Cuadernos de Investigación Geográfica	2006	Nº 32	pp. 57-80	ISSN 0211-6820

© Universidad de La Rioja

FACTORES EN LA VARIABILIDAD ESPACIAL DE LOS CAMBIOS DE CUBIERTA VEGETAL EN EL PIRINEO

T. LASANTA y S.M. VICENTE-SERRANO

Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC,
Apdo. 202, 50080 Zaragoza

Correo electrónico de contacto: fm@ipe.csic.es

RESUMEN. *A lo largo del siglo XX las montañas mediterráneas europeas tuvieron un proceso de revegetación importante con avance de matorrales y bosques, lo que se ha explicado por la marginación de tierras, por el abandono de campos de cultivo y la disminución de la presión ganadera sobre los recursos pastorales. En este trabajo se estudia, en el valle de Borau (Pirineo Central español), la influencia que ejercen varias variables físicas y humanas en el proceso espacial y ritmo temporal de revegetación entre 1957 y 2000. Los resultados muestran que el 45% del territorio cambió de cubierta vegetal, dominando los procesos de sucesión (41,5%) sobre los de retroceso (3,5%). Las laderas bajas y medias, coincidiendo con las áreas de campos abandonados, fueron los espacios que más cambiaron. El ritmo de avance puede considerarse moderado, ya que el 25,8% de las áreas con sucesión sólo cubrieron un estadio o fase, el 14,3% dos estadios, y sólo el 1,4% más de dos estadios. La presión ganadera y la orientación, que determina la radiación solar incidente, son los factores más influyentes en los cambios de cubierta vegetal, mientras que otras variables topográficas cumplen, por sí solas, un papel secundario a escala de valle, si bien la bibliografía resalta su alto peso a mayores escalas.*

ABSTRACT. *Mediterranean mountain areas show during the twentieth century intense revegetation processes, mainly characterised by the advance of forests and shrubs. This is explained by land abandonment and the noticeable decrease of the livestock pressure on the pastures. This paper analyses the influence of some physical and human factors on the intensity and spatial patterns of the revegetation processes in the Borau valley (Central Spanish Pyrenees) between 1957 and 2000. About 45% of the study area showed important modifications in the vegetation cover. The succession processes toward more mature vegetation stages are dominant (41.5%). On the contrary, the retreat toward less mature vegetation stages affects small sectors (3.5%). Low and middle slopes covered by abandoned fields were the areas in which the main changes were observed. Nevertheless,*

the advance towards more mature vegetation stages was moderate, since the 25.8% of the area only advanced one stage, the 14.3% showed an advance of two stages and only the 1,4% of the territory showed an advance of more than two stages. Livestock pressure and terrain exposure, which determine the solar incoming radiation, were the most important factors to explain the spatial differences in the land cover change. On the contrary, other topographic variables play a secondary role, although other studies have shown their important influence at more detailed spatial scales.

Palabras clave: Revegetación, campos abandonados, cambios de uso del suelo, montaña mediterránea, Pirineos (España).
Key words: Revegetation, abandoned fields, land-use changes, Mediterranean mountain, Pyrenees (Spain).

Enviado el 24 de abril de 2004
Aceptado el 10 de octubre de 2006

1. Introducción

Desde hace 10.000 años las áreas mediterráneas están sometidas a cambios constantes en los usos del suelo, habiendo dominado tradicionalmente la deforestación de tierras para uso agrícola y/o ganadero (Naveh, 1982; Trabaud, 1981; Grove, 1996; Pausas, 1999; Pardo y Gil, 2005). Durante el último siglo, sin embargo, esta dinámica ha tomado diferentes caminos en relación con factores socioeconómicos (Margaris *et al.*, 1996). Mientras que en los países en vías de desarrollo la deforestación y la presión sobre la tierra continúa, en los países desarrollados se han abandonado muchos campos de cultivo y se ha reducido la presión de la ganadería extensiva (MacDonald *et al.*, 2000). Además, en estos últimos países se intensificaron, desde mediados del siglo XX, las políticas de reforestación orientadas a recuperar la cubierta vegetal con fines económicos (incrementar la producción de madera) y ambientales (regular el ciclo hidrológico en las cuencas y retener el suelo en las laderas) (Douguedroit, 1981; Ortigosa, 1990). Más recientemente, desde finales de los años ochenta, la Unión Europea potencia la retirada de tierras y la reforestación en el marco de su política medioambiental (Laguna, 2004).

En España, los cambios de cubierta vegetal son muy evidentes en las últimas décadas. La despoblación parcial o total de muchos pueblos, el abandono masivo de laderas cultivadas durante siglos, la disminución de la presión pastoral, la pérdida de funcionalidad del bosque y la repoblación de extensos perímetros han supuesto avances muy importantes en la expansión y densificación de la cubierta vegetal. Según las estadísticas del Ministerio de Agricultura la superficie forestal pasó de 117.926 Km^2 en 1970 a 168.762 Km^2 en 2003. Dicho incremento ha tenido lugar, sobre todo, en áreas de montaña, en las que los bosques y las áreas de matorral son las cubiertas dominantes en la actualidad (Lasanta, 1990). Así por ejemplo, Poyatos *et al.* (2003) señalan que entre 1957 y 1996, el 25,1% de la cuenca de Cal Rodó (Prepirineo Catalán) pasó de un uso agríco-

la a otro forestal, además de aumentar la densidad de lo que ya era bosque. En el mismo periodo, el bosque pasó de ocupar el 49% en la Riera de Canalda (Prepirineo Catalán) al 59,9% (Ubalde *et al.*, 1999). En el valle de la Garcipollera (Pirineo Aragonés) el bosque representaba en 1994 el 85,5% del territorio, mientras que cinco décadas antes sólo el 21,4% (Ibarra y De la Riva, 1995).

La revegetación tras la disminución de la presión antrópica sobre el territorio es un proceso de sucesión vegetal, donde los ecosistemas cambian progresivamente su composición y morfología, tendiendo hacia estadios de mayor madurez (Margalef, 1974). El ritmo de sucesión depende mucho de las condiciones ambientales (suelos, clima y topografía), pero también de la intervención del hombre (uso previo, abandono, fuego, desbroces, pastoreo, etc.) (Tatoni y Roche, 1994). Tanto la influencia de los factores naturales como el papel del hombre en la sucesión vegetal son temas muy estudiados en ambientes mediterráneos, pero casi siempre a escala de parcela o de pequeños transectos (Arroyo y Marañón, 1990; Debussche *et al.*, 1996; Fernández-Alés *et al.*, 1984; Ojeda *et al.*, 1996; Gallego-Fernández *et al.*, 2004). Apenas existen, por el contrario, estudios de territorios más extensos (escala de valle), a pesar de la importancia que el ritmo espacio-temporal del proceso de revegetación tiene en la dinámica del paisaje (Lasanta *et al.*, 2005), en la frecuencia y magnitud de los flujos de escorrentía y en la calidad del agua (Beguería *et al.*, 2003; Gallart y Llorens, 2004), en el riesgo de incendios (Romero-Calcerrada y Perry, 2004) o en el balance estacional de pastos (Molinillo *et al.*, 1997; Lasanta *et al.*, 2006).

El objetivo de este trabajo es aportar información sobre el papel que juegan varias variables topográficas (pendiente, elevación, exposición), de gestión (presión ganadera) y de localización (distancia al bosque) en la heterogeneidad espacial del proceso de revegetación (1957-2000) en un valle representativo del Pirineo español. Se analiza también la intensidad de los cambios en la cubierta vegetal a partir del estudio de los pasos o saltos de estadio, tanto en el proceso de sucesión hacia fases más maduras como de retroceso a estadios más iniciales.

2. Área de estudio

El estudio se ha llevado a cabo en el valle de Borau (4.166,2 ha), Pirineo Central español (Fig. 1). Se trata de un valle de disposición meridiana, que corta transversalmente las Sierras Interiores, de litología calcárea, y las Sierras del Flysch, que se desarrollan inmediatamente al Sur. El último sector es el que ocupa mayor amplitud, constituyendo un área homogénea de cumbres redondeadas y vertientes regularizadas con desniveles del 20 al 60%, solamente interrumpidas por el desarrollo de barras calcáreas, que dan lugar a formas de relieve más abruptas (Soler y Puigdefábregas, 1972). Los procesos geomorfológicos son muy activos, con predominio de los relacionados con el arroyamiento difuso y los surcos o incisiones (García-Ruiz y Puigdefábregas, 1982). El Valle presenta una variada gama de rangos altitudinales, debido al elevado gradiente topográfico: entre el punto más alto (2.566 m en el Pico de la Garganta de Borau) y el más bajo (840 m en la salida del río Lubierre del municipio) hay una diferencia de altitud de 1726 m.

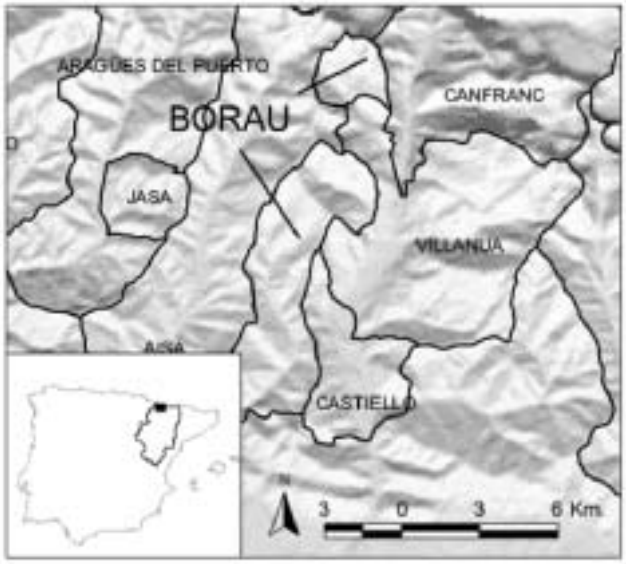

Figura 1. Localización del área de estudio

El clima es submediterráneo de montaña con influencias atlánticas. La precipitación media anual es de 930 mm en la estación próxima de Esposa (980 m s.n.m.), con máximos en otoño y primavera. Biogeográficamente, el valle de Borau representa un espacio de transición entre la alta montaña pirenaica y la Depresión intrapirenaica. En el sector más septentrional aparecen rasgos propios del piso alpino, mientras que en el sur del valle la vegetación presenta características mediterráneas. Villar (1982) y De la Riva (1997) distinguen dos ecosistemas: entre 800 y 1800 m de altitud se desarrolla un ecosistema forestal correspondiente al piso montano, mientras que por encima de los 1700-1800 m aparece un ecosistema supraforestal propio del piso subalpino. En el piso montano se encuentran la serie montana pirenaica del roble peloso o *Quercus pubescens*, que ocupa las laderas con altitudes inferiores a 1200 m; y por encima la serie altimontana pirenaica central calcícola del pino albar o *Pinus sylvestris*. El piso subalpino es el dominio de la serie pirenaica heliófila del pino negro o *Pinus uncinata* (Rivas Martínez, 1987).

Tanto el piso montano como el subalpino han sido intensamente afectados por la acción humana, lo que se ha traducido en importantes cambios en la vegetación original. El piso montano está cubierto ahora por matorrales de erizón (*Echinospartum horridum*) y por pinares secos con boj (*Buxus sempervirens*) y erizón (Montserrat, 1971), conviviendo con masas de pinares climácicos y quejigales. En el piso subalpino los pastizales dominan masivamente, ocupando un espacio que era forestal pero que el hombre convirtió en pastos (Montserrat, 1992; García-Ruiz y Valero, 1997).

El valle de Borau perdió a lo largo del siglo XX el 84,3% de su población, pasando de 460 habitantes en 1900 a 72 habitantes en 2001. En la actualidad el valle presen-

ta una estructura demográfica envejecida, muy poco dinámica y progresivamente más dependiente del exterior. El descenso poblacional llevó a un abandono generalizado de las prácticas agrícolas (el espacio cultivado pasó de 1794 ha a principios del siglo XX a 197 ha en 2000), al retroceso de la ganadería (el censo disminuyó de 817 UGM en 1911 a 219 UGM en 2000), y a la subexplotación de los productos forestales. Conviene destacar que el pastoreo del ganado se concentra ahora en los prados de siega, que se localizan en los fondos de valle y pies de vertiente, de octubre a junio, y en los pastos subalpinos ("puertos") más accesibles de julio a septiembre, con una concentración del ganado preferentemente en las laderas de pendiente suave y en las cóncavas (Remón y Alvera, 1989). Los pastos subalpinos son también aprovechados recientemente por un rebaño trashumante de 1200 ovejas de San Jorge (Almudévar, Huesca). El espacio forestal, las áreas de matorral y de campos abandonados apenas son visitados por el ganado; tan sólo en primavera un pequeño rebaño de ovejas incluye laderas de campos abandonados en sus itinerarios de pastoreo (Vicente-Serrano, 2001).

Los cambios de gestión descritos han llevado al incremento de los procesos de revegetación espontánea. Además, desde los años cuarenta del siglo XX se han repoblado con pinos 323 ha (Vicente-Serrano, 2001).

3. Metodología

La cartografía de la cubierta vegetal se elaboró a partir de las fotografías aéreas de 1957 y 2000. Se establecieron once categorías: 1: Pastos subalpinos o supraforestales, 2: Pastos subalpinos con matorral, 3: Bosque denso, 4: Bosque claro, 5: Bosque de repoblación, 6: Matorral claro, 7: Matorral denso, 8: Campos abandonados con matorral claro, 9: Campos abandonados con matorral denso, 10: Campos de cultivo, 11: Roca sin cubrimiento vegetal. Además se distinguió el núcleo de población.

Los mapas elaborados se digitalizaron y se incorporaron a un Sistema de Información Geográfica, lo que permitió superponer los dos mapas y conocer la evolución de la cubierta vegetal en los 43 años trascurridos entre ambas fechas.

La superposición de los mapas de 1957 y 2000 permite comprobar qué áreas han cambiado de uso del suelo, y si lo han hecho avanzando hacia estadios más maduros (sucesión) o más iniciales (retroceso). También es posible conocer el número de estadios o pasos que han dado en el proceso de sucesión o retroceso. La Fig. 2 esquematiza los posibles cambios de cubierta vegetal y el número de pasos. El paso de un estadio a su inmediato se ha valorado como +1, si se trata de sucesión, y –1, si se produce retroceso, incrementándose los valores a medida que el salto es mayor hasta alcanzar valores máximos entre –4 y +4.

A la hora de cartografiar cambios de uso del suelo y de cubierta vegetal resulta muy complicado establecer límites o fronteras nítidas entre las manchas. Entre ellas surgen áreas de transición, que constituyen uno de los problemas metodológicos más impor-

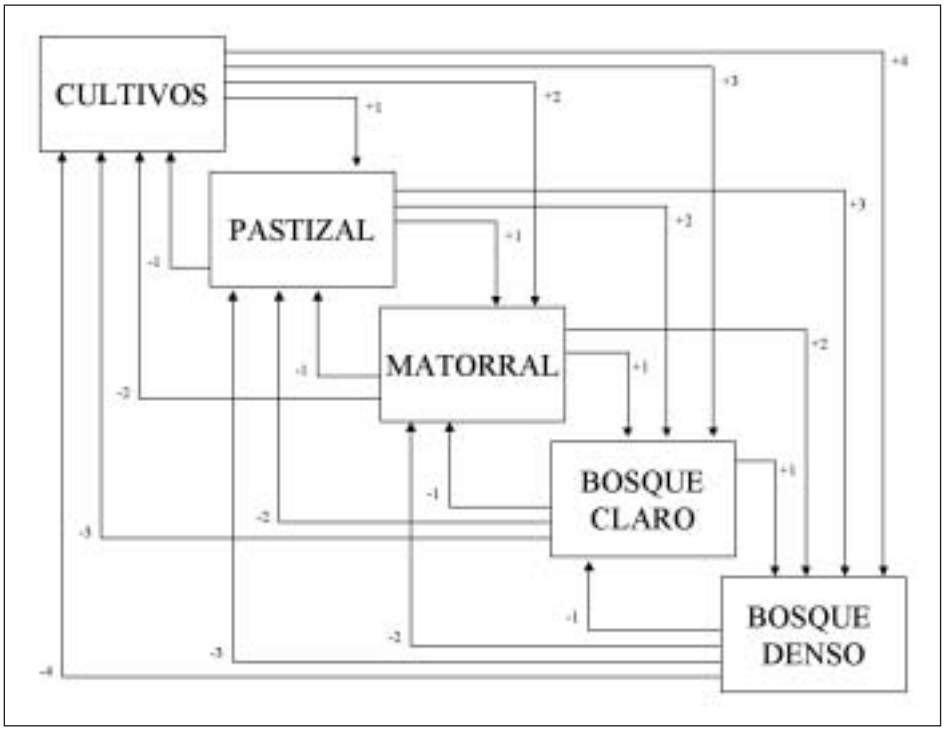

Figura 2. Fases en el proceso de cambio de la cubierta vegetal

tantes en este tipo de cartografías. El problema se solucionó mediante la inserción de las coberturas de vegetación en el SIG Miramon (v 3.5) y su rasterización a un tamaño de celda de 20 m. A continuación se eliminaron tres píxeles en los límites de las teselas mediante el módulo BUFFDIST del SIG MIRAMON (Serra *et al.*, 2003), con lo que se evitan los posibles errores de límites.

Por otro lado, la cartografía resultante de superponer los mapas de 1957 y 2000 se relacionó con diferentes variables, consideradas a priori como las más influyentes. Se tuvo en cuenta la topografía (elevación, pendiente, curvatura del terreno y exposición), los usos del suelo en 1957, las series de vegetación (del robledal, mesófila del pino silvestre, xerófila del pino silvestre, del pino negro), la distancia al bosque de cada mancha y la carga ganadera. Para obtener información de cada una de las variables se utilizaron varios métodos.

A partir de un modelo digital de elevaciones (MDE), generado con las curvas de nivel a escala 1:50.000, se obtuvieron los modelos de curvaturas y de pendientes. Mediante el MDE y el módulo INSOLDIA del SIG MIRAMON se generó un modelo de radiación potencial anual (Pons, 1996). A partir de *la Carte de la végétation de la France (Hoja nº 76: Luz)* (Dupias *et al.*, 1982) se cartografiaron los pisos bioclimáticos y las series de vegetación dominantes en cada área y se incorporaron al SIG MIRAMON para conocer el pro-

ceso de evolución vegetal en función de las características bioclimáticas potenciales de cada espacio. Con trabajo de campo (seguimiento de los rebaños y entrevistas a los pastores) y el estudio evolutivo de los censos ganaderos se realizó la cartografía de presión o carga ganadera en cada enclave del territorio, lo que permite conocer las interferencias de la gestión antropógena (exclusivamente ganadera durante la segunda mitad del siglo XX) en los cambios de cubierta vegetal. En Vicente-Serrano (2001) puede consultarse el desarrollo minucioso de la metodología empleada para elaborar la cartografía de carga ganadera.

Para determinar la influencia de cada una de las variables consideradas en la evolución de la cubierta vegetal y en la intensidad de los cambios se realizó un análisis discriminante predictivo (PDA). Este tipo de análisis se utiliza para explicar el valor de una determinada variable categórica en función de uno o más predictores. El PDA trata de buscar las combinaciones lineales de las variables independientes (topográficas, series de vegetación, etc.) que mejor separan los diferentes grupos de la variable dependiente. Las variables no métricas (usos del suelo en 1957 y series de vegetación) se transformaron en variables dicotómicas (0,1) para poder insertarlas en el análisis. El PDA permite determinar qué variables predictoras contribuyen en mayor medida a la existencia de diferentes categorías de la variable independiente; en este caso las diferentes fases en el proceso de cambio de la cubierta vegetal indicadas en la Fig. 2.

4. Resultados

4.1. Los cambios superficiales de la cubierta vegetal

En un trabajo precedente (Lasanta *et al.*, 2000) se estudió de forma detallada el proceso de revegetación en la segunda mitad del siglo XX, por lo que aquí sólo se señalan los rasgos más destacados. Entre 1957 y 2000 el incremento proporcional más importante correspondió al bosque de repoblación, que pasó de 27,2 ha a 322,9 ha (Tabla 1). El bosque natural experimentó también una evolución muy positiva, duplicando casi su superficie: de 1031,8 ha en 1957 a 1948,5 ha en 2000. Las laderas de matorral y los antiguos campos de cultivo fueron los usos del suelo que perdieron presencia a favor del bosque, generalmente de *Pinus sylvestris*. Los pastos subalpinos redujeron un 10% su superficie, por la colonización del matorral en áreas bajas poco visitadas por el ganado, y el espacio agrícola perdió el 50% de su extensión, pasando de 391,8 ha en 1957 a 196,8 ha en 2000.

La Fig. 3 muestra las transiciones en las diferentes cubiertas del suelo. Se observa que algunas cubiertas apenas han variado, mientras que otras han experimentado cambios profundos. Los pastos subalpinos se mantienen mayoritariamente (83,4%), al igual que ocurre con los bosques densos (92,1%). El resto de la cubiertas muestran una baja estabilidad: del 34% en los pastos subalpinos con matorral, del 27,6% en los bosques claros, del 3,9% en los matorrales claros, del 1,8% en los matorrales densos, del 22,3% en los campos abandonados con matorral claro, del 20% en los campos abandonados con matorral denso y del 45,8% en los campos de cultivo. El espacio agrícola tradicional es el que muestra las mayores variaciones de cubierta, ya que en 2000 se pueden ver cam-

Tabla 1. Superficie de las cubiertas del suelo en el Valle de Borau en 1957 y 2000

Cubiertas del suelo	**1957 (ha)**	**2000 (ha)**	**Diferencia 1957-2000 (ha)**
Pastos subalpinos	698,8	631	-67,8
Pastos subalpinos con matorral	107,1	119	11,9
Bosque denso	554,6	1326,4	771,8
Bosque claro	477,2	622,1	144,9
Bosque de repoblación	27,2	322,9	295,7
Matorral claro	116,4	4,6	-111,8
Matorral denso	219,8	3,9	-215,9
Campos abandonados con matorral claro	950,5	338,7	-611,8
Campos abandonados con matorral denso	451,6	429,4	-22,2
Campos de cultivo	391,8	196,8	-195
Roca desnuda	186,3	186,3	0
Núcleo de población	4,9	4,9	0
TOTAL	4186,2	4186,2	0

pos abandonados con vegetación de matorral claro, matorral denso, bosque claro, bosque denso, bosque de repoblación, e incluso algunos antiguos campos que se han recuperado para prados de diente. También las áreas que en 1957 tenían cubierta de matorral han cambiado mucho, casi siempre hacia bosque en sus distintas variedades. Los espacios que ya eran bosque o pastos subalpinos han evolucionado menos.

El 55% del territorio mantenía en 2000 la misma cubierta que en 1957. Se trata, fundamentalmente, de los pastos subalpinos, del bosque denso y de parte del espacio cultivado, por lo que la localización coincide con las mayores altitudes, el fondo del valle del río Lubierre, y algunas laderas intermedias cubiertas con bosque (Fig. 4). Los cambios más frecuentes han sido hacia estadios más avanzados de sucesión, aunque también se han producido algunos retrocesos. El 41,5% del Valle experimentó una evolución positiva en el proceso de revegetación, correspondiendo el 25,8% a la sucesión de grado 1, el 14,3% a la sucesión de grado 2, el 1,3% a la sucesión de grado 3 y el 0,1% a la sucesión de grado 4. Las laderas medias y bajas, especialmente las solanas, han sido las áreas que más han cambiado, en gran parte debido a que fueron en el pasado las más intervenidas por el hombre (deforestadas, desbrozadas, roturadas y cultivadas) y durante el siglo XX las más marginadas (cese del cultivo y dejadas de pastar o pastadas con muy baja carga ganadera) (Vicente-Serrano, 2001). El retroceso en la cubierta vegetal sólo ha tenido lugar en el 3,4% del valle de Borau, correspondiendo el 3,3% al retroceso de grado 1 y el 0,1% al retroceso de grado 2. En el primer caso, se trata de cambos abandonados o áreas de matorral que se han desbrozado para prados o pastos, y en el segundo caso de pequeñas talas para leña.

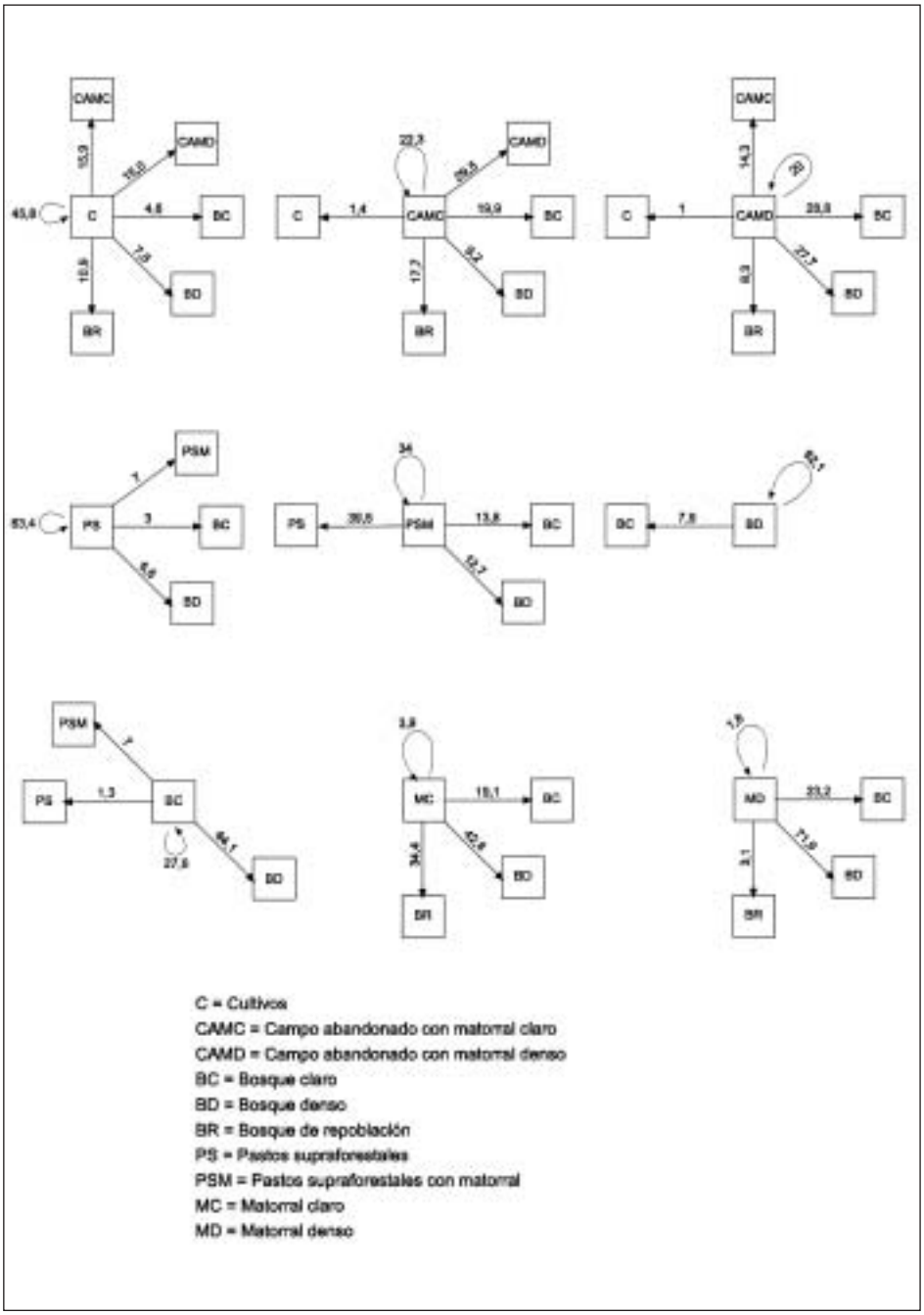

Figura 3. Transformaciones en la cubierta vegetal en el valle de Borau (1957-2000). Transiciones de cambio en valores porcentuales

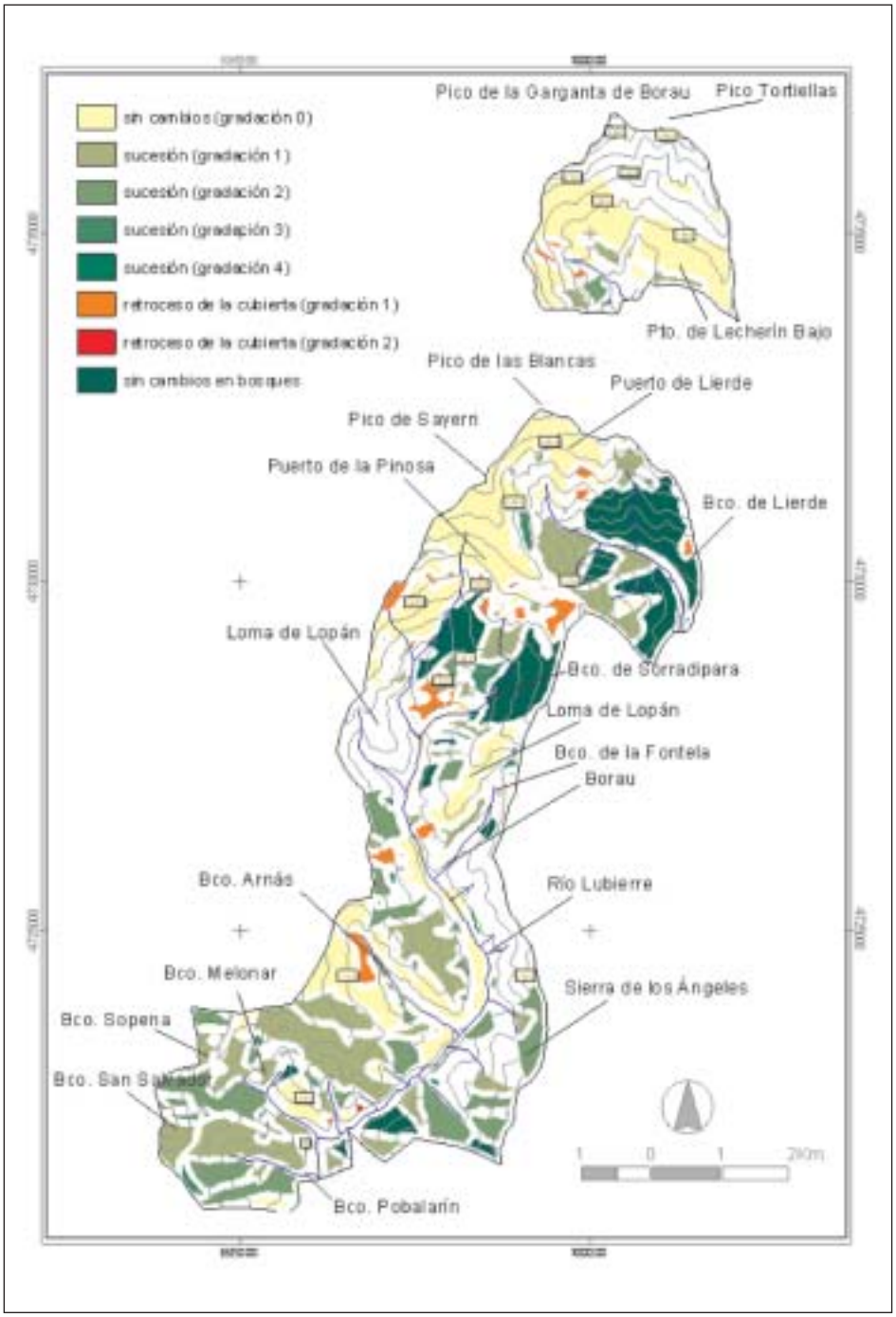

Figura 4. Distribución espacial en las fases de sucesión vegetal

4.2. Factores que condicionan los cambios de cubierta vegetal

En la tabla 2 se muestran los resultados del análisis discriminante, en el que las variables dependientes fueron los estadios de cambio y las variables independientes los factores físicos y de gestión. La primera función explica el 76,7% de la varianza y la segunda el 16,6%, mientras que las dos restantes apenas contribuyen, por lo que no se comentan.

En la tabla 3 se incluyen los centroides de cada uno de los grupos de evolución de la cubierta vegetal. Con la primera función se discriminan entre los grupos que han experimentado una evolución positiva (avance en las etapas seriales de matorral o de bosque) y aquellos otros en los que se ha mantenido la cubierta vegetal original o bien se ha producido un retroceso en la misma. La mayor discriminación se produce entre las áreas sin cambio (valor positivo alto) y las de sucesión de gradación 1 y 2 (valor negativo alto), es decir, entre los grupos que más superficie ocupan. La función 2, mucho menos importante ya que sólo explica el 16,6 % de la varianza, diferencia las áreas que han cubierto un solo paso en el proceso de sucesión vegetal (gradación 1) de las que han experimentado una evolución más intensa (gradación 2, 3 y 4). Las áreas con retroceso presentan valores negativos como las de sucesión 1, pero más elevados, mostrando un mayor distanciamiento con las de sucesión 2, 3 y 4.

Tabla 2. Resultados del análisis discriminante aplicado al proceso de evolución de la cubierta vegetal (1957-2000) en el valle de Borau

Función	**% Varianza**	**Correlación Canónica**	**Chi-cuadrado**	**Significación**
1	76.7	0.733	3108.7	0.0
2	16.6	0.448	921.2	0.0
3	3.6	0.226	283.7	0.0
4	1.9	0.165	134.4	0.0

Tabla 3. Funciones de los centroides de los grupos de evolución de la cubierta vegetal (1957-2000) en el valle de Borau

Gradación en la cubierta vegetal	**1**	**2**
Sin cambios	1.077	0.137
Sucesión (Gradación 1)	-0.846	-0.520
Sucesión (Gradación 2)	-1.5	0.756
Sucesión (Gradación 3)	-0.265	0.531
Sucesión (Gradación 4)	-0.341	0.855
Retroceso (Gradación –1)	0.196	-1.101
Retroceso (Gradación –2)	-0.782	-3.343

La tabla 4 informa sobre el peso de cada una de las variables en el proceso de evolución de la vegetación. Por la primera función se comprueba que las variables más influyentes son la radiación solar incidente y la carga ganadera, ambas con valores positivos al igual que las áreas sin cambios. Le siguen en importancia los usos del suelo de 1957, la elevación y la distancia al bosque. Las series de vegetación, que informan sobre los tipos potenciales de vegetación, tienen un papel más modesto. La pendiente y la curvatura del terreno también tienen un escaso peso. En el caso de la pendiente, probablemente porque la mayor parte del espacio que ha cambiado de cubierta vegetal corresponde a campos abandonados, que se localizaban en pendientes bastante homogéneas (desniveles del 20 al 40%). Una explicación parecida puede darse para la curvatura del terreno; la forma de la ladera parece ser menos importante que el hecho de que se sitúe en una determinada exposición y altitud, y sea o no pastada. Por la segunda función las variables con más peso son la radiación solar, la elevación y los usos del suelo.

Tabla 4. Coeficientes estandarizados de las funciones discriminantes canónicas

	FUNCIONES	
VARIABLES	**1**	**2**
TOPOGRAFIA		
Elevación	0.212	0.271
Pendiente	-0.076	0.06
Curvatura	-0.001	-0.064
Radiación solar recibida	0.566	-0.478
USOS DEL SUELO EN 1957		
Pastizales subalpinos	0.302	-0.401
Bosques	0.081	-1.22
Campos abandonados	-0.064	-0.292
SERIES DE VEGETACION		
Serie del robledal	0.108	-0.16
Serie mesófila del pino silvestre	0.165	-0.131
Serie xerófila del pino silvestre	0.095	-0.129
Serie del pino negro	0.21	-0.19
OTROS FACTORES		
Distancia al bosque	0.209	0.101
Carga ganadera	0.466	0.15

La manera en que influyen las principales variables se incluye en las tablas 5 y 6. Respecto a la carga ganadera, se observa que las áreas con más presión son las que no han registrado cambios, mientras que la sucesión (fases 1, 2 y 3) se ha producido en áreas con menos presión del ganado. Los espacios que reciben mayor radiación solar, es decir las solanas, son también los que experimentan menos cambios. Estos resultados manifiestan que el avance de las etapas seriales es muy lento, o no se produce, con el incremento de la presión ganadera y de la radiación solar incidente. Lógicamente el pastoreo del ganado es un factor de control destacado en el proceso de sucesión vegetal, como lo es la exposición. De ahí que las laderas solanas evolucionen más lentamente que las umbrías, porque la mayor radiación disminuye la humedad del suelo y somete a la vegetación a un estrés hídrico, lo que limita la presencia de especies o ralentiza su cre-

Tabla 5. Relación entre los grados de cambio de cubierta vegetal y varias variables independientes

Gradación	**Carga ganadera (UGM)**	**Radiación solar (10 Kj/m^2)**	**Elevación (m)**	**Distancia al bosque (m)**
Sin cambios	0,83	752561	1593	878
Sucesión 1	0,29	686776	1259	613
Sucesión 2	0,19	618307	1131	794
Sucesión 3	0,46	699961	1412	560
Sucesión 4	0,63	696961	1080	505
Retroceso 1	0,57	731421	1396	750
Retroceso 2	0,44	772547	1215	302

Tabla 6. Relación entre los grados de cambio de cubierta vegetal y los usos del suelo en 1957 (Datos en %)

Gradación	**Pastos supraforestales**	**Bosques**	**Campos abandonados**	**Cultivos**
Sin cambios	91,7	67,8	20,8	61
Sucesión 1	4	27,9	44	12,4
Sucesión 2	1,6	0	34,1	22,3
Sucesión 3	1,4	0	1	1,5
Sucesión 4	0	0	0	2,7
Retroceso 1	1,3	4,1	0,1	0
Retroceso 2	0	0,2	0	0

cimiento. Además, hay que tener en cuenta que las laderas expuestas al sur se cultivaron mucho más que las umbrías (Lasanta, 1988), presentando los suelos un mayor déficit de fertilidad, como herencia de su uso pasado (consumo de nutrientes durante la fase de cultivo) y del abandono posterior (pérdida de suelo tras el cese agrícola) (Ruiz Flaño, 1993; Lasanta y García-Ruiz, 1999).

La mayor distancia al bosque y la mayor elevación son también otras características que retrasan la sucesión vegetal; en el primer caso, por la poca presencia de semillas de árboles para germinar, y en el segundo caso por el acortamiento del ciclo vegetativo. En este sentido, los pastos subalpinos constituyen el uso del suelo que menos ha cambiado, ya que al corto periodo vegetativo de las áreas en que se localizan (por encima de los 1500 m) se une el pastoreo intensivo durante el verano, especialmente en los pastos más bajos y accesibles (Remón, 1997).

El proceso de sucesión vegetal (Tabla 6), como ya se señaló anteriormente, ha tenido lugar preferentemente en los campos abandonados, en los que el 44% han dado un paso en la sucesión vegetal, el 34,1% dos pasos, y sólo el 20,8% siguen en el mismo estadio. Los pastos subalpinos, por el contrario, son los que menos han evolucionado.

En la Fig. 5 se refleja gráficamente la distribución de las variables en relación con las dos primeras funciones. Las áreas con sucesión vegetal se agrupan en los valores negativos de la Función 1, mientras que las áreas sin cambio aparecen en los valores positivos. Las zonas sin cambios se sitúan próximas a factores como la radiación solar incidente, presión ganadera, distancia al bosque, elevación, pastos subalpinos y en el dominio de la serie pino negro. La Función 2 muestra la separación entre los espacios con sucesión 1 (valor negativo) y los de sucesión 2, 3 y 4 (valores positivos). La elevación y la distancia al bosque parecen los factores que más contribuyen a explicar un ritmo rápido en la sucesión vegetal. Por último, hay que señalar que las áreas con retroceso (especialmente las de gradación 2) se desvinculan bastante de las variables independientes analizadas, lo que resulta lógico si tenemos en cuenta la escasa superficie afectada y que se trata de una actuación antropogénica casi siempre puntual.

5. Discusión y conclusiones

Entre los resultados obtenidos en este trabajo se ha señalado que el 45% del territorio del Valle de Borau cambió de cubierta vegetal en la segunda mitad del siglo XX. Sólo el 3,5% experimentó un retroceso en las etapas seriales, coincidiendo con pequeñas talas forestales o desbroces para mejorar la calidad del pasto, mientras que el 41,5% del territorio avanzó siguiendo procesos de sucesión secundaria e incrementos de biomasa vegetal. Esta tendencia parece bastante general, a pequeña escala, en los países desarrollados, lo que se ha explicado por el calentamiento climático (Riebsame *et al.*, 1994). Diferentes autores han observado una tendencia ascendente y significativa de los valores de NDVI (Índice de Vegetación Normalizado), obtenidos de los satélites de observación terrestre, durante las dos últimas décadas. Existen buenas correlaciones entre los valores anuales de

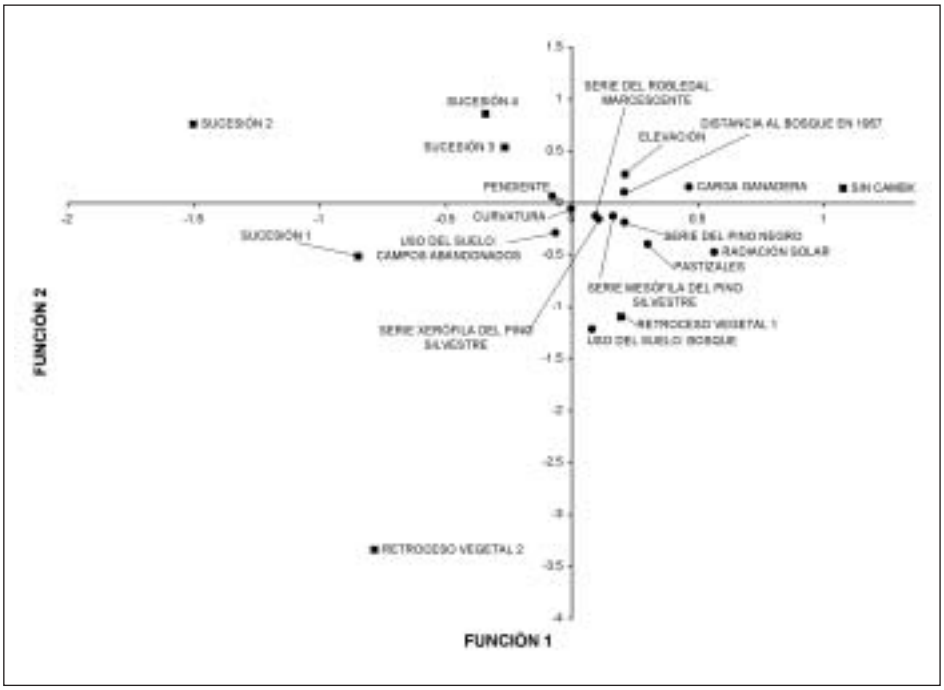

Figura 5. Distribución de las variables utilizadas en el análisis según las 1ª y 2ª funciones discriminantes canónicas

NDVI y la temperatura media anual y estacional, lo que les lleva a concluir que el incremento térmico es el principal causante de la evolución positiva de la biomasa vegetal (Kawabata *et al.*, 2001; Mynenni *et al.*, 1997; Luncht *et al.*, 2002). Otros autores llegan a resultados parecidos estudiando territorios más pequeños, pero en su explicación destacan la influencia del hombre (Fuller, 1998; Pelkey *et al.*, 2000).

En las montañas mediterráneas la intensa deforestación de las laderas durante siglos y la marginación profunda de la mayor parte de ellas durante el siglo XX parece la causa fundamental de los procesos de revegetación recientes (Pérez-Chacón y Vabre, 1987; Ramankutty y Foley, 1999; Vicente Serrano *et al.*, 2004). Un buen ejemplo de dicha dinámica es la ocurrida en el Valle de Borau, donde desde principios del siglo XX se asiste a la disminución progresiva de la presión humana sobre el territorio. El espacio agrícola se liberó de su función básica (alimentar a la población) a medida que la emigración hacia las ciudades iba aumentando y conforme los intercambios de productos entre la montaña y el llano eran más fluidos. A la vez, el sistema trashumante, que había permitido elevados censos de ovino durante siglos, fue declinando hasta desaparecer en Borau en las primeras décadas del siglo XX. En estas condiciones, la explotación del territorio se concentró en un espacio muy reducido (los fondos de valle cultivados con prados y las áreas más accesibles de los pastos subalpinos), mientras que la mayor parte

de las laderas experimentaron un claro proceso de extensificación productiva e incluso abandono total de algunas áreas (Vicente-Serrano, 2001). El espacio cultivado perdió 1.597 ha (el 95,3% de su superficie) y la presión ganadera se redujo en 598 UGM (el 73%) a lo largo del siglo XX (Lasanta *et al.*, 2000).

La marginación productiva de la mayor parte del territorio favoreció un intenso proceso de revegetación con avances muy significativos de los matorrales y de los bosques de pinos, fundamentalmente. Así, el bosque pasó de ocupar 1.059 ha en 1957 a 2.271,4 ha (el 54,3% de la extensión total del valle) en 2000, mientras que el espacio agrícola (el uso dominante a principios de siglo con el 43% de la superficie total) quedó reducido al 4,7% (196,8 ha). Se pasó de un paisaje muy antropizado a otro de rasgos mucho más naturales (Lasanta *et al*, 2005), un proceso seguido también por otros valles del Pirineo occidental (Lasanta, 2005; Lasanta *et al.*, 2006).

El espacio agrícola abandonado es el que más ha cambiado de cubierta vegetal. De las 1.402 ha de campos abandonados que había en 1957, sólo 370 (el 26,4%) mantienen la misma cubierta vegetal, mientras que el resto han evolucionado hacia fases más avanzadas. La literatura científica señala que la sucesión secundaria en campos agrícolas abandonados es un proceso natural que ocurre tras el cese del cultivo, por el cual se instala una vegetación progresivamente más madura y estable (Van der Maarel 1988; Tatoni *et al.*, 2004; Gallego-Fernández *et al.*, 2004). En el Pirineo Central el proceso es muy conocido gracias a los estudios de Montserrat (1990) y Molinillo *et al.*, (1997): En la primera fase entran herbáceas presentes como malas hierbas en los campos de cultivo y ruderales; a los 3-5 años aparecen los primeros pies de *Genista scorpius* en los márgenes de los campos, mientras que en el sector central crecen rosales de forma aislada. *Genista scorpius* avanza progresivamente hacia el interior de los campos hasta cubrirlos completamente a los 25-30 años. A partir de los 50-60 años los pies más viejos de *Genista scorpius* mueren y se inicia la invasión de algunos arbustos como bojes (*Buxus sempervirens)* y enebros (*Juniperus communis*). Entre los 60-100 años se expanden *Buxus sempervirens*, *Juniperus communis* (estos últimos sobre todo en áreas quemadas de forma reiterativa) y *Pinus sylvestris*, a la vez que la regresión de *Genista scorpius* es muy manifiesta. En campos con más de 100 años de abandono los bojes pierden presencia al igual que las aliagas, mientras que abundan enebros y pinos, y aparecen las primeras plántulas de quejigos. En parcelas con poco suelo dominan *Prunus spinosa* y *Crataegus monogyna*.

El modelo de sucesión secundaria descrito no ha tenido lugar en algunos campos que se cultivaron en laderas muy marginales (convexidades y fuertes pendientes), lo que llevó a que en el momento del abandono los suelos tuvieran muy baja fertilidad. Además, con posterioridad fueron quemadas de manera recurrente para incrementar los pastos en laderas bajas, lo que favoreció aún más la degradación del suelo (Lasanta, 1989; Ruiz Flaño, 1993). En estas condiciones, la colonización vegetal ha sido muy lenta; transcurridos alrededor de 100 años desde su abandono mantienen una cubierta de aliagas y apenas se ha instalado algún pino de escaso porte. *Genista scorpius* permanece en los campos durante muchísimo tiempo, hasta que la fertilidad del suelo es suficiente para el desarrollo de otros matorrales, que se ven beneficiados de esta forma por la capacidad

de la aliaga para fijar nitrógeno de la atmósfera (Papió y Trabaud, 1991). Conviene, pues, resaltar el destacado papel de *Genista scorpius* en la colonización de áreas poco fértiles, al ser una planta muy frugal, de pobre consumo de nutrientes, y de muy buena adaptación a climas con una marcada sequía estival (Lasanta *et al.*, 2006).

Además de los cambios de cubierta vegetal en campos abandonados hay que tener en cuenta los habidos en las áreas de matorral localizadas en laderas bajas y medias, que han progresado hacia bosques más o menos densos. También se han producido avances en el espacio forestal, con el surgimiento de nuevos perímetros (debidos a la política de reforestación) y la densificación de las manchas boscosas ya existentes. Esto último tiene mucho que ver, como han señalado Poyatos *et al*. (2003), con la pérdida de utilidad de los productos del bosque que han sido sustituidos progresivamente por otras fuentes de energía y materiales. También los cambios de gestión ganadera (menor carga y razas menos adaptadas al pastoreo en laderas) y una política poco partidaria de explotar el bosque, lo han favorecido (Balcells, 1985; Marraco y Rubio, 1992; González Martínez y Bravo, 2001). Los cambios más modestos han ocurrido en los bosques ya maduros y en los pastos de verano. En definitiva, se comprueba que los mayores cambios de vegetación coinciden con las áreas más utilizadas por el hombre en el pasado y más marginadas en la actualidad.

El proceso de sucesión secundaria en el valle de Borau se caracteriza por un avance moderado, casi siempre de 1 estadio, en bosques y en pastos subalpinos. Ello se explica por la lentitud del proceso y por el escaso tiempo transcurrido desde que se relajó la presión humana sobre el territorio. Tan sólo los campos abandonados progresan más rápidamente; así el 34,1% de los abandonados ya en 1957 ha cubierto al menos 2 estadios, y 3 estadios el 1%. También el 22,3% de los que se abandonaron con posterioridad a 1957 ha avanzado 2 estadios, y 3 estadios el 1,5%. El ritmo más rápido de cambio de cubierta en campos abandonados se debe, por un lado, a que las primeras fases de sucesión vegetal (herbáceas, matorral claro y matorral denso) son relativamente rápidas (en 30 años), mientras que el paso de matorral denso a bosque claro requiere más de 50 años (Montserrat, 1990; Molinillo *et al.*, 1997). Por otro lado, hay que tener en cuenta que los campos abandonados, seguidos por las áreas de matorral, son los usos del suelo que registran mayor incremento de NDVI, con índices muy superiores a los registrados en bosques (Vicente-Serrano *et al.*, 2003).

La gradación en el proceso de sucesión vegetal está condicionada, fundamentalmente, por dos variables: la presión ganadera y la radiación solar incidente. Lógicamente, a una menor carga ganadera corresponde una más rápida evolución de la cubierta vegetal, mientras que en áreas muy pastoreadas el ganado interrumpe la sucesión secundaria y la sitúa en estadios anteriores (Camel y Kadmon, 1999). La elevada influencia de la radiación solar se explica, quizás, por la situación del área de estudio en exposición Sur, lo que hace que las altas temperaturas y la escasez de agua sean factores muy limitantes para que la vegetación progrese de forma rápida. De hecho, los ritmos de sucesión son más lentos en las solanas que en las umbrías, donde el déficit de agua es menor. En este sentido, Errea (2004) y Seeger *et al.* (2004), en estudios realizados también en el valle de Borau, señalan que la mayor o menor radiación y el grado de cobertura vegetal son los factores más condicionantes de la humedad del suelo.

Algunas variables topográficas parecen jugar un papel menos importante. Ello puede deberse a que quedan bastante desdibujadas por otras; así el grado de inclinación ejerce un fuerte control sobre la radiación solar incidente. De igual forma, la pendiente, la altitud y la forma de la ladera condicionan el uso del suelo y el grado de utilización. De hecho, las pendientes suaves son las áreas más pastadas, tanto cuando se trata de prados como de pastos subalpinos, ya que el ganado tiene preferencia por las áreas cóncavas y llanas, relegando otro tipo de laderas y especialmente las muy inclinadas (García-González *et al.*, 1990). Por otro lado, se ha señalado que el papel de la topografía es más importante a escala fina que a escala de valle, ya que condiciona la distribución del suelo y del agua (Thomlinson *et al.*, 1996; del Barrio *et al.*, 1997; Donnegan y Rebertus, 1999; Pan *et al.*, 1999). En este sentido, Gallart *et al.* (1994) han comprobado en la cuenca del Vallcebre (Prepirineo Catalán) que una cubierta de pinos cubre la parte interior de campos abancalados abandonados, mientras que las partes medias y bajas están cubiertas por pastos. Los mismos autores explican que el aterrazamiento de las laderas introduce modificaciones en el funcionamiento hidrológico y, consecuentemente, en la humedad del suelo. En consecuencia, las partes con más déficit de agua están colonizadas por pastos y las más húmedas por pinos.

Una vez más se comprueba la fuerte interrelación entre condiciones físicas y gestión humana en áreas de montaña, lo que aconseja contemplar ambos conjuntos de variables en la interpretación de los cambios recientes de cubierta vegetal. Estos no pueden explicarse sólo por factores ambientales, sino también por el peso de los usos del suelo a lo largo de la Historia, las prácticas de gestión y la marginación actual de las laderas, manifestada especialmente en el abandono de campos de cultivo (Pascarella *et al.*, 2000). La sucesión secundaria es un proceso de autoorganización del sistema que conduce hacia estadios cada vez más maduros, en el que los ritmos y fases de evolución de la cubierta vegetal están controlados por la sinergia de factores ambientales y las herencias dejadas por el hombre en el territorio.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco de los proyectos de investigación GGL2005-04863/CLI y CGL2005-04508/BOS, financiados por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, PIP098/2005 y PIP176/2005, financiados por el Gobierno de Aragón. Ha contado también con el apoyo de la Diputación General de Aragón al Grupo de Excelencia “Geomorfología y Cambio Global”, y del Ministerio de Medio Ambiente a través de la RESEL.

Referencias bibliográficas

ARROYO, J. y MARAÑÓN, T. (1990). Community ecology and distribution spectra of Mediterranean shrublands and heathlands in Southern Spain. *Journal of Biogeography*, 17: 163-176.

BALCELLS, E. (1985). Reciente transformación de la cabaña ganadera. *III Coloquio Nacional de Geografía Agraria*. Asociación de Geógrafos Españoles: 163-237, Cáceres.

BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., LORENTE, A., SEEGER, M. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2003). Assessing the effects of climate oscillations and land-use changes on streamflow in the Central Spanish Pyrenees. *Ambio*, 32 (4): 283-286.

CAMEL, Y. y KADMON, R. (1999). Effects of grazing and topography on long-term vegetation changes in a Mediterranean ecosystem in Israel. *Plant Ecology*, 145: 243-254.

DEBUSCHE, M., ESCARRE, J., LEPART, J., HOUSSARD, C. y LAVOREL, S. (1996). Changes in mediterranean plant succession: old field revisited. *Journal of Vegetation Science*, 7: 519-526.

DE LA RIVA, J. (1997). *Los montes de la Jacetania. Caracterización física y explotación forestal.* Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón: 358 pp., Zaragoza.

DEL BARRIO, G. y ALVERA, B., PUIGDEFÁBREGAS, J., DÍEZ, C. (1997). Response of high mountain landscape to topographic variables: Central Pyrenees. *Landscape Ecology*, 107: 93-102.

DONNEGAN, J.A. y REVERTUS, A.J. (1999). Rates and mechanisms of subalpine forest succession along an environmental gradient. *Ecology*, 80: 1370-1384.

DOUGUEDROIT, A. (1981). Reafforestation in the French Southern Alps. *Mountain Research and Development*, 1 (3-4): 245-252.

DUPIAS, G., IZARD, M.M. y MONTSERRAT, P. (1982). *Carte de la végétation de la France, 76 (Luz)*. Centre d'Ecologie des Ressources Renouvables. Toulouse.

ERREA, M.P. (2004). Factores que controlan la humedad del suelo en una cuenca de campos abandonados del Pirineo Central. En: *Territorio y Medio Ambiente. Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica* (C. Conesa y J.B. Martínez Guevara, Eds). Universidad de Murcia, pp. 165-166, Murcia.

FERNÁNDEZ-ALÉS, R., MARAÑÓN, T., FIGUEROA, M.E. y GARCÍA-NOVO, F. (1984). Interacciones entre geomorfología e intervención humana sobre la composición del matorral en la cuenca del río Guadalupejo (Extremadura). *Studia Oecológica*, 3: 35-53.

FULLER, D.O. (1998). Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987-1993. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (10): 2013-2018.

GALLART, F., LLORENS, P. y LATRÓN, J. (1994). Studying the role of old agricultural terraces on runoff generation in a small Mediterranean mountainous basin. *Journal of Hydrology*, 159: 291-303.

GALLART, F. y LLORENS, P. (2004). Observations on land cover changes and water resources in the headwaters of the Ebro catchment, Iberian Peninsula. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29 (11-12): 769-773.

GALLEGO-FERNÁNDEZ, J.B., GARCÍA-MORA, M.R. y GARCÍA-NOVO, F. (2004). Vegetation dynamics of Mediterranean shrublands in former cultural landscape at Grazalema Mountains, South Spain. *Plant Ecology*, 172: 83-94.

GARCÍA-GONZÁLEZ, R., HIDALGO, R. y MONTSERRAT, C. (1990). Patterns of livestock use and time and space in the summer ranges of the Western Pyrenees: A case study in the Aragon Valley. *Mountain Research and Development*, 10 (3): 241-255.

GARCÍA-RUIZ, J.M. y PUIGDEFÁBREGAS, J. (1982). Formas de erosión en el flysch eoceno surpirenaico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 8: 85-128.

GARCÍA-RUIZ, J.M. y VALERO, B. (1997). Procesos geomórficos históricos y su relación con la actividad humana en el Pirineo Central español. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 22-23: 33-56.

GROVE, A.T., (1996). The historical context: Before 1850. In: *Mediterranean Desertification and Land Use* (C. J. Brandt and J. B., Thornes, Eds). Wiley and Sons: 13-28, Chichester.

GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, S.C., BRAVO, F. (2001). Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris L.*) in the High Ebro Basin (Northern Spain). *Annales des Sciences Forestières*, 58: 277-288.

IBARRA, P. y DE LA RIVA, J.R. (1995). Dinámica de la cubierta del suelo como resultado de la despoblación y de la intervención del Estado: el Valle de la Garcipollera (Huesca). En: *Pueblos abandonados ¿un mundo perdido?* (J.L. Acín Fanlo y V. Pinilla, Eds). Rolde de Estudios Aragoneses, pp. 117-140, Zaragoza.

KAWABATA, A., ICHII, K. y YAMAGUCHI, Y. (2001). Global monitoring of interannual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (7): 1377-1382.

LAGUNA, M. (2004). *Variabilidad espacial de las políticas de desarrollo rural y de protección ambiental en la gestión del territorio del Pirineo Aragonés*. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

LASANTA, T. (1988). The process of desertion of cultivated areas in the Central Spanish Pyrenees. *Pirineos*, 132: 15-36.

LASANTA, T. (1989). *Evolución reciente de la agricultura de montaña: El Pirineo Aragonés*. Geoforma Ediciones: 220 pp., Logroño.

LASANTA, T. (1990). Tendances actuelles de l'organisation spatiale des montagnes espagnoles. *Annales de Géographie*, 551: 51-71.

LASANTA, T. (2005). Gestion des champs abandonnés pour le développement de l'élevage extensif dans les Pyrénées centrales espagnoles. *Sud-Ouest Européen*, 19: 109-119.

LASANTA, T. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (1999). Exportación de solutos desde diferentes usos del suelo. Estudio experimental en el Pirineo central español. *Geographicalia*, 37: 105-122.

LASANTA, T., VICENTE-SERRANO, S.M. y CUADRAT, J.M. (2000). Marginación productiva y recuperación de la cubierta vegetal en el Pirineo: un caso de estudio en el valle de Borau. *Boletín de la A.G.E.*, 29: 5-28.

LASANTA, T., VICENTE-SERRANO, S.M. y CUADRAT, J.M. (2005). Mountain Mediterranean landscape evolution caused by the abandonment of traditional primary activities: a study of the Spanish Central Pyrenees. *Applied Geography*, 25: 47-65.

LASANTA, T., GONZÁLEZ-HIDALGO, J.C., VICENTE SERRANO, S.M. y SFERI, E., (2006). Using landscape ecology to evaluate an alternative management scenario in abandoned Mediterranean mountainous areas. *Landscape and Urban Planning*, 78: 101-114.

LUCHT, W., PRENTICE, I.C., MYNENI, R.B., SITH, S., FREDLINGSTEIN, P., CRAMER, W., BOUSQUET, P., BUERMANN, W. y SMITH, B. (2002). Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and Pinatubo effect. *Science*, 296: 1687-1689.

MACDONALD, D., CRABTREE, J.R., WIESINGER, G., DAX, T., STAMOU, N., FLEURY, P., GUTIÉRREZ-LAZPITA, J. y GIBÓN, A. (2000). Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: environmental consequences and policy response. *Journal Environmental Management*, 59: 47-69.

MARGALEF, R. (1974). *Ecología*. Omega: 951 pp., Barcelona.

MARGARIS, N.S., KOUTSIDOU, E. y GIOURA, CH. (1996). Changes in traditional mediterranean land-use systems. In: *Mediterranean Desertification and Land Use* (J. Brandt and J. B., Thornes, Eds). Wiley and Sons: 29-42, Chichester.

MARRACO, S., RUBIO, M.T. (1992). Crisis en la explotación del bosque pirenaico. *El Campo*, 120: 40-44.

MOLINILLO, M., LASANTA, T. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (1997). Managing mountainous degraded landscape after farmland abandonment in the Central Spanish Pyrenees. *Environmental Management*, 21 (4): 587-598.

MONTSERRAT, G. (1990). *Estudio de la colonización vegetal de los campos abandonados del valle de Aísa (Jaca, Huesca)*. Informe del Proyecto Lucdeme: Erosión y colonización vegetal en campos abandonados: 77 pp., Jaca.

MONTSERRAT, J. (1992). *Evolución glaciar y postglaciar del clima y la vegetación en la vetiente sur del Pirineo: Estudio palinológico*. Instituto Pirenaico de Ecología, pp. 147, Zaragoza.

MONTSERRAT, P. (1971). El ambiente vegetal Jacetano. *Pirineos*, 101: 5-22.

MYNNENI, R.B., KEELING, C.D., TUCKER, C.J., ASRAR, G. y NEMANI, R.R. (1997). Increase plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. *Nature*, 386: 698-702.

NAVEH, Z. (1982). Mediterranean landscape evolution and degradation as multivariate biofunctions: theoretical and practical implications. *Landscape Planning*, 9: 125-146.

OJEDA, F., MARAÑÓN, T. y ARROYO, J. (1996). Post fire regeneration of a Mediterranean Heathland in Southern Spain. *International Journal of Wildland Fire*, 6: 191-198.

ORTIGOSA, L. (1990). Las repoblaciones forestales como estrategia pública de intervención en regiones degradadas de montaña. En: *Geocología de las áreas de montaña* (J.M. García-Ruiz, ed.). Geoforma Ediciones, pp., 297-311, Logroño.

PAN, D.Y., DOMON, G., DE BLOIS, S. y BOUCHARD, A. (1999). Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes. *Landscape Ecology*, 14: 35-52.

PAPIÓ, C. y TRABAUD, L. (1991). Comparative study of the aerial structure of five shrubs of Mediterranean shrublands. *For Science*, 37: 146-159.

PARDO, F. y GIL, L. (2005). The impact of traditional land use on woodlands: a case study in the Spanish Central System. *Journal of Historical Geography*, 31(3): 390-408.

PASCARELLA, J.B., AIDE, T.M., SERRANO, M.I. y ZIMMERMAN, J.K. (2000). Land-use history and forest regeneration in the Cayey mountains, Puerto Rico. *Ecosystems*, 3: 217-228.

PAUSAS, J.G. (1999). Mediterranean vegetation dynamics: modelling problems and functional types. *Vegetatio*, 69: 109-114.

PELKEY, N.W., STONER, C.J. y CARO, T.M. (2000). Vegetation in Tanzania: assessing long term trends and effects of protection using satellite imagenery. *Biological Conservation*, 94: 297-309.

PÉREZ-CHACÓN, E. y VABRE, S. (1987). Cartographie de l'enfrichement: 1841-1985. L'exemple de la soulane Faup-Haut Couserans (Pyrénées francaises). *Pirineos*, 129: 59-78.

PONS, X. (1996). Estimación de la radiación solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica. *VIII Coloquio de Geografía Cuantitativa*. Asociación de Geógrafos Españoles: 87-97, Vitoria.

POYATOS, R., LATRÓN, J. y LLORENS, P. (2003). Land-use and land cover change after agricultural abandonment. The case of a Mediterranean Mountain Area (Catalan Pre-Pyrenees). *Mountain Research and Development*, 23 (4): 52-58.

RAMANKUTTY, N. y FOLEY, J.A. (1999). Estimating historical changes in global land cover: croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*, 13(4): 997-1027.

REMÓN, J.L. (1997). *Estructura y producción de pastos en el Alto Pirineo occidental*. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra.

REMÓN, J.L. y ALVERA, B. (1989). Biomasa y producción herbácea en un puerto pirenaico de verano. *Options méditerranéennes. Jornadas sobre bases ecológicas para la gestión en ecosistemas terrestres*: 289-292, Zaragoza.

RIVAS MARTÍNEZ, S. (1987). *Mapa de series de vegetación de España*. ICONA, Madrid.

RIEBSAME, W.E., MEYER, W.B. y TURNER, B.L. (1994). Modelling land use and cover as part global environmental change. *Climatic Change*, 28: 1-10.

ROMERO-CALCERRADA, R. y PERRY, G.L.W. (2004). The role of land abandonment in landscape dynamics in the SPA Encinares del río Alberche y Cofío, Central Spain, 1984-1999. *Landscape and Urban Planning*, 66(4): 217-232.

RUIZ FLAÑO, P. (1993). *Procesos de erosión en campos abandonados del Pirineo*. Geoforma Ediciones: 191 pp., Logroño.

SEEGER, M., ERREA, M.P., BEGUERÍA, S., ARNÁEZ, J., MARTÍ, C. y GARCÍA-RUIZ, J.M. (2004). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. *Journal of Hydrology*, 288: 299-311.

SERRA, P., PONS, X. y SAURÍ, D. (2003). Post-classification change detection with data from different sensors: some accuaracy considerations. *International Journal of Remote Sensing*, 24: 3311-3340.

SOLER, M. y PUIGDEFÁBREGAS, C. (1972). Esquema litológico del Alto Aragón Occidental. *Pirineos*, 106: 5-15.

TATONI, T. y ROCHE, P. (1994). Comparison of old field and forest revegetation dynamics in Provence. *Journal of Vegetation Science*, 5: 295-302.

TATONI, T., MÉDAIL, F., ROCHE, P. y BARBERO, M. (2004). The impact of changes in land use on ecological patterns in Provence (Mediterranean France). En: *Recent Dynamics of the Mediterranean Vegetation and Landscape* (S, Mazzoleni, G. di Pasquale, M. Mulligan, P. di Martino and F. Rego). John Wiley & Sons, Ltd.: 107-120.

THOMLINSON, J.R., SERRANO, M.I., LÓPEZ, T.M., ALDE, T.M. y ZIMMERMAN, J.K. (1996). Land-use dynamics in a post-agricultural Puerto Rican landscape (1938-1988). *Biotrica*, 28: 525-536.

TRABAUD, L. (1981). Man and fire: impacts on Mediterranean vegetation. In: *Mediterranean-type shrublands* (Di Castri, F., Goodall, D.W. and Specht, R.L., eds). Elsevier, pp. 523-538, Amsterdam.

UBALDE, J.M., RIUS, J. y POCH, R.M. (1999). Monitorización de los cambios de uso del suelo en la cabecera de cuenca de la Ribera Salada mediante fotografía aérea y SIG. (El Solsonés; Lleida, España). *Pirineos*, 153-154: 101-122.

VAN DER MAAREL, E. (1988). Vegetation dynamics: patterns in time and space. *Vegetatio*, 77: 7-19.

VICENTE-SERRANO, S.M. (2001). *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*. Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón, 30: 181 pp., Zaragoza.

VICENTE-SERRANO, S.M., LASANTA, T. y ROMO, A. (2003). Diferencias espaciales en la evolución del NDVI en la cuenca alta del Aragón: efectos de los cambios de uso del suelo. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 29: 51-66.

VICENTE-SERRANO, S.M., LASANTA, T. y ROMO, A. (2004). Analysis of spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Spanish Central Pyrenees: Role of human management. *Environmental Management*, 34: 802-818.

VILLAR, L. (1982). La vegetación del Pirineo Occidental. *Principe de Viana* (Suplemento de Ciencias). Institución Principe de Viana: 263-433, Pamplona.