

Análisis multi-temporal de imágenes Landsat para la determinación de tipos de pastos de puerto en el Parque Natural de Los Valles Occidentales

M. Gastón Romeo¹, J. de la Riva Fernández¹

¹ Grupo GEOFOREST-IUCA. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza. C/ Pedro Cerbuna 12, 50009 Zaragoza (Zaragoza).

552824@unizar.es, delariva@unizar.es

RESUMEN: La ganadería extensiva pirenaica se sustenta en espacios que, en muchos casos y precisamente gracias a aquella, están dotados de un gran valor ambiental, albergando una alta biodiversidad. Este aprovechamiento –en gran medida, ahora marginal– es la base de una cultura y de una forma de explotación sostenible de los recursos, cuya pervivencia va ligada a la de los propios paisajes sobre los que se realiza, también en términos ecológicos; por todo ello, han sido objeto de declaración de diversas figuras de protección.

El objetivo de este trabajo es la caracterización y cartografía, mediante imágenes Landsat e información auxiliar, de los pastos de puerto en el territorio del Parque Natural de Los Valles Occidentales y su Zona Periférica de Protección, en el extremo NO de la Provincia de Huesca. Dada la intensa variación fenológica de estos pastos de verano, la hipótesis de partida es la idoneidad del enfoque multitemporal para la correcta identificación de tipologías de interés ganadero.

Tras el proceso de corrección radiométrica de las imágenes, el análisis realizado integra las dimensiones multi-anual (tres años) y multi-estacional (primavera a otoño). La clasificación no supervisada sirve al propósito exploratorio de las categorías espectralmente discriminables y la construcción de la leyenda, operándose posteriormente mediante clasificación supervisada a partir de transformaciones multifactoriales (ACP) de las imágenes y otras variables auxiliares, singularmente la iluminación. El resultado final cartográfico incluye la diferenciación de 7 categorías de interés ganadero, arrojando un grado de acierto global $\geq 90\%$.

Palabras-clave: pastos de verano, Landsat, Pirineo, multi-estacional, multi-anual.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la actividad ganadera extensiva pirenaica es de importancia capital la cartografía de las diversas comunidades de pastos, tanto desde la perspectiva de la gestión pastoral sostenible –su pervivencia y mejora– como de la conservación de los valores ambientales, en gran medida resultado de la secular explotación de los pastos y de la transformación para tal fin de ambientes originariamente arbolados.

En línea con tal propósito, este trabajo se orienta a la generación de cartografía de la ocupación del suelo, atendiendo especialmente a su capacidad pastoral. El método utilizado se apoya diferentes técnicas de clasificación digital de imágenes de satélite; además, la teledetección brinda la posibilidad de ir más allá de lo meramente estructural, colaborando a la descripción de aspectos funcionales de los sistemas ecológicos (Cabello y Paruelo, 2008). Para alcanzar estos objetivos partiremos de la información espectral de las imágenes de satélite Landsat (sensores TM, ETM+ y OLI), así como de información cartográfica ya existente y, por supuesto, del conocimiento personal y el trabajo de campo.

El análisis abordado pretende ser la base para futuros trabajos, no sólo mediante la mejora de la clasificación digital, sino con el aporte de herramientas a la gestión ganadera de la zona y la profundización en la influencia de la actividad ganadera en la biodiversidad, que contribuya a 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, en compleja interacción con los restantes factores mencionados, es por esto que son los protagonistas del presente estudio.

El área de estudio –Parque Natural de Los Valles Occidentales– 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 ocupa 27.073 ha, a las que se añaden 7.335 ha de Zona Periférica de Protección, también incluida dentro del estudio (Figura 2). El clima del área de estudio presenta una clara influencia atlántica, amortiguada por las condiciones orográficas, en un contexto de caracteres subcantábricos con tendencia submediterránea (Montserrat-Recoder, 1971). Son frecuentes las situaciones de inversión térmica, por lo que no es infrecuente encontrar comunidades vegetales atípicas para ciertas altitudes (Creus, 1983); estas oscilaciones introducen matices en el comportamiento de los pastos. La influencia de las estaciones se manifiesta siempre desde los puertos más occidentales de la zona de estudio, avanzando hacia los más orientales (de la Riva 1997), y los tipos de pasto estudiados inician su periodo vegetativo siguiendo una trayectoria noroeste-sureste.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso metodológico seguido en este trabajo es el expresado en la Figura 1. En buena parte, especialmente en cuanto a lo recogido en esta publicación, se fundamenta en el tratamiento digital de información de teledetección. Las imágenes Landsat, tras el análisis de disponibilidad y la selección de las utilizadas, fueron sometidas a corrección radiométrica. Una primera aproximación mediante algoritmos de clasificación no supervisada sirvió para explorar la separabilidad de los tipos de pasto, en diferentes momentos del año, colaborando así a la definición de la leyenda, y para mejorar la definición de las parcelas de entrenamiento de la posterior clasificación supervisada.

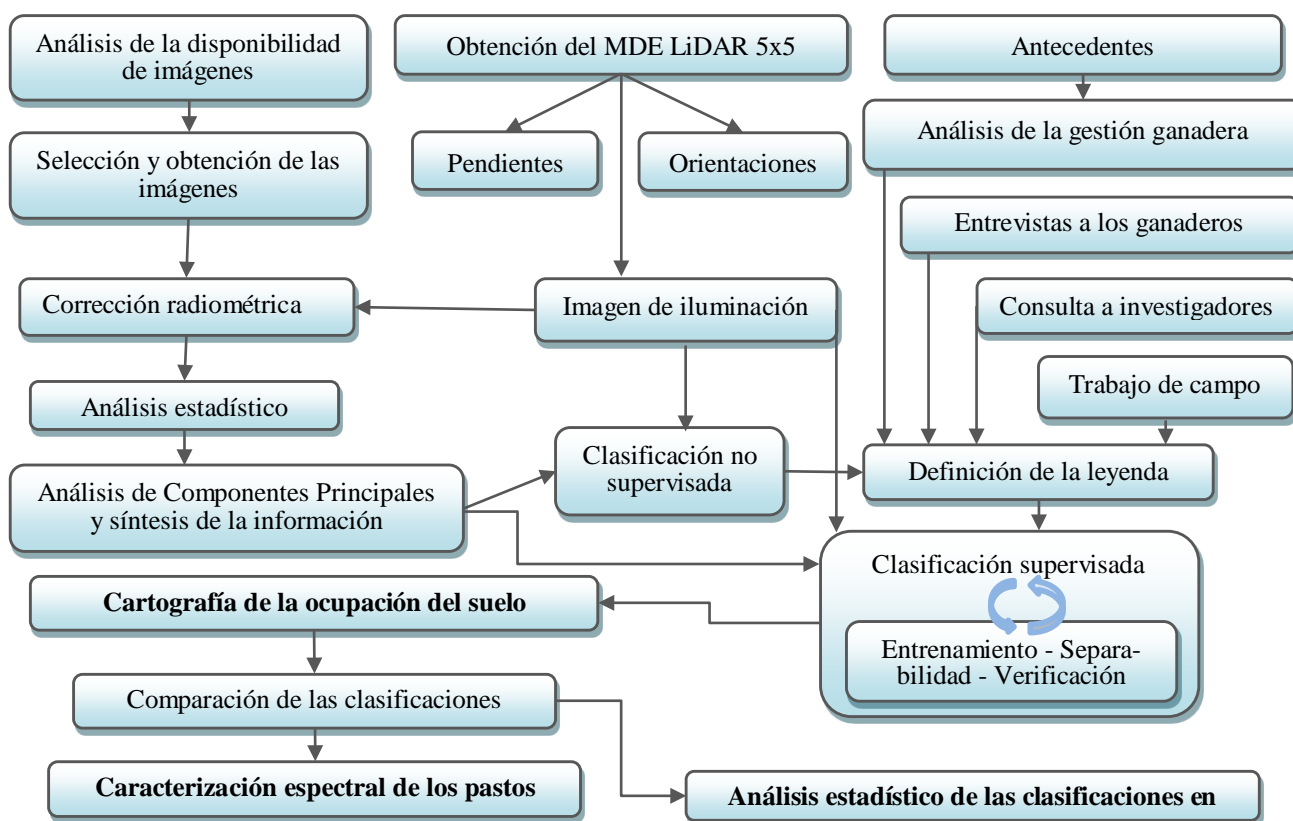


Figura 1. Síntesis del proceso metodológico.

El software utilizado para procesar los datos de teledetección ha sido ERDAS Imagine 2013 (ERDAS, 2013), mientras que el análisis espacial de los resultados se han gestionado con ArcGIS 10 (ESRI, 2012); por último, el análisis estadístico se ha abordado en entorno R (GBIF, 2015).

2.1. Información utilizada

Las imágenes Landsat con las que trabajar debían permitir una cobertura multitemporal que recogiera tanto la dimensión intra-anual –entre los meses de junio y septiembre– de los cambios en la fenología de los pastos, como interanual, que evidenciara la diversidad impuesta por años de características climáticas diversas en la franja temporal de los últimos 15 años; además, debían tener una buena calidad radiométrica y estar

exentas de nubes en la zona de estudio. Por todo ello, no fue suficiente con la información asociada a los metadatos de las imágenes del servidor del USGS (LP DAAC EOS, https://lpdaac.usgs.gov/data_access), debiendo procederse a un inventario exhaustivo y al análisis de sus características. Se procedió así a seleccionar, entre las 22 imágenes disponibles, las 9 con las que se realizó este estudio (Tabla 1).

El modelo digital de elevaciones utilizado ha sido el derivado del vuelo LiDAR-PNOA (IGN, 2014), con resolución de 5 m y sistema geodésico de referencia ETRS89, que fue reproyectado a WGS84 y proyección UTM (Huso 30N). De este MDE se derivaron las informaciones de pendientes y orientación. De la Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IDEAragón, 2015) se ha obtenido diversa información vectorial necesaria, como la cobertura del Parque Natural y los límites administrativos.

Tabla 1. Disponibilidad de imágenes Landsat (Path:199 /Row:30); en cursiva negra, las utilizadas.

	Junio			Julio			Agosto			Septiembre		
	Día	% nubes	Sensor	Día	% nubes	Sensor	Día	% nubes	Sensor	Día	% nubes	Sensor
2002	11	36%	ETM+				14	0%	ETM+	15	0%	ETM+
	27	3%	ETM+									
2003				08	0%	TM	25	0%	TM			
2007				19	20%	TM	04	0%	TM	05	0%	TM
2009	22	4%	TM	08	44%	TM				10	21%	TM
2010				27	12%	TM						
2011				30	17%	TM	23	58%	ETM+	08	45%	ETM+
2013	25	56%	ETM+				20	3%	OLI	05	0%	OLI
2014	20	2%	OLI	22	13%	OLI	23	41%	OLI			

2.2. Pretratamientos aplicados a las imágenes de satélite

En primer lugar se procedió a la corrección radiométrica de las imágenes, mediante la conversión de los datos originales a valores de reflectividad; este pretratamiento era imprescindible en nuestro estudio por cuanto se debían analizar conjuntamente imágenes de fechas distintas. Para ello se calculó la radiancia espectral, la reflectividad en el techo de la atmosfera, se corrigió la distorsión introducida por la dispersión atmosférica (*Dark Object Substraction*; Chavez, 1988) y se normalizaron topográficamente las imágenes con el MDE.

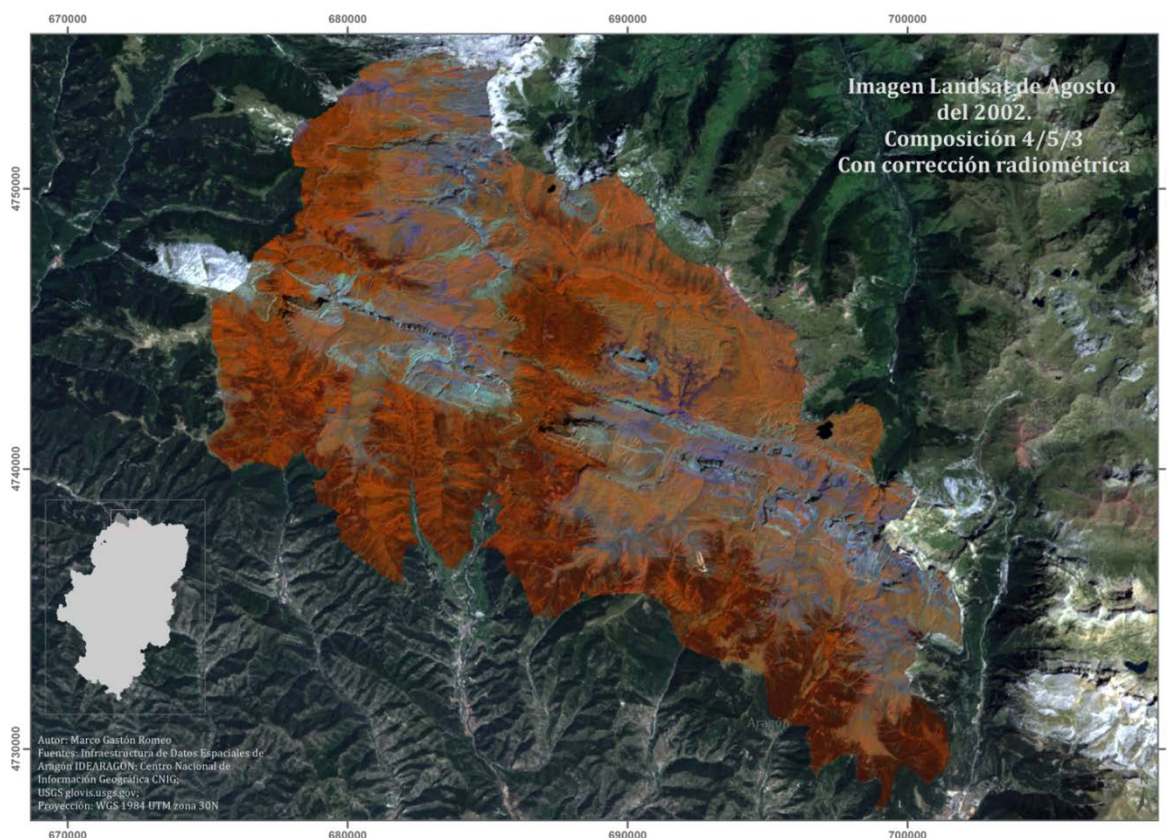


Figura 2. Composición falso color (RGB-453) del área de estudio, tras la corrección radiométrica.

Con el objetivo de introducir en el proceso de clasificación el conjunto de la información espectral contenida en las imágenes Landsat, realizando al mismo tiempo las dimensiones que pudieran resultar más explicativas, se procedió a la elaboración de transformaciones derivadas de ellas. Se probó, concretamente, con el cálculo de índices de vegetación, que finalmente resultaron menos eficaces para la clasificación digital que los neocanales derivados del Análisis de Componentes Principales (ACP), en el que ahora nos vamos a centrar. Mediante esta transformación ACP no sólo se conseguía sintetizar el conjunto de la información espectral contenida en las 6 bandas reflectivas (azul, verde, rojo, infrarrojo próximo y dos bandas del SWIR) de los diversos sensores implicados (TM, ETM+ y OLI), sino también neutralizar aquella información redundante –sin perder una parte significativa de ella– y, lo que es más importante, marginar el ruido contenido en las imágenes.

Tabla 2. Autovalores de los ACP para las 9 imágenes utilizadas.

	27/06/02	14/08/02	15/09/02	22/06/09	08/07/09	10/09/09	20/06/14	22/07/14	23/08/14
CP1	67,08	68,14	73,72	60,92	69,86	76,69	69,25	59,22	76,68
CP2	28,54	29,38	24,10	27,65	25,29	20,01	19,10	35,08	19,60
CP3	3,47	1,49	1,31	10,95	4,34	2,69	11,28	5,03	3,34
CP4	0,25	0,29	0,27	0,25	0,29	0,30	0,26	0,24	0,13
CP5	0,19	0,17	0,16	0,15	0,16	0,24	0,08	0,12	0,10
CP6	0,48	0,53	0,44	0,08	0,06	0,07	0,03	0,30	0,15

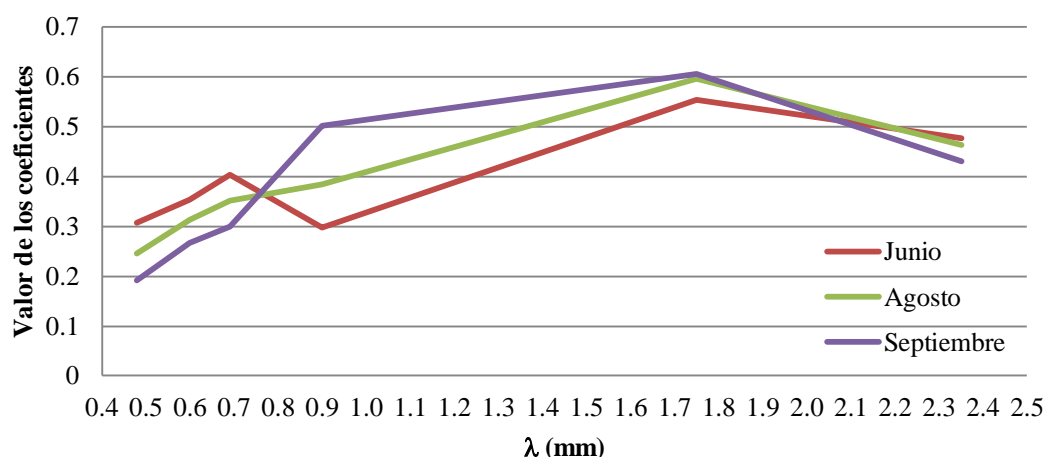


Figura 3. Representación gráfica de los autovectores del CP1 para las imágenes de 2002.

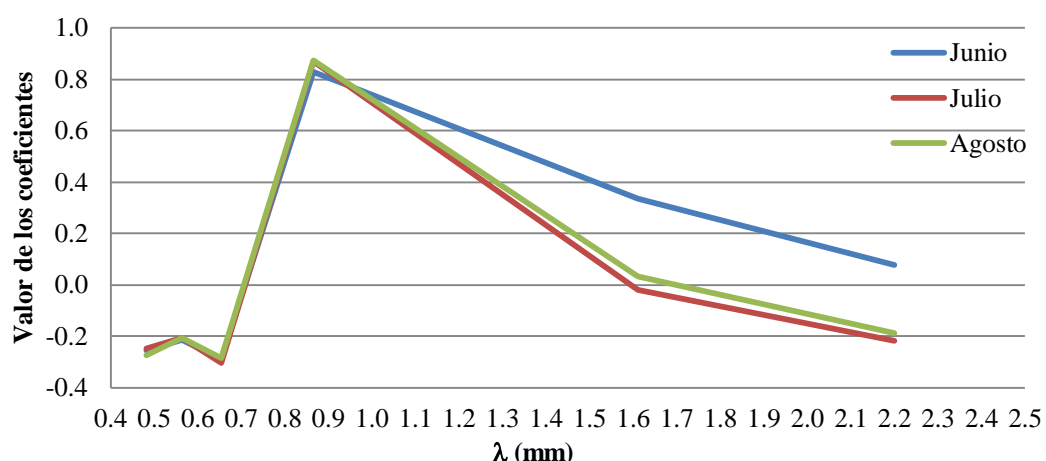


Figura 4. Representación gráfica de los autovectores del CP2 para las imágenes de 2014.

El ACP individualiza estructuras de interdependencia entre variables cuantitativas (dimensiones subyacentes comunes) mediante la transformación de un espacio espectral a otro nuevo espacio en el que los datos no estén correlacionados (Chuvienco, 2010). Los resultados obtenidos para las nueve imágenes, 3 de cada año (2002, 2009 y 2012), ponen de manifiesto, por sus autovalores asociados, que los dos primeros componentes

principales (CP1 y CP2) aglutinan entre el 90% y el 97% de la información original (Tabla 2).

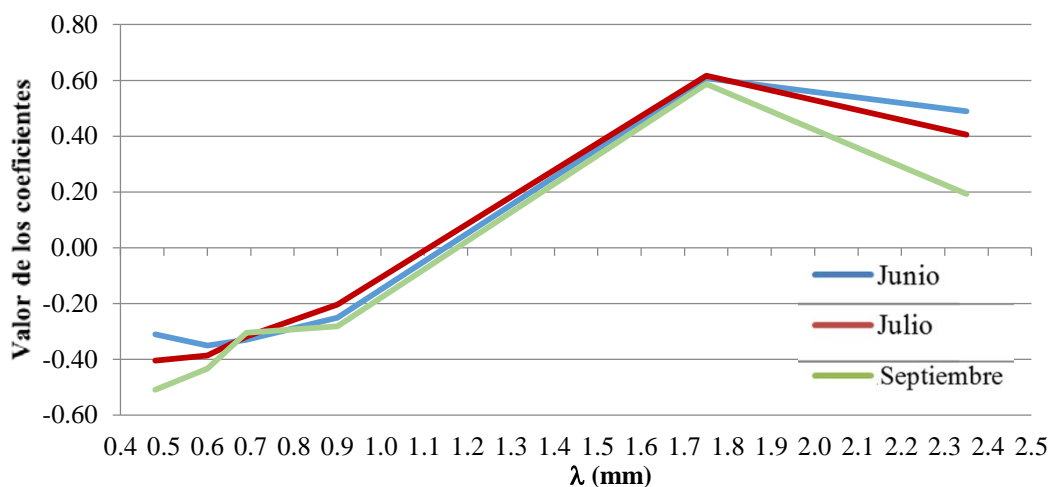


Figura 5. Representación gráfica de los autovectores del CP3 para las imágenes de 2009.

Los autovectores resultantes responden a un patrón inequívoco en el que CP1 puede identificarse con el brillo general de la imagen, con una participación –aunque variable en magnitud– de signo positivo para los coeficientes de todas las bandas (Figura 3). Por su parte, CP2 es expresión del verdor en todos los casos, con autovectores de signo negativo para las tres bandas del visible, un signo positivo de magnitud destacada para la banda del infrarrojo próximo y una menor participación de las bandas del SWIR, con signo variable, pero próximas a 0 (Figura 4). El CP3 se asocia, en la mayor parte de los casos, con el contenido de humedad, con coeficientes altos, de signo positivo, para las bandas del SWIR, aunque, en este caso, con algunos matices en el caso de las imágenes de 2002 (Figura 5).

2.3. Clasificación digital de las imágenes

Una vez corregidas las imágenes se puede abordar la clasificación digital, consistente en la asignación de los píxeles de la imagen a un número finito de categorías informacionales, en función de sus características espectrales, mediante herramientas informáticas y estadísticas. Como ya se ha señalado, en un primer momento se realizó una clasificación no supervisada, no tanto para la obtención de una cartografía, sino con el propósito exploratorio de estimación de la separabilidad de las clases –identificación de clases espectrales– y el apoyo a la localización de áreas de entrenamiento en el posterior proceso de clasificación supervisada.

El método no supervisado se aplicó mediante el algoritmo de clasificación automático iterativo ISO-DATA, que se basa en la función de mínima distancia espectral (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) (Chuvieco, 10). Fue aplicado a los componentes CP1 y CP2 de las tres imágenes seleccionadas para cada año, generando un resultado cartográfico para cada año. A estas informaciones de naturaleza espectral se añadió la imagen de iluminación, que integra la morfología topográfica, tan relevante en una zona de alta montaña como la analizada. No se incluyó el MDE por cuanto la propia consideración de imágenes de tres fechas distintas dentro del período vegetativo activo de estos pastos de verano ya incorporaba, de facto, esta dimensión, dado el importante peso del gradiente altitudinal.

Posteriormente, con estas mismas informaciones, se procedió a una clasificación supervisada para cada año de estudio. Un aspecto de suma importancia, a este punto, fue la definición de la leyenda, por cuanto no sólo debía ser representativa de la variabilidad informacional contenida en las imágenes, sino también –y muy especialmente– adecuada al objetivo último de nuestro estudio; es decir, debía estar dotada de significación en el contexto del aprovechamiento ganadero. Esta labor de construcción de la leyenda se apoyó en bibliografía existente de carácter botánico-ecológico (singularmente, Montserrat-Recoder, 1971, aunque no sólo), la inestimable colaboración del Dr. Federico Fillat Estaque, del Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC, Jaca), el conocimiento personal del ganadero Martín Gastón Aznárez y, por supuesto, el trabajo de campo. Sobre esta misma base se delimitaron posteriormente las parcelas de campo para el entrenamiento y la validación. La leyenda quedó finalmente conformada por las siguientes categorías: cuatro tipos de pasto (cervunal, pasto discontinuo, pasto encharcado, pasto denso), prados de siega, dos tipos arbustivos (brezal y matorral indiferenciado), tres tipos arbóreos (coníferas, frondosas y bosque mixto), suelo desnudo (con escasa cubierta vegetal), roquedo y cuerpos de agua.

Una explicación de estos tipos de cubierta, con énfasis en sus características desde el punto de vista del aprovechamiento ganadero puede encontrarse en Gastón y de la Riva (2015).

Para la definición de las áreas de entrenamiento –que contuviera toda la variabilidad espectral de cada clase y cada una de sus facies– se utilizó el método de localización iterativa, digitalizándolas en pantalla con el apoyo de datos de campo, el conocimiento personal y la información recogida de ganaderos e investigadores conocedores de la zona de estudio; en algún caso se utilizó, como apoyo, la ortofotografía del PNOA y la cartografía temática existente. El análisis de la separabilidad espectral de las categorías se realizó mediante el método de divergencia transformada; en la Tabla 3 se presentan los resultados para el mapa del año 2009 (el valor 2000 indica separabilidad óptima entre pares de clases).

Tabla 3. Análisis de separabilidad para la clasificación del año 2009.

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	2000	1999.8	2000	2000	0	2000	1766.79	2000	2000	2000	2000
Pasto denso	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0	2000	1999.78	1999.73	1997.87	2000
Cervunal	2000	2000	1999.99	2000	2000	2000	1766.79	2000	0	2000	2000	2000	2000
Brezal	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.78	2000	0	1959.25	2000	2000
Matorral	1998.64	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1999.73	2000	1959.25	0	2000	2000
Pasto encharcado	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1997.87	2000	2000	2000	0	2000
Prados de siega	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	0

La asignación final de todos los píxeles a las diversas categorías se realizó mediante el algoritmo de máxima probabilidad, asignándose 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). Finalmente se abordó la

Una vez se han obtenido los resultados de la asignación, se ha procedido a verificar la calidad de los mismos, con objeto de comprobar la validez tanto de la clasificación generada como del método propuesto. Este proceso ha requerido 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 trabajo de campo, conocimiento personal del área de estudio, comunicación personal de agentes locales y del Dr. Federico Fillat (IPE, CSIC). Las matrices de confusión han puesto de manifiesto un grado de acuerdo global óptimo para los años 2002 (96%) y 2009 (89%), mientras que los resultados para el año 2014 son pobres (73%). En la Tabla 4 se presentan los resultados más ajustados, correspondientes al año 2002.

Tabla 3. Verificación de la clasificación supervisada para el año 2002.

Clases	Referencia	Clasificado	Correcto (n°)	Precisión del productor	Precisión del usuario
<i>Cervunal</i>	5	6	5	100.00%	83.33%
<i>Brezal</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Pasto encharcado</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Pasto denso</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Prados de siega</i>	4	4	4	100.00%	100.00%
<i>Bosque de frondosas</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Bosque de coníferas</i>	4	6	4	100.00%	66.67%
<i>Bosque mixto</i>	8	6	6	75.00%	100.00%
<i>Suelo desnudo</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Cuerpos de agua</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Roquedo</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Matorral</i>	4	4	4	100.00%	100.00%
<i>Pasto discontinuo</i>	6	6	6	100.00%	100.00%
<i>Total</i>	74	74	71	Precisión global: 95.95%	

3. RESULTADOS CARTOGRÁFICOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los productos cartográficos obtenidos mediante clasificación supervisada para los años 2002, 2009 y 2014 (Figuras 7, 9 y 10, respectivamente). De cara a su correcta valoración, debe subrayarse el hecho de que, aunque para cada año se han utilizado 3 imágenes distintas, las dos primeras – correspondientes a los meses de junio y julio/agosto– están presentes en los tres casos, mientras que para el

año 2014 la tercera imagen no es de septiembre, como en 2002 y 2009, sino de agosto. Este hecho, que es consecuencia de la disponibilidad de imágenes en el servidor USGS, condiciona los resultados, algo patente en la menor precisión global obtenida para la clasificación de ese año (73%).

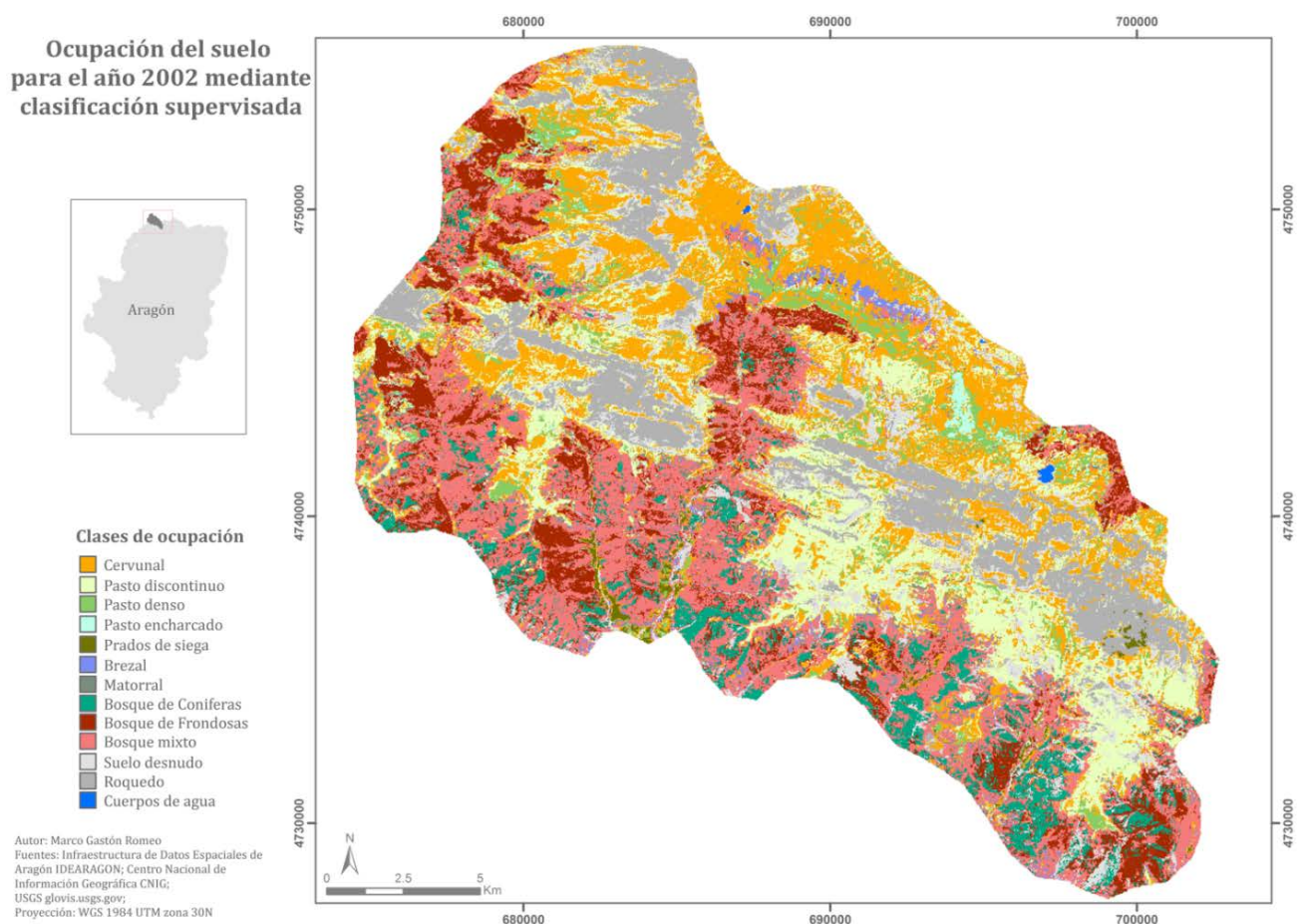


Figura 7. Cartografía obtenida mediante clasificación supervisada para 2002.

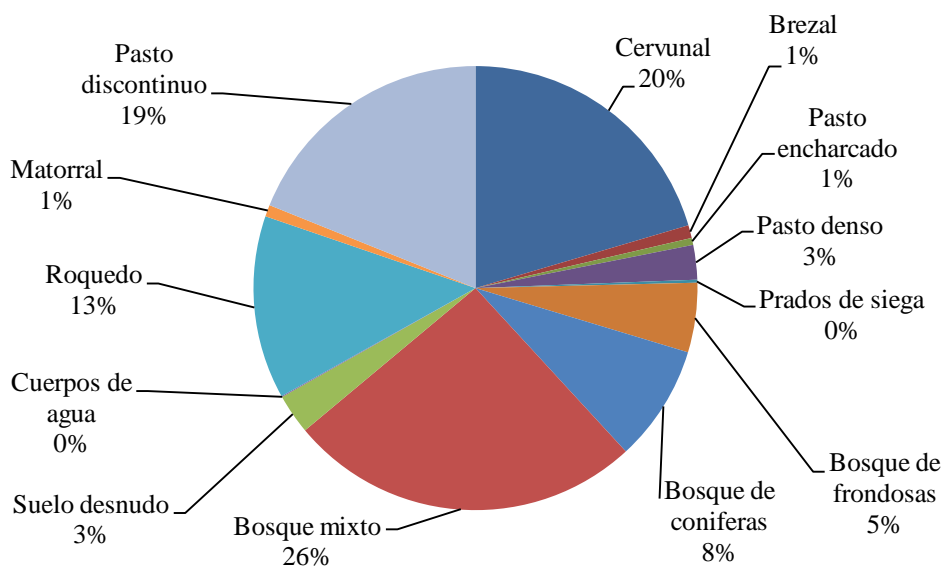


Figura 8. Porcentaje de superficie cubierta por cada categoría de ocupación del suelo para el año 2009.

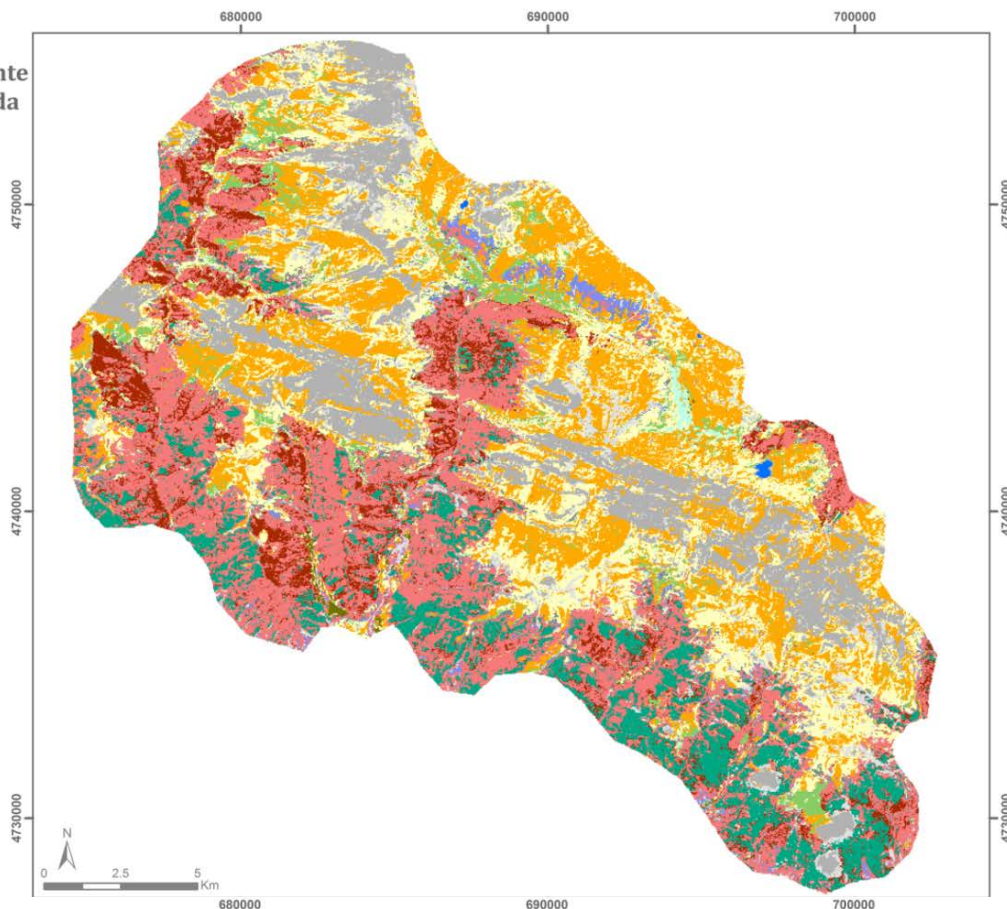
Ocupación del suelo para el año 2009 mediante clasificación supervisada



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

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



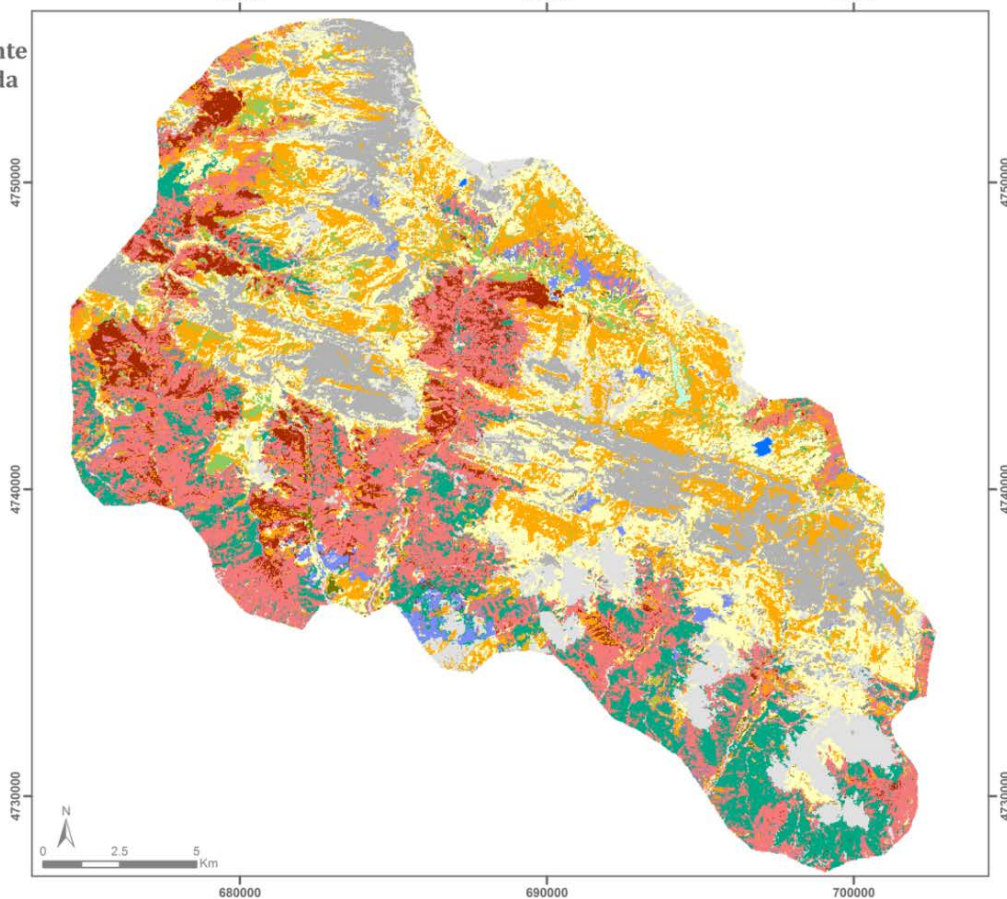
Ocupación del suelo para el año 2014 mediante clasificación supervisada



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

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



Figuras 9 y 10. Cartografía obtenida mediante clasificación supervisada para 2009 (superior) y 2014 (inferior).

Si bien existe, *grosso modo*, concordancia en los resultados de las diversas clasificaciones, se aprecian también algunas 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 categoría ha sido clasificada con éxito y óptima separabilidad en las clasificaciones supervisadas de los años 02 y 09; 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 el 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. La Figura 11 expresa el porcentaje de superficie ocupada por cada una de las categorías en el área de estudio para el año 2009.

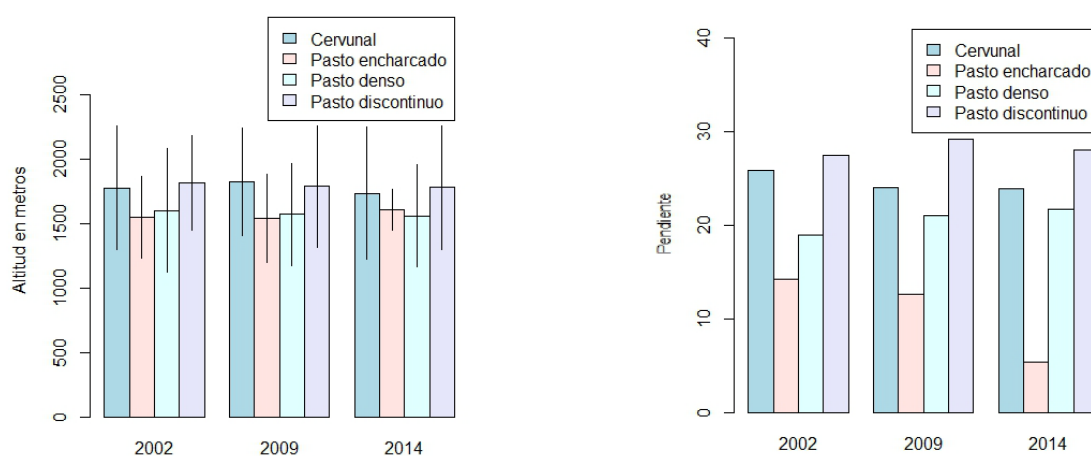


Figura 8. Distribución por altitudes (izquierda) y pendientes de los tipos de pastos para los años analizados.

El análisis combinado de los resultados de la clasificación supervisada para cada año y la información contenida en el modelo digital del terreno permite caracterizar por altitudes y pendientes los tipos de pasto, así como analizar las variaciones producidas entre los tres años analizados (Figura 11). Las diferencias en el análisis por altitudes pone de manifiesto que el único cambio apreciable está en el pasto encharcado, que en 2014 presenta una menor dispersión respecto de su altitud media (las barras verticales expresan ± 2 desviaciones estándar), cubriendo un rango menor de altitudes que en los años anteriores. El análisis en función de las pendientes muestra cómo existe un descenso de pendientes ocupadas por el cervunal de 2002 a 2009, manteniéndose después la misma situación; así mismo, se observa cómo los pastos encharcados se encuentran cada vez en pendientes menores. Por último el pasto denso y el discontinuo evidencian un incremento en pendientes mayores entre 2002 y 2009.

4. CONCLUSIONES

Los resultados han validado nuestra hipótesis de partida, que la utilización de imágenes de satélite Landsat –en el contexto del análisis multiestacional– 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. En este sentido deben interpretarse los peores resultados obtenidos para 2014, achacables sin duda a la no disponibilidad de imagen libre de nubes para el mes de septiembre; su falta se traduce en una mayor confusión espectral entre las clases de pastos, si bien para la clasificación de otras categorías es suficiente con las imágenes de meses anteriores. Se constata así cómo, para una óptima diferenciación y cartografía de los pastos de puerto es preciso disponer de imágenes que cubran todo su ciclo fenológico. Este tipo de comunidades vegetales, que ocupan las zonas más altas, tienen un ciclo más corto que las cubiertas arbustivas y arboladas, centrado en los meses de final de primavera y verano, siendo en esta última estación cuando son objeto de aprovechamiento por el ganado, apareciendo en septiembre con signos inequívocos de agostamiento.

Los mejores resultados del proceso de clasificación supervisada para cada año analizado se han obtenido

mediante la introducción de los dos primeros componentes principales –que refieren, en todos los casos, al brillo y el verdor– y la imagen de iluminación, que expresa de forma óptima la morfología topográfica, determinante en la diferenciación de ciertos tipos de pastos. En cambio, aun tratándose de una zona de relieve contrastado, no resulta significativa la inclusión de la información del MDE, pues la propia dimensión multi-estacional del análisis ya incorpora el dinamismo inherente a las diferencias de relieve; además, como se ha señalado, los procesos de inversión térmica y el gradiente NO-SE, patentes en el área de estudio, quedan así mejor expresados que mediante la simple información de la altitud.

Finalmente, indicar que el análisis realizado, en función de las variaciones observadas para los años 2002 y 2009, para los que se dispone de las tres imágenes en momentos similares, pone de manifiesto el dinamismo de las cubiertas analizadas, singularmente los pastos. Así, aunque estructuralmente se encuentren en un estado similar, sus condiciones funcionales pueden variar de un año para otro (productividad, humedad, biomasa...), lo que conduce a la consideración necesaria de estas variaciones en la gestión ganadera. El ganadero –el ganado– se adapta, de hecho a este dinamismo; como señalan Barber et al. (2004) conocer estas variaciones y su funcionamiento será fundamental en los planes de gestión.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Barber, C.V., Miller, K.R., Boness, M. (2004): *Securing Protected Areas in the Face of Global Change: Issues and Strategies*. Switzerland and Cambridge, UK. IUCN, Gland.
- Cabello, J., Paruelo, J.M. (2008): “La Teledetección en estudios ecológicos”. *Ecosistemas*, 17(3), 1-3.
- Chander, G., Markham, B.L., Helder, D.L. (2009): “Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors.» *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893-903.
- Chavez, P.S. (1988). “An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data”. *Remote Sensing of Environment*, 24(3), 459-479.
- Chuvieco, E. (2010): *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio*. Barcelona, Ariel Ciencia.
- Creus, J. (1983): *El clima del Alto Aragón Occidental*. Jaca, Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos.
- de la Riva, J. (1997): *Los montes de la Jacetania. Caracterización física y explotación forestal*. Zaragoza, Consejo de protección de la naturaleza de Aragón.
- ERDAS. ERDAS Imagine 13. 13.
- ESRI. ArcGIS 10.0. 12.
- Fillat, F. (2008): “Situación, distribución e importancia de los ecosistemas pastorales en los biomas terrestres”. En Fillat, F., García-González, R., Gómez, D., Reiné R. (eds.) *Los Pastos del Pirineo*. Madrid, CSIC, 37-59.
- Gastón, M., de la Riva, J. (2015): “Teledetección para la cartografía y caracterización de los pastos de puerto en el Pirineo Occidental aragonés”. En *SEEP 2014 - Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. Accesible en: <http://www.uibcongres.org/seep2015/ponencia.ct.html?mes=4&ordpon=2>
- GBIF (2015): *R: a language and environment for statistical computing*. Global Biodiversity Information Facility. Accesible en: <http://www.gbif.org/resource/81287>
- IDEAragón (2015): *Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón*. Gobierno de Aragón. Accesible en: <http://idearagon.aragon.es/>
- Montserrat-Recoder, P. (1971): *La Jacetania y su vida vegetal*. Jaca, Ibercaja.