hoy por hoy la viabilidad de la explotación no es posible sin las ayudas recibidas. Esto conlleva, entre otras cosas, que la gestión de la misma esté supeditada a los criterios externos perdiendo importancia la experiencia del ganadero y su opinión frente a las tareas burocráticas y requisitos legales.

10. ¿Compensa cumplir los requisitos para acceder a las diferentes ayudas?

Evidentemente es necesario cumplir los requisitos, si bien en algunos casos, como en algunas ayudas agroambientales los requisitos son tan exigentes que no merecen la pena cumplirlos. A mi entender esto es una contradicción en el concepto mismo de la ayuda.

11. ¿Qué cambiaría usted de las actuales ayudas que se contemplan en la PAC?

En primer lugar yo crearía una ayuda a la producción, esto es, que el buen pastor, el buen gestor ganadero es el que saliera más beneficiado. Creo que es el camino para equilibrar la faceta económica y la medioambiental de este tipo de actividades. Además reduciría el carácter general de las ayudas, para que estas sean realmente eficientes deberían estar adaptadas a las peculiaridades de cada zona y de los diferentes tipos de actividad.

ⁱ **Esbarrar** es la acción de separar dos ganados que están juntos, o parte de un ganado por algún motivo, por ejemplo separar las ovejas preñadas de las vacías (a esto último también se le conoce como **abraguerar**).