

SERGIO M. VICENTE SERRANO\*, TEODORO LASANTA\*\* Y ALFREDO ROMO\*\*\*

\* Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza.

\*\* Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC)

\*\*\* Laboratorio de Teledetección. Departamento de Física Aplicada I. Universidad de Valladolid

## *Variabilidad espacial y diferencias estacionales en la producción vegetal de los usos del suelo en el Pirineo Central Español*

### RESUMEN

Se analiza la actividad vegetal y la producción estacional de biomasa de los usos del suelo en la cuenca del río Aragón (Pirineo central). A partir de una serie de imágenes del satélite NOAA (1993-2000) se calcula el índice de vegetación normalizado (NDVI) estacionalmente y su coeficiente de variación en los ocho usos del suelo más representativos del área de estudio. Los resultados muestran claros contrastes estacionales, lo que permite discutir sobre la estrategia más adecuada de aprovechamiento de los recursos vegetales con ganadería extensiva.

### RÉSUMÉ

*Variabilité spatiale et différences saisonnières dans la production végétale des usages du sol dans les Pyrénées Centrales Espagnoles.*- On analyse l'activité végétale et la production saisonnière de biomasse des usages du sol à l'intérieur du bassin du fleuve Aragón (Pyrénées Centrales Espagnoles). Une série d'images du satellite NOAA (1993-2000) permet de calculer l'Index Saisonnier de Végétation Normalisé (NDVI) et son coefficient de variation pour les huit usages du sol le plus représentatifs de l'aire étudiée. Les résultats révèlent des opposi-

tions évidentes, ce qui permet la discussion sur l'estrategie la plus convenable d'utilisation des ressources végétales avec le bétail en régime extensif.

### ABSTRACT

*Spatial variability and seasonal changes in the vegetal productivity of land uses in the Central Spanish Pyrenees.*- This paper analyses vegetal activity and seasonal biomass productivity of the land uses in the Aragón basin river (Spanish Central Pyrenees). Using a multitemporal series of NOAA-AVHRR images from 1993 to 2000, we calculated the mean NDVI and its coefficient of variation for the eight most representative land uses in the study area. The results show important spatial and seasonal changes in the mean NDVI values. Better strategies for vegetal resource management and use, by means of extensive livestock, are discussed.

### Palabras clave / Mots clé / Key words

NDVI, usos del suelo, teledetección, Pirineo, España.

NDVI, usages du sol, télédétection, Pyrénées, Espagne.

NDVI, landuses, remote-sensing, Pyrenees, Spain.

### I

### INTRODUCCIÓN

ENTRE las características que definen a las áreas de montaña se encuentra el escalonamiento de usos del suelo. Este hecho implica que exista una gran varie-

dad de recursos (agrícolas, ganaderos, forestales, turísticos, hídricos, paisajísticos...) y una enorme diversidad ecológica en espacios muy reducidos, que hacen de la montaña un territorio de gran valor ambiental y económico. Junto a la variedad de recursos hay que tener en cuenta que su disponibilidad presenta una clara estacio-

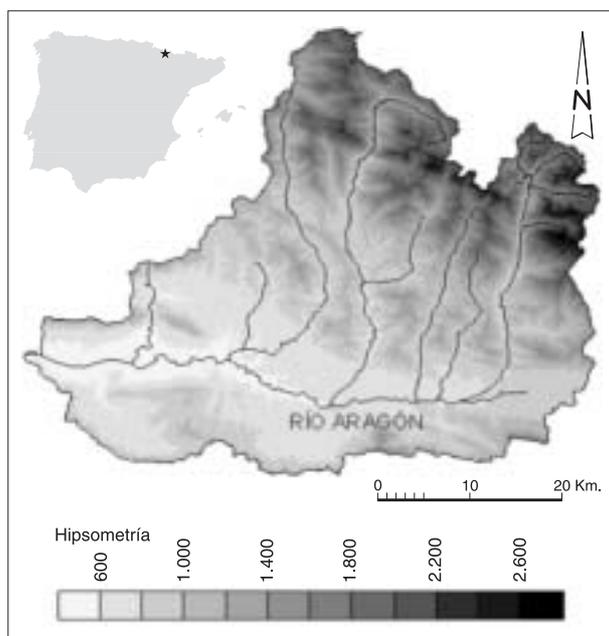


FIG. 1. Área de estudio.

nalidad y un desequilibrio en la oferta a lo largo del año. Los sistemas de gestión tienen que conocer dicha estacionalidad para un mejor aprovechamiento y para tratar de equilibrar el balance temporal de recursos.

Los sistemas tradicionales de gestión se han basado en el uso integral de los recursos, lo que implicaba su aprovechamiento en el momento de su óptimo productivo. De esta forma, con los recursos propios fue posible mantener elevados censos ganaderos y mayores densidades demográficas que en la actualidad (PUIGDEFÁBREGAS y BALCELLS, 1970; PUIGDEFÁBREGAS y FILLAT, 1986; LASANTA, 1990). En el Pirineo Central, en concreto, los fondos de valle y las laderas próximas eran aprovechados con cultivos que se destinaban a la alimentación del hombre y, en menor medida, del ganado (LASANTA, 1989). Los bosques, tanto de coníferas como de frondosas, eran explotados para la obtención de leña y madera (PUIGDEFÁBREGAS, 1981; DE LA RIVA, 1997), para la alimentación del ganado (FILLAT, 1980) y para el cultivo de patatas y centeno (VIOLANT, 1949; BALCELLS, 1976; DAUMAS, 1976). Por encima, el nivel de pastos supraforestales servía para alimentar al ganado durante el verano, con movimientos ascendentes y descendentes buscando la máxima producción herbácea (PUIGDEFÁBREGAS y BALCELLS, 1966; GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.*, 1990). El sistema socioeconómico tradicional del Pirineo se asentaba, pues, en la producción de bio-

masa vegetal que, de forma natural o por intervención humana, generaban los usos del suelo.

En la actualidad, el aprovechamiento del Pirineo y de la montaña española en general es escaso (LASANTA y RUIZ, 1990; GARCÍA-RUIZ y LASANTA, 1990). El éxodo rural, el abandono y la subutilización de grandes extensiones de tierras ha reactivado procesos de sucesión vegetal que tienden a homogeneizar el paisaje y a degradar el potencial económico y ecológico de los recursos vegetales (VICENTE *et al.*, 2000a; LASANTA *et al.*, 2000; UBALDE *et al.*, 1999). En este sentido, diferentes iniciativas propugnan por un aprovechamiento de los recursos que evite la despoblación de la montaña (BAUDRY, 1991) y que, desde planteamientos ecológicos y paisajísticos, incentive el aprovechamiento ganadero de los pastos, para evitar su degradación y la homogeneización vegetal (RODRÍGUEZ MERINO *et al.*, 1998; FERRER y BROCA, 1999; ZORITA, 1991); aspectos que implican la pérdida de diversidad paisajística (VICENTE *et al.*, 2000a), el incremento del riesgo de incendios (VICENTE *et al.*, 2000b) y la erosión del suelo (CERDÀ y LASANTA, 2002). Por otro lado, se insiste recientemente en la necesidad de buscar modelos de desarrollo local, como fórmula más adecuada para obtener productos diferenciados de calidad que puedan competir en el mercado (RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, 1999), lo que en el Pirineo exige aprovechar la producción vegetal y su estacionalidad, al constituir su recurso natural fundamental. Por último, conviene no olvidar que el cubrimiento vegetal y su ritmo de actividad tienen enormes implicaciones hídricas, ambientales y paisajísticas (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 2001; VICENTE, 2001).

En este trabajo se analiza la producción vegetal estacional y su variabilidad temporal en los usos del suelo del Pirineo central español. Se trata, por un lado, de conocer cuál es la distribución espacial de la producción de biomasa y su variabilidad estacional a lo largo del año y, por otro, de determinar el papel de los usos del suelo actuales en la distribución estacional de la actividad vegetativa. Los resultados pueden aportar información básica para posibles planes de desarrollo local y de gestión sostenible de los recursos naturales.

## II ÁREA DE ESTUDIO

El trabajo se ha realizado en la cuenca alta del río Aragón, en el Pirineo central español (Figura 1). La superficie de la cuenca es de 1.772 km<sup>2</sup>, con un amplio

rango de altitudes, de 2.886 metros sobre el nivel del mar en el Pico Collarada a menos de 500 en el embalse de Yesa, en la salida de la cuenca.

El relieve y la litología se organizan en bandas paralelas que siguen una dirección NO-SE (SOLER y PUIGDEFÁBREGAS, 1972). En la parte septentrional se localiza el Pirineo Axial, de litología paleozoica (calizas, esquistos y arcillas); inmediatamente al sur están las Sierras Interiores (de calizas y areniscas), donde se alcanzan las mayores altitudes de la cuenca, superando en los picos más elevados (Collarada, Aspes, Sierra Berneira...) los 2.500 m; a continuación aparece una amplia banda que corresponde al *flysch* eoceno, de relieve alomado, laderas de pendientes moderadas (entre el 20 y el 50% de desnivel) y altitudes comprendidas entre 800 y 2.200 m (GARCÍA-RUIZ y PUIGDEFÁBREGAS, 1982); finalmente, el sector más meridional corresponde a la Depresión Interior o Media, de litología margosa, suaves pendientes (inferiores al 20%) y altitudes entre 500 y 900 m.

La cuenca tiene un clima de transición entre las influencias atlánticas (norte y oeste) y mediterráneas (sur y este). En la Depresión Interior las precipitaciones son de 800 mm/año, incrementándose en el resto de la cuenca, y llegando a superar los 1500 mm por encima de los 1.500 m de altitud; la variabilidad intranual es muy alta, extendiéndose la estación húmeda de octubre a junio, con un máximo primaveral y otro secundario en otoño. La temperatura media es de 12 °C en la Depresión Interior, situándose durante la estación fría (de noviembre a abril) la isoterma de 0 °C a 1.549 m (GARCÍA-RUIZ *et al.*, 1985).

La gestión tradicional de este espacio se basó durante siglos en el aprovechamiento integral de los recursos para garantizar la alimentación de la población, en una economía de casi autoabastecimiento, con escasos intercambios con el exterior, y de un censo ovino muy elevado. Este hecho implicó importantes transformaciones en la vegetación natural, con la roturación de bosques para establecer áreas de cultivo y pastos para el ganado; los bosques de las laderas bajas (robles y pinos) fueron deforestados para el cultivo de cereales (LASANTA, 1989), mientras que los localizados a mayor altitud se convirtieron en zonas de pasto para su aprovechamiento estival por el ganado (MONTSERRAT, 1992; GARCÍA-RUIZ y VALERO, 1998; FERRER, 1988). El uso del territorio era discriminado en función de la potencialidad productiva y de las limitaciones ambientales de cada tesela, ya que la subsistencia de las explotaciones

y del grupo humano en su conjunto dependía del equilibrio entre la explotación y la conservación en el tiempo de los recursos naturales (PUIGDEFÁBREGAS y FILLAT, 1986).

A lo largo del siglo XX se produjo una fuerte extensificación en el aprovechamiento de los recursos, con un abandono masivo de las laderas cultivadas, un fuerte descenso de los censos ganaderos y un aprovechamiento de los recursos forestales muy bajo (LASANTA, 1989; DE LA RIVA, 1997). El resultado de todo ello fue un proceso de revetación muy intenso, con avances significativos de los matorrales de sucesión y del bosque (CHAUVÉLIER, 1987; GARCÍA-RUIZ, 1988; VICENTE, 2001). Lasanta y Errea (2001) han cartografiado los usos actuales del área de estudio, mostrando un escalonamiento desde el fondo de la cuenca hasta las altas cimas, sucediéndose esquemáticamente en altitud el espacio aún cultivado, los campos abandonados cubiertos por matorrales, los bosques mixtos de coníferas y frondosas, los pastos supraforestales y las áreas de «roca desnuda», donde se desarrollan algunas comunidades herbáceas (*Crepidium pyguraea*, *Saxifragium ajugifoliae*, *Saxifragium mediae*...) (MONTSERRAT, 1971).

### III METODOLOGÍA

Para el análisis de la producción vegetal en un sector tan amplio como el aquí estudiado es necesario contar con herramientas de análisis espacial que aporten información objetiva y continua, como lo hacen las imágenes de satélite. El análisis puede plantearse a dos escalas de trabajo en función de la resolución espacial de las imágenes de satélite disponibles. Imágenes de elevada resolución, como las de Landsat ETM+ o SPOT, permiten un análisis detallado de la distribución espacial de los recursos naturales (30 m o menos). Sin embargo, estas imágenes tienen una baja frecuencia temporal lo que, unido a la elevada nubosidad que suele cubrir al área objeto de estudio, limita la posibilidad de disponer del número adecuado de imágenes para analizar la distribución espacial de la producción vegetal. La variabilidad climática interanual puede hacer poco representativos los resultados generales obtenidos a partir de una o dos imágenes de satélite de una estación concreta. Este problema se soluciona utilizando imágenes de satélite de alta frecuencia temporal, que permiten disponer de registros en todos los meses durante varios años y, así, obtener promedios fiables y calcular la variabilidad temporal

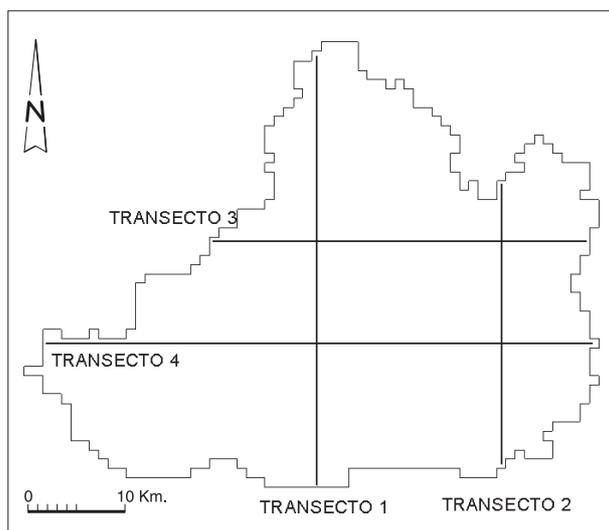


FIG. 2. Localización de los transectos.

de los diferentes espacios; el problema de estas imágenes radica, sin embargo, en su baja resolución espacial (generalmente 1 km<sup>2</sup>), lo que imposibilita realizar estudios de pequeñas superficies. Sin embargo, dicho problema constituye una limitación menor si la extensión del área analizada y los objetivos del estudio son muy amplios, como ocurre en este trabajo. Por ello, se ha empleado una serie de imágenes del satélite NOAA que abarca de 1993 a 2000, es decir, imágenes de baja resolución espacial y alta frecuencia temporal.

Dicha serie ha sido generada en el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV), donde las imágenes se reciben diariamente, son corregidas atmosférica y geoméricamente (ILLERA *et al.*, 1995) y se realiza un proceso de eliminación de la cubierta nubosa (DELGADO, 1991). Mediante la utilización de los canales 1 (rojo) y 2 (infrarrojo cercano) se calcula diariamente el índice de vegetación normalizado [NDVI = (Canal 2 - Canal 1) / (Canal 2 + Canal 1)]. La relación entre el NDVI y diferentes parámetros ecológicos y biológicos ha sido analizada por numerosos autores; Carlson y Ripley (1997) señalan que el índice de área foliar de la vegetación y el porcentaje de fracción vegetal está altamente relacionados con el NDVI; Diallo *et al.*, (1991) y Wylie *et al.*, (2002) indican estrechas relaciones entre el NDVI y la biomasa vegetal que producen los diferentes ecosistemas, por lo que se trata de un parámetro que caracteriza tanto la actividad como la producción de biomasa por parte de las comunidades vegetales.

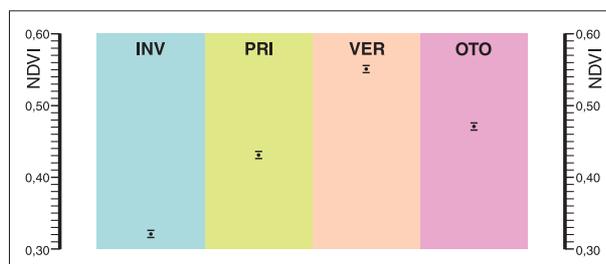


FIG. 3. Valores medios de NDVI y niveles de confianza. 1: Invierno (0,32), 2: Primavera (0,43), 3: Verano (0,55), 4: Otoño (0,47).

A partir de los datos diarios de NDVI se construyeron compuestos mensuales, de tal forma que se obtuvo una imagen de cada mes para el período 1993-2000, utilizando el valor máximo de las series diarias de NDVI (HOLBEN, 1986) para evitar posibles errores atmosféricos y orbitales en las series. Aquellos píxeles de las imágenes mensuales en las que en cuatro o más años se registró cubierta nival se reclasificaron a 0 en el mes correspondiente, considerándose áreas de actividad vegetal nula durante ese mes.

Se calcularon promedios y coeficientes de variación en cada uno de los meses del año con las imágenes de satélite de los ocho años estudiados. A continuación la información se georreferenció y se introdujo en un Sistema de Información Geográfica.

Considerando que la estación invernal la componen los meses de diciembre, enero y febrero, y los tres meses siguientes la primavera, y así, correlativamente, el resto de las estaciones, se seleccionó el mes central como representativo de cada estación. No se utilizaron promedios estacionales para evitar que las diferencias de cubierta nival en cada uno de los meses alterara los promedios en amplias áreas durante la estación invernal y primaveral.

La información final a partir de la que se realizaron los análisis fueron cuatro imágenes promedio de NDVI de enero (invierno), abril (primavera), julio (verano) y octubre (otoño), y otras cuatro imágenes del coeficiente de variación en los mismos meses. Estas imágenes están constituidas por 1.772 píxeles de información continua, representando tanto el valor de NDVI promedio estacional como su coeficiente de variación en celdas de 1 × 1 km.

Para determinar cómo cambia la distribución estacional de la variabilidad y el promedio de NDVI en función de los usos del suelo, se ha utilizado un mapa digital de cubiertas del suelo a escala 1:200.000 (CHE,

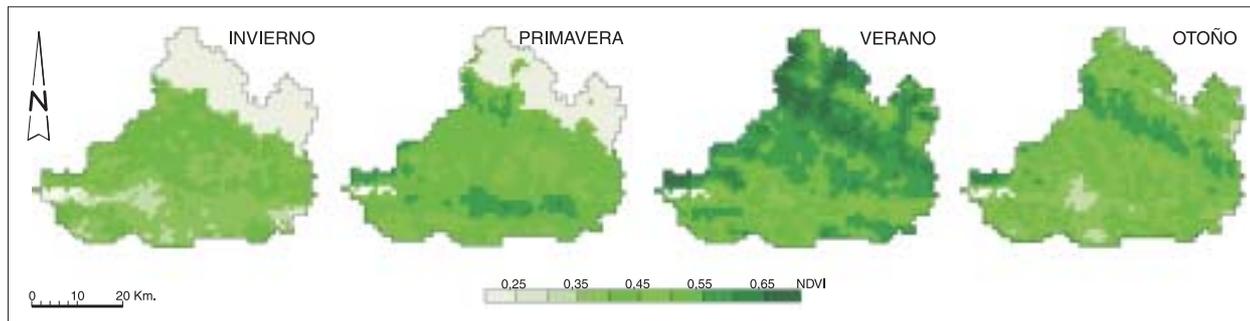


FIG. 4. Evolución estacional de los valores de NDVI promedio.

2002), que se ha reclasificado en 8 categorías: 1, cultivos de secano; 2, cultivos de regadío; 3, bosques de frondosas; 4, coníferas; 5, bosques mixtos; 6, matorral; 7, pastos supraforestales y 8, roca sin cobertura vegetal. Esta cartografía se rasterizó y se convirtió al mismo tamaño de celda ( $1 \times 1$  km) que la información extraída de las imágenes de satélite. Dado que se trata de información categórica y más detallada que las cartografías del NDVI, se asignó el valor de cada píxel a la cobertura que presentara mayor superficie en cada caso.

Se han realizado cuatro transectos (Figura 2) para establecer comparaciones continuas de la actividad y la producción vegetal de forma estacional. El primero representa la transición entre las áreas de condiciones mediterráneas al Sur, con una cubierta vegetal dominante de pinares xerófilos (MONTSERRAT, 1971) a los ambientes supraforestales del Norte; recorre las áreas cultivadas en el centro de la Depresión Media, las laderas colonizadas por pinares (*Pinus sylvestris*), y matorrales (*Genista scorpius*, *Echinopartum horridum* y *Buxus sempervirens*), que alternan con bosques de robledales (*Quercus faginea*), para llegar a los bosques de caducifolios (*Fagus sylvatica*) del valle de Ansó y los pastizales supraforestales, en un ambiente bioclimático ya claramente de alta montaña (DE LA RIVA, 1997). El transecto 2 transcurre paralelo al primero, pero en las áreas más orientales de la cuenca, donde la influencia oceánica es menor (CREUS, 1983) y donde los contrastes paisajísticos N-S no son tan marcados como en el caso del transecto 1. Los transectos 3 y 4 discurren paralelos con un sentido O-E; el transecto 3 cruza las áreas de bosques y matorrales en altitudes de 1.000 a 1.400 m. El transecto 4 corta también bosques de coníferas y matorrales, pero a una latitud más baja, coincidiendo con las áreas de mayor degradación edáfica y menor cobertura vegetal, por ser los espacios más explotados por el hombre y que reciben menores aportes pluviométricos.

#### IV RESULTADOS

##### 1. DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LOS VALORES PROMEDIO DE NDVI

En la figura 3 se muestran los valores medios y niveles de confianza de cada cobertura estacional de NDVI, obtenidos a partir del promedio de todos los píxeles ( $1 \times 1$  km) en cada caso. Existen diferencias muy significativas entre las cuatro estaciones del año. En verano se produce la principal actividad y producción de biomasa vegetal (promedio = 0,55), seguida del otoño y la primavera (0,47 y 0,43, respectivamente), mientras que durante el invierno el promedio es de 0,32. En todos los casos existen diferencias significativas entre la cantidad de biomasa vegetal que se produce en cada estación ( $p < 0,01$ ).

En la figura 4 se muestra la distribución de los valores promedio de NDVI a lo largo de las cuatro estaciones del año, pudiendo observarse importantes contrastes espaciales en cada estación; además, las diferencias en los totales de NDVI entre las cuatro estaciones son muy marcadas. En invierno los valores de NDVI son muy bajos (nunca superiores a 0,5) en toda el área de estudio, debido a las bajas temperaturas que limitan la actividad vegetal. No obstante, se producen contrastes espaciales muy significativos. Así, en el sector más septentrional de la cuenca, un área muy extensa, tiene valores de NDVI = 0; se trata de los espacios de mayor elevación, en los que la actividad de la vegetación se ve paralizada por la cubierta nival. En el fondo del valle del río Aragón también se registran valores bajos de NDVI, coincidiendo con espacios de escasa actividad vegetal en esos momentos, quizá debido a situaciones de inversión térmica (PUIGDEFÁBREGAS, 1970; PUIGDEFÁBREGAS y CREUS, 1976); en cambio, los más altos valores se regis-

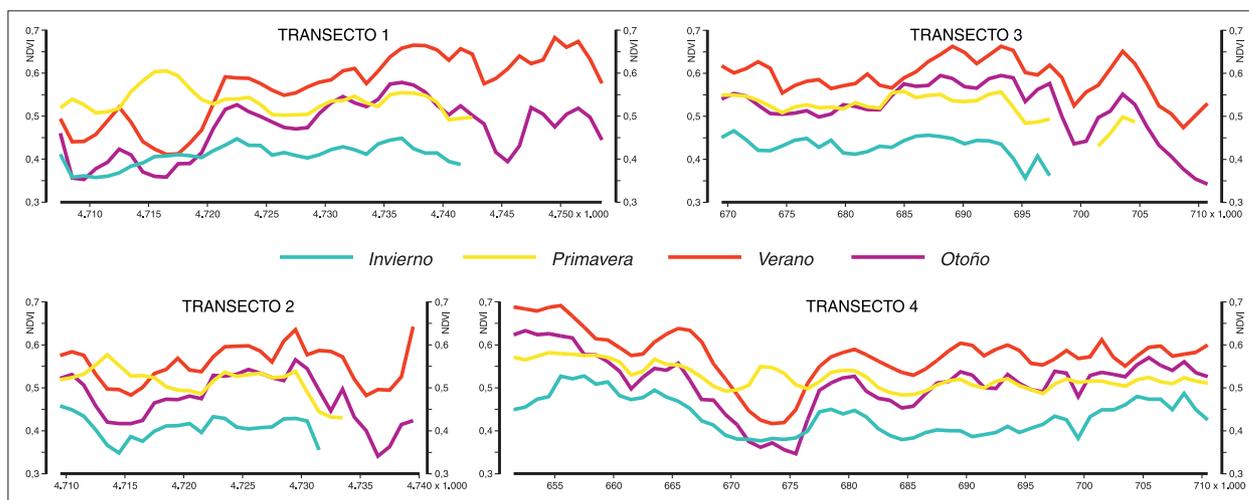


FIG. 5. Valores promedio estacionales de NDVI a lo largo de los 4 transectos analizados.

tran en las laderas del *flysch* cubiertas por matorrales y bosques de coníferas.

En primavera todavía permanecen amplias áreas cubiertas por la nieve (311 km<sup>2</sup>), aunque su extensión superficial es inferior a la invernal (382 km<sup>2</sup>). En las áreas no cubiertas por la nieve se asiste a un incremento generalizado de la actividad vegetal, apareciendo espacios cuyos valores de NDVI superan el de 0,6, coincidentes espacialmente con las áreas de cultivos en el fondo del amplio valle del río Aragón y con las de prados en los valles de Hecho y Ansó. El resto del territorio, exceptuando el cubierto de nieve, presenta valores superiores a 0,4, mostrando un aumento significativo de la actividad y producción vegetal respecto a la estación invernal.

En verano se produce una clara gradación espacial N-S en los valores de NDVI. Los espacios más productivos se localizan en el sector más septentrional de la cuenca, coincidiendo con las áreas de pastos supraforestales y bosques de caducifolios; las laderas, colonizadas por matorrales y pinares desde el abandono de las actividades económicas tradicionales, presentan valores menores (alrededor de 0,55), pero muy superiores a los fondos planos más amplios localizados en la Depresión Media.

En otoño se asiste a un descenso generalizado de la actividad vegetal y de la producción de biomasa. Los espacios que se mantienen como más productivos son las áreas de contacto entre el bosque y los pastos supraforestales, así como los bosques caducifolios; también las laderas medias, antiguos campos de cultivo cubiertos en la actualidad por matorrales y pinares, presentan una ac-

tividad vegetal considerable. La productividad más baja se localiza en el fondo del valle del Aragón.

En la figura 5 se indica la evolución estacional del NDVI en los cuatro transectos. En el transecto 1 se aprecian importantes contrastes estacionales en la producción vegetal, produciéndose un incremento significativo en verano en las laderas que superan los 1.000 m de altitud. Así, los pinares y los espacios de matorral de sucesión (usos que ocupan vertientes entre 1.000 y 1.400 m de altitud) alcanzan su máxima producción vegetal en verano; más acusado es el incremento que se produce a mayor altitud, en laderas cubiertas por hayedos y pastos supraforestales, que concentran su actividad vegetal en los meses estivales. En las áreas localizadas más al Sur, ocupadas por campos de cultivo y espacios muy degradados (*badlands*), el máximo productivo ocurre en primavera, por el estrés hídrico que registra la vegetación durante los meses estivales, mientras que en invierno la actividad vegetal se reduce al mínimo, mostrando escasas diferencias entre los usos del suelo.

En el transecto 2 las fluctuaciones son menores, debido tanto a que se trata de un recorrido más corto, con escasos contrastes bioclimáticos, como al hecho de que la influencia mediterránea afecta a todos los espacios. La menor actividad y producción vegetal tiene lugar en la estación invernal, mientras que en los espacios de menor elevación, al igual que sucedía en el transecto 1, la mayor actividad vegetal ocurre en primavera, siendo muy baja durante el período otoñal. En el resto de espacios la producción es superior durante el verano, de forma mucho más acusada en las áreas más septentrionales

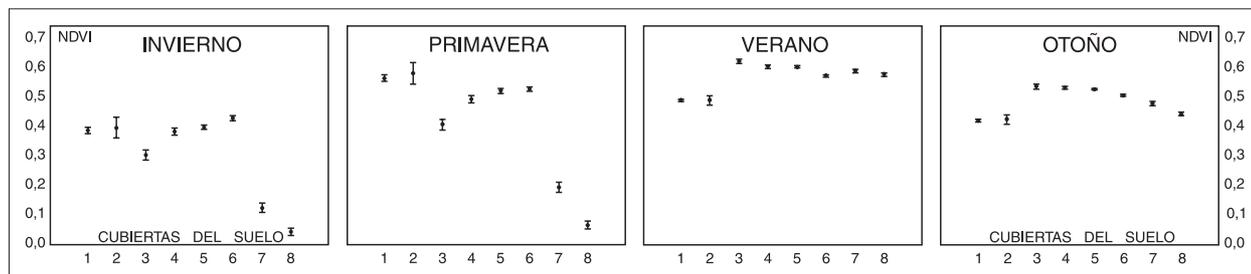


Fig. 6. Medias y niveles de confianza en los valores de NDVI de las diferentes cubiertas del suelo de forma estacional.

(pastos subalpinos, bosques e incluso espacios de rocas y pastizales alpinos).

Los dos transectos longitudinales (3 y 4) muestran menores contrastes estacionales, ya que discurren exclusivamente por áreas de bosques de coníferas, bosques mixtos y vegetación arbustiva, comunidades que son más estables a lo largo del año que los cultivos y pastos supraforestales. Las producciones son ligeramente superiores en la estación estival a las de primavera y otoño, que presentan producciones similares en bosques y matorrales.

2. DIFERENCIAS ESTACIONALES EN LA PRODUCCIÓN VEGETAL ENTRE LOS USOS DEL SUELO

En el Cuadro I se indican los valores promedio de NDVI en cada uno de los usos del suelo durante las estaciones del año. Los cultivos presentan una actividad y producción máxima durante la estación primaveral, superior a la del resto de usos, mientras que la de verano es la más baja, en tanto que las producciones de biomasa en invierno y otoño son bastante modestas. La actividad de los bosques caducifolios muestra una alta variabilidad estacional, con elevadas producciones durante el período estival, pero con valores de NDVI muy bajos en invierno y primavera. Los bosques mixtos (*Pinus sylvestris* con *Quercus Faginea*, fundamentalmente) y los pinares conviven en un área de laderas de fuertes pendientes y elevaciones entre 900 y 1.400 m, por lo que es difícil identificar un comportamiento particularmente diferenciado a la escala espacial analizada; no obstante, en ambos casos la mayor productividad se alcanza durante la estación estival. La producción de los matorrales es inferior a la de los bosques en verano y otoño (estaciones de mayor actividad), pero la mantienen mejor durante los meses invernales y primaverales, mostrando menos fluctuaciones estacionales que los bosques. Los contrastes estacionales más fuertes tienen lugar en los

pastos supraforestales y en las áreas de «roca desnuda», donde se desarrollan diferentes comunidades de pastizales alpinos naturales (REMÓN, 1997); estas áreas, cubiertas de nieve durante el invierno y primavera, presentan su máxima actividad durante los meses estivales, produciéndose pastos de extraordinaria calidad que son aprovechados por rebaños de ovino y de sarríos (GARCÍA-GONZÁLEZ *et al.*, 1990; REMÓN, 1997; VICENTE SERRANO, 2001).

En la figura 6 se indican los valores medios de NDVI y los niveles de confianza de cada uno de los usos del suelo analizados. En invierno y primavera hay importantes contrastes en los valores de NDVI, mientras que en verano y otoño las diferencias son menores, coincidiendo en todos los casos con elevados valores de NDVI.

En invierno son los matorrales, bosques de coníferas y bosques mixtos los usos con mayor valor de NDVI, siendo los bosques de frondosas y los pastos supraforestales los que presentan menores producciones; en primavera la mayor actividad vegetal tiene lugar en los campos de cultivo, tanto de secano como de regadío, mientras que el resto de usos, aunque presenten menores va-

CUADRO I. Promedio estacional en las diferentes cubiertas

Cubiertas	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
1	0,37	0,54	0,47	0,40
2	0,38	0,56	0,47	0,40
3	0,28	0,39	0,60	0,52
4	0,36	0,47	0,58	0,51
5	0,38	0,50	0,58	0,51
6	0,41	0,51	0,55	0,49
7	0,10	0,17	0,57	0,46
8	0,02	0,04	0,56	0,42

1: Cultivos de secano, 2: Cultivos de regadío, 3: Bosques de frondosas, 4: Coníferas, 5: Bosques mixtos, 6: Matorral, 7: Pastos supraforestales y 8: Roca sin cobertura vegetal.

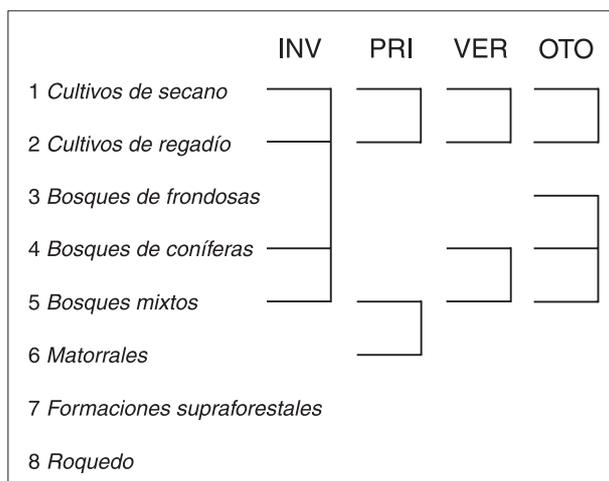


FIG. 7. Agrupación de las cubiertas vegetales en función de sus promedios de NDVI estacionalmente.

lores de NDVI, experimentan un importante incremento respecto al invierno, excepto en el caso de los pastizales y las áreas de roca desnuda, cuyos valores promedio de NDVI permanecen por debajo de 0,2. En verano es cuando se incrementan, de forma generalizada, los valores de actividad y producción en todos los usos del suelo, salvo en el espacio cultivado, que registra un descenso significativo en el NDVI tras la recolección de las cosechas (junio-julio), en tanto que bosques y pastizales alcanzan la mayor producción vegetal. En otoño se asiste a un descenso en los valores de todas las cubiertas, siendo los bosques los que mantienen mayores valores de NDVI.

En el Cuadro II se anotan los resultados de un análisis de varianza para determinar la significación en las diferencias estacionales de la producción entre los diferentes usos del suelo, mientras que en la figura 7 se agrupan los usos del suelo que no presentan diferencias significativas en los valores de NDVI. Llama la atención, en primer lugar, que los pastos supraforestales y las áreas de «roca desnuda» no guardan relación con los otros usos del suelo en ninguna estación del año, ya que concentran casi toda su actividad en verano; en segundo lugar, se observa que los cultivos de secano y regadío mantienen un comportamiento similar a lo largo del año, demostrando quizá que la temperatura tiene mayor influencia que la precipitación en la producción de biomasa vegetal en los usos agrícolas del Pirineo (cereales de invierno y prados de siega); en tercer lugar, se apunta que la producción de NDVI en los bosques es muy parecida en invierno, verano y otoño, mientras que en pri-

CUADRO II. Resultados del análisis de varianza. Promedios estacionales de NDVI

	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado media	F-Ratio	P
<i>Invierno</i>					
Entre grupos	26,8	7	3,83	273,83	0,00
Intra grupos	24,0	1.716	0,01		
Total (Corr.)	50,9	1.723			
<i>Primavera</i>					
Entre grupos	42,6	7	6,09	393,21	0,00
Intra grupos	26,6	1.716	0,01		
Total (Corr.)	69,2	1.723			
<i>Verano</i>					
Entre grupos	2,8	7	0,39	145,27	0,00
Intra grupos	4,7	1.716	0,00		
Total (Corr.)	7,4	1.723			
<i>Otoño</i>					
Entre grupos	3,0	7	0,43	152,52	0,00
Intra grupos	4,8	1.716	0,00		
Total (Corr.)	7,9	1.723			

mavera no lo es, debido posiblemente a que en esta estación son mayores los contrastes térmicos entre las áreas ocupadas por los diferentes bosques. De hecho, los bosques mixtos se agrupan en primavera con los matorrales, al localizarse en laderas similares en altitud y exposición.

### 3. DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL EN LOS VALORES DE NDVI

Se ha comprobado hasta ahora que se producen diferencias estacionales significativas en la actividad vegetal entre los usos del suelo de la cuenca del río Aragón, lo que sirve para conocer su productividad media en cada estación del año. Tiene también gran importancia determinar su variabilidad interanual, pues espacios con gran regularidad a lo largo del tiempo permitirán mayor seguridad en la explotación de sus recursos, mientras que las áreas muy variables supondrán mayor incertidumbre para su explotación.

La figura 8 representa la distribución espacial del coeficiente de variación interanual del NDVI en las cuatro estaciones del año (las áreas clasificadas como cubierta nival en invierno no se han considerado y se les ha asignado un valor 0). En invierno los valores más altos se distribuyen en el espacio de forma muy dispersa, aunque tienden a concentrarse en las áreas más septen-

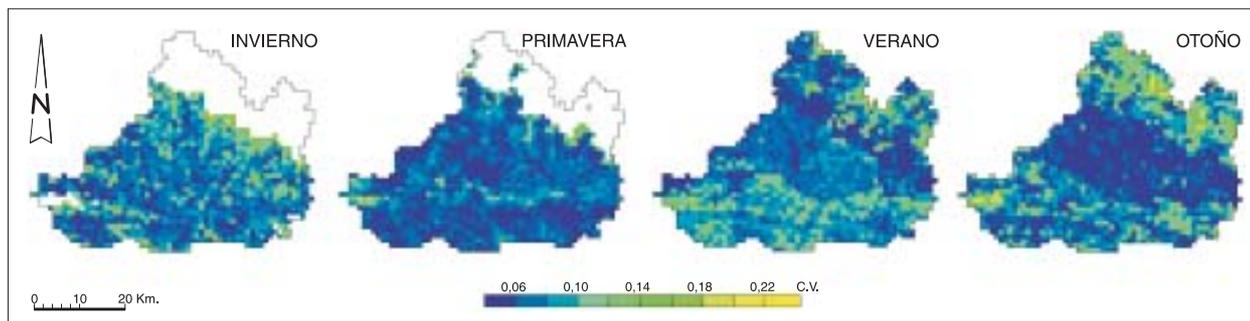


FIG. 8. Distribución espacial de los coeficientes de variación de las series estacionales de NDVI de cada píxel.

trionales, como consecuencia de las diferencias interanuales en la cubierta de nieve. En primavera tampoco se observan contrastes espaciales significativos, con bajos valores de variabilidad en todo el área de estudio. En verano y otoño, por el contrario, se producen claros contrastes, con una evidente organización espacial. En la estación estival la mayor variabilidad interanual en los valores de NDVI tiene lugar en la Depresión Media, menores coeficientes de variación presentan las áreas de bosques jóvenes y los matorrales de colonización reciente, y aún más bajos los bosques maduros, tanto de coníferas como de caducifolios, tratándose de bosques bien desarrollados, localizados a mayor altitud, en áreas de condiciones bioclimáticas adecuadas para su desarrollo y que coinciden, además, con áreas más húmedas y de escasa variabilidad pluviométrica interanual; no obstante, algunas de las áreas más septentrionales también presentan una acusada variabilidad interanual, debido a la posible presencia de nieve en determinados años. Durante el otoño también se produce un claro contraste espacial; en las áreas llanas de menor elevación (campos cerealistas, prados y matorrales de sucesión) la variabilidad es elevada, al igual que sucede en los pastizales supraforestales, en los que la irregularidad del período nival produce una gran variabilidad en la amplitud del período vegetativo, por el contrario, las áreas de bosque climácico y los matorrales presentan escasa variabilidad interanual.

En la figura 9 se muestran los valores medios y niveles de confianza de los coeficientes de variación en las cuatro imágenes estacionales. El verano presenta los coeficientes de variación más elevados, coincidiendo con la mayor producción de biomasa vegetal, siendo las diferencias muy significativas respecto al invierno y primavera, cuando, a pesar de que no existir patrones espaciales significativos, los coeficientes de variación son muy inferiores.

En la figura 10 se indican los valores del coeficiente de variación en los mismos cuatro transectos analizados anteriormente. No existen pautas espaciales tan evidentes como en el análisis de los valores promedio, ni se observan diferencias estacionales significativas; en el caso de los dos transectos latitudinales (1 y 2) se produce mayor variabilidad en las áreas septentrionales por la mayor frecuencia de cubierta nival en dichas áreas.

#### 4. DIFERENCIAS ESTACIONALES EN LA VARIABILIDAD DE LA ACTIVIDAD VEGETAL EN DIFERENTES USOS DEL SUELO

En el Cuadro III y en la figura 11 se indican los promedios del coeficiente de variación en los usos del suelo, alcanzando la mayoría de los usos el mínimo en primavera y el máximo en verano, mostrando valores intermedios en otoño e invierno. Las áreas de cultivos, tanto de secano como de regadío, presentan una variabilidad baja en primavera, que se incrementa considerablemente en verano, explicándose la menor variabilidad de los cultivos de regadío respecto a los de secano por el papel del riego. Los bosques de frondosas tienen muy bajos coeficientes de variación en invierno y primavera, esta-

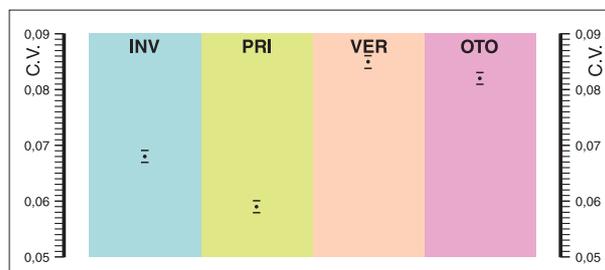


FIG. 9. Promedio y niveles de confianza de los valores del coeficiente de variación obtenidos de las series estacionales de NDVI en cada píxel.

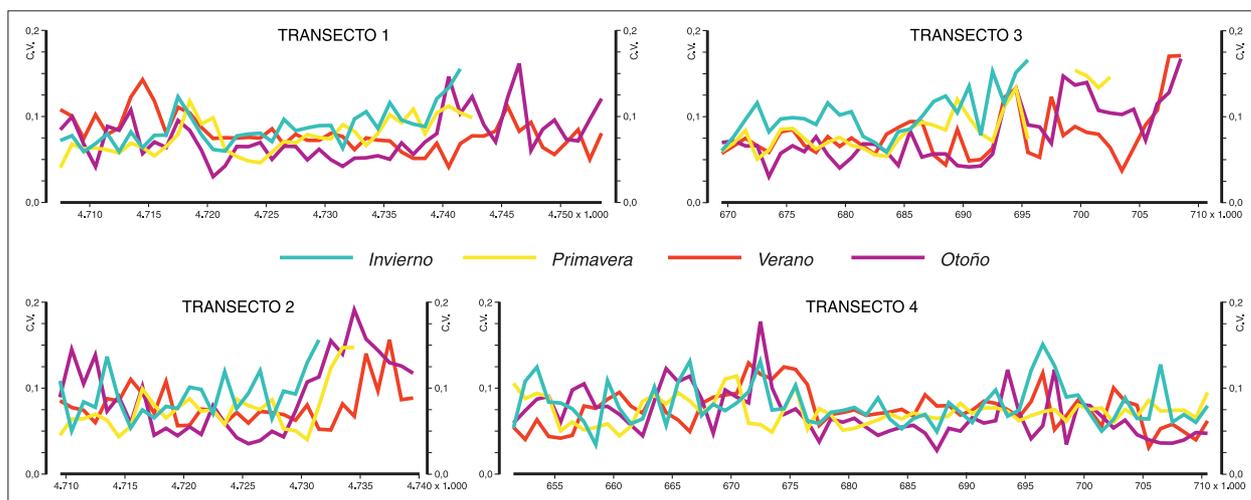


FIG. 10. Valores del coeficiente de variación de las series estacionales de NDVI a lo largo de los 4 transectos.

ciones de escasa o nula actividad vegetal, en las que las diferencias climáticas interanuales apenas ejercen influencia en su actividad vegetativa; no obstante, en verano y, fundamentalmente, en otoño se asiste a un incremento de la variabilidad, lo que indica que las diferencias térmicas otoñales son las que más determinan la duración e intensidad del ciclo vegetativo anual de estos bosques y, consecuentemente, las mayores incertidumbres en su actividad vegetativa.

En los bosques de coníferas y mixtos la variabilidad es más constante a lo largo de todas las estaciones del año, aunque es en primavera cuando se registran los valores inferiores y en invierno los superiores, siendo las características térmicas invernales, pues, el principal condicionante de la actividad de los bosques de coníferas. Los matorrales alcanzan elevados coeficientes de variación en invierno, y aún más en verano, dado el fuerte control que ejerce la humedad del suelo en su cre-

CUADRO III. Coeficientes de variación promedio del NDVI en cada una de las cubiertas vegetales estacionalmente

Cubiertas	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
1	0,075	0,068	0,101	0,086
2	0,071	0,059	0,095	0,079
3	0,066	0,055	0,079	0,090
4	0,086	0,066	0,076	0,075
5	0,084	0,069	0,078	0,075
6	0,079	0,070	0,086	0,067
7	0,026	0,031	0,086	0,104
8	0,005	0,009	0,096	0,123

cimiento, de ahí, la alta vulnerabilidad de esta cubierta en la estación estival. Los pastos supraforestales y las áreas de gleras y cantiles con pastizales alpinos presentan una baja variabilidad interanual en los meses invernales y primaverales debido a lo restrictivo de las condiciones térmicas para la actividad vegetal.

En el Cuadro IV se incluyen los resultados de un análisis de varianza con los coeficientes de variación en las series estacionales de NDVI, comprobándose que en todos los casos se registran diferencias significativas en los coeficientes de variación estacional entre los usos del suelo.

En la figura 12 se muestran los agrupamientos significativos en los valores del coeficiente de variación en las cuatro estaciones del año, siendo la agrupación superior a la que se establecía con los datos promedio. Se observa que durante todas las estaciones del año la variabilidad interanual de los bosques de coníferas y bosques mixtos es similar, mientras que las frondosas sólo en primavera presentan un comportamiento parecido al resto de bosques.

## V DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis realizado aporta información sobre la producción vegetal de los usos del suelo de una amplia cuenca del Pirineo Central. Se ha insistido mucho en la distribución espacial y estacional de los valores promedio de NDVI y sus coeficientes de variación interanua-

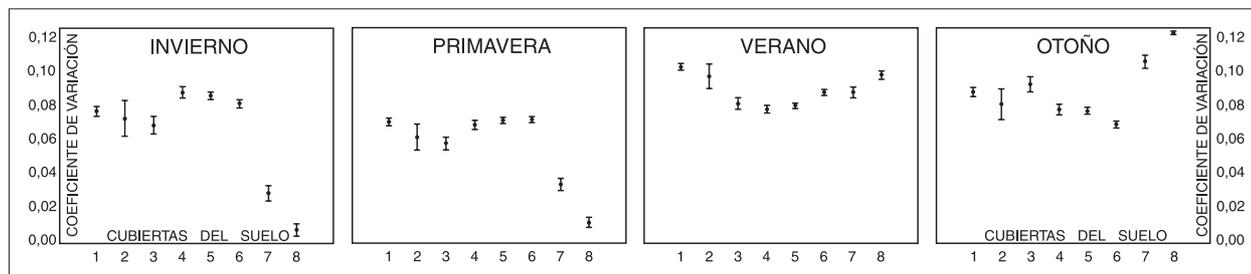


FIG. 11. Coeficientes de variación medios y niveles de confianza del NDVI en diferentes cubiertas del suelo de forma estacional.

les que presentan los usos del suelo. Los resultados permiten concluir que la estación estival concentra las mayores producciones, pero a la vez registra los más elevados valores del coeficiente de variación estacional, como consecuencia de la irregularidad en la humedad del suelo (ERREA *et al.*, 2002). Los años secos determinan una producción vegetal baja, mientras que los años húmedos garantizan una mayor actividad vegetal. En primavera los aportes de precipitación son más regulares y las condiciones de humedad del suelo muestran bajos déficits hídricos en todo el área de estudio, por lo que la variabilidad primaveral es inferior a la estival (SEEGER, 2001). En otoño los valores promedio de NDVI son elevados, si bien se registran altos coeficientes de variabilidad, debido al cubrimiento nival temprano (algunos años) de las áreas de pastos supraforestales. En invierno la producción vegetal se reduce al mínimo anual por las bajas temperaturas que paralizan el ciclo vegetativo en la mayoría de las plantas. Los resultados permiten apuntar que en la producción estacional de biomasa vegetal las temperaturas tienen un papel más destacado que las precipitaciones y, así, en verano, cuando se registran menos lluvias y la humedad del suelo alcanza el mínimo anual, se obtienen los valores más altos de NDVI; el coeficiente de variación interanual, sin embargo, puede tener más relación con el volumen de precipitación, si bien en las áreas más altas la duración del manto nival constituye un factor muy influyente.

Más interés tiene, de cara al aprovechamiento de los recursos vegetales, conocer el comportamiento estacional de los diferentes usos del suelo. Así, se ha comprobado que los cultivos alcanzan su máxima producción en primavera, mientras que los pastos supraforestales la concentran en verano, si bien la banda de contacto entre éstos y el bosque presenta su máxima producción en otoño. Las laderas de campos abandonados (localizadas en vertientes solanas entre 1.000 y 1.400 m de altitud), cubiertas por matorrales, inician su producción en in-

vierno, antes que los cultivos de fondo de valle, si bien consiguen los valores más altos de NDVI en primavera y otoño, con un bajón muy acusado en verano. Los bosques, por su parte, tienen altos niveles en verano y otoño, siendo muy significativo que los caducifolios alcancen su máximo en la estación otoñal.

La marcada estacionalidad en la actividad vegetal y producción de biomasa entre los diferentes usos del suelo condiciona en gran medida el aprovechamiento de los recursos vegetales, ya que exige una gestión acorde con las fluctuaciones temporales y espaciales en la oferta. Sin duda, la ganadería extensiva, por su movilidad y capacidad de adaptación a las oscilaciones de los recursos pastorales, constituye una actividad adecuada para gestionar espacios como el Pirineo, con fuertes fluctuaciones en la producción vegetal.

CUADRO IV. Resultados del análisis de varianza. Coeficientes de variación de las series estacionales de NDVI

	Suma de cuadrados	Df	Cuadrado media	F-Ratio	P
<i>Invierno</i>					
Entre grupos	1,15	7	0,16	131,77	0
Intra grupos	2,14	1.716	0,00		
Total (Corr.)	3,29	1.723			
<i>Primavera</i>					
Entre grupos	0,66	7	0,09	134,70	0
Intra grupos	1,20	1.716	0,00		
Total (Corr.)	1,86	1.723			
<i>Verano</i>					
Entre grupos	0,13	7	0,02	31,75	0
Intra grupos	0,99	1.716	0,00		
Total (Corr.)	1,12	1.723			
<i>Otoño</i>					
Entre grupos	0,49	7	0,07	74,26	0
Intra grupos	1,60	1.716	0,00		
Total (Corr.)	2,10	1.723			

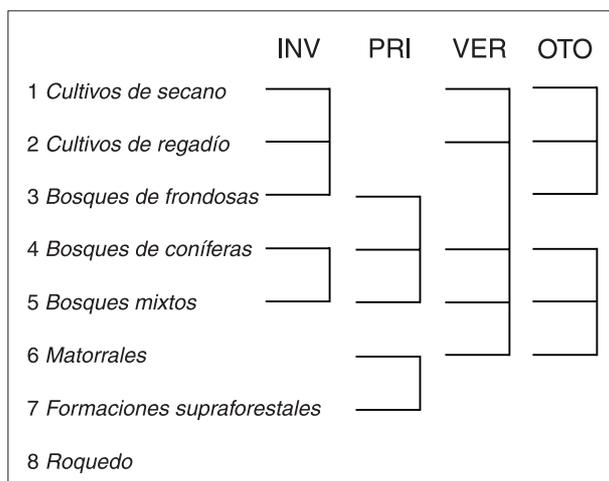


FIG. 12. Agrupación de las cubiertas vegetales en función de la variabilidad estacional del NDVI.

El conocimiento de la estacionalidad despierta en la actualidad un gran interés. En este sentido, hay que tener en cuenta que el sistema tradicional de gestión solucionaba las limitaciones de la estacionalidad desplazando el ganado a la Depresión del Ebro, de forma que aprovechaba muy intensivamente la producción estival (pastos supraforestales) y primaveral (espacio cultivado orientado a la alimentación del hombre), y de forma mucho más extensiva los pastos de otoño e invierno, que sólo se consumían en el ascenso y descenso de los rebaños hacia los puertos (PUIGDEFÁBREGAS y BALCELLS, 1966). La ruptura del sistema trashumante «obliga» a mantener el ganado con los recursos propios, lo que exige un buen conocimiento de su disponibilidad a lo largo del año. Hasta ahora el tema se ha resuelto, en

la unidad de los Valles, destinando la producción del espacio agrícola (cultivado con prados) a la alimentación del ganado durante el otoño, el invierno y la primavera, que de alguna forma cumple el papel que tradicionalmente hacían los secanos y eriales de la Depresión del Ebro, y subaprovechando los pastos supraforestales en verano. García-Ruiz y Lasanta (1992 y 1993) señalan que más del 90% de la alimentación del ganado se obtiene en el espacio cultivado y en los pastos supraforestales, mientras que los campos abandonados, las áreas de matorral y los bosques aportan menos del 10%. Esta estrategia de gestión plantea algunos problemas económicos (las explotaciones han tenido que reducir los rebaños a la capacidad de alimentación del espacio agrícola) y ambientales (degradación de recursos pastorales, matorralización masiva de laderas, mayor riesgo de incendios, homogeneización del paisaje...).

Los resultados obtenidos en este trabajo apuntan a que las áreas de matorral pueden constituir un recurso pastoral interesante en invierno, primavera y otoño, algo puesto ya de manifiesto a escala de parcela (LASANTA *et al.*, 1996). Su aprovechamiento con caprino y ovino permitiría, además de reciclar recursos que ahora se pierden, recuperar áreas de pastizal (VALDELVIRA, 1985; ÁLVAREZ, 1995) y eliminar materia vegetal que puede llegar a constituir una importante fuente de combustión y propagación del fuego (VÉLEZ, 1986). En el mismo sentido, la alta producción otoñal de la banda de contacto entre el bosque y los pastos subalpinos (espacio tapizado por ricos pastizales de *Mesobromion erectii*; REMÓN, 1997) permite alargar la estancia del ganado en altitudes altas, contribuyendo a disminuir el desequilibrio en la oferta pastoral entre las estaciones (FERRER, 1988).

Este trabajo ha contado con la ayuda de los proyectos de investigación: «La recuperación del espacio agrícola como estrategia de gestión integrada del territorio en área de montaña: El ejemplo de los Altos Valles del Aragón y del Gállego» (P049/2000), financiado por la DGA; «La sequía en Aragón: tendencias climáticas seculares y patrones de cambio ambiental» (CI199-098); «Ca-

racterización espacio-temporal de las sequías en el valle medio del Ebro e identificación de sus impactos» (BSO2002-02743); y «Efectos erosivos del fuego a lo largo de un gradiente climático. Aportaciones para la gestión de áreas quemadas» (REN/2002-00133), financiados por la CICYT.

## B I B L I O G R A F Í A

- ÁLVAREZ, J. (1995): *Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante pastoreo controlado. Experiencia en un sector de la montaña de León*. Tesis doctoral. Universidad de León. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria.
- BALCELLS, E. (1976): *El Pirineo: Contraste de paisajes; enlace de pueblos*. Imprenta del Ministerio de Asuntos Exteriores, Madrid.
- BAUDRY, J. (1991): «Ecological consequences of grazing extensification and land abandonment: Role of interactions between environment society and techniques». *Options méditerranéennes*. Serie A: 15, págs. 13-19.
- CARLSON, T. N., y RIPLEY, D. A. (1997): «On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index». *Remote Sensing of Environment*. 62, págs. 241-252.
- CERDÀ, A. y LASANTA, T. (2002): «Exportación de sedimentos después de incendios en campos abandonados. Resultados de la estación experimental, Valle de Aísa. Pirineos». En *Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio y dinámica territorial*. Dpto. de Geografía. Universidad de Valladolid, págs. 43-52.
- CREUS, J. (1983): *El clima del Alto Aragón occidental*. Monografías del Instituto de Estudios Pirenaicos. 109. 233 págs.
- CHAUVELIER, F. (1987): *Reboisement et aménagement de l'espace: l'exemple de la province de Huesca (Espagne)*. Tesis Doctoral. Université de Bordeaux III, 2 tomos: 647 págs., Bordeaux, Francia.
- CHE (2002): *Mapa de cubiertas del suelo*. www.chebro.es.
- DAUMAS, M. (1976): *La vie rurale dans le Haut Aragon Oriental*. CSIC. Madrid. 774 págs.
- DE LA RIVA, J. (1997): *Los montes de la Jacetania. Caracterización física y explotación forestal*. Consejo de protección de la naturaleza de Aragón. 358 págs., Zaragoza.
- DELGADO, J. (1991): *Clasificación y análisis de nubes mediante imágenes Meteosat*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid.
- DIALLO, O., DIOUF, A., HANAN, N. P., NDIAYE, A. y PRÉVOST, Y. (1991): «AVHRR monitoring of savana primary production in Senegal, West Africa (1987-1988)». *International Journal of Remote Sensing*. 12 (6), págs. 1.259-1.279.
- ERREA, M. P., LASANTA, T., ORTIGOSA, L. y CERDÀ, A. (2002): «Soil moisture changes after land abandonment in the Central Spanish Pyrenees», en *Environments change and water sustainability* (J. M. García-Ruiz, J. A. A. Jones y J. Arnáez, Eds). Instituto Pirenaico de Ecología (CSIC), págs. 211-218, Zaragoza.
- FERRER, C. (1988): «Los recursos pascícolas del Pirineo Aragonés». *Actas de la XXVIII Reunión científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, págs. 25-63.
- FERRER, C. y BROCA, A., (1999): «El binomio agricultura y ganadería en los ecosistemas mediterráneos. Pastoreo frente a "desierto verde"». *Actas de la XXXIX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*. Almería, págs. 309-334.
- FILLAT, F. (1980): *De la trashumancia a las nuevas formas de ganadería extensiva. Estudio de los valles de Ansó, Hecho y Benasque*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- GARCÍA-GONZÁLEZ, R., HIDALGO, R. y MONTSERRAT, C. (1990): «Patterns of livestock use in time and space in the summer ranges of the Western Pyrenees: A case study in the Aragon Valley». *Mountain Research and Development*, 10 (3), págs. 241-255.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. (1988): «La evolución de la agricultura de montaña y sus efectos sobre la dinámica del paisaje». *Revista de Estudios Agro-Sociales*. 146, págs. 7-37.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. y LASANTA, T. (1990): «Land-use changes in the Spanish Pyrenees». *Mountain Research and Development*. 10, págs. 267-279.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. y LASANTA, T. (1992): «Crisis de la trashumancia y abandono de recursos ganaderos en el Pirineo Aragonés». *Quercus*, 80, págs. 26-32.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. y LASANTA, T. (1993): «Land-uses conflicts as a result of land-use changes in the Central Spanish Pyrenees». *Mountain Research and Development*, 13 (3), págs. 295-304.
- GARCÍA-RUIZ, J. M. y PUIGDEFÁBREGAS, J. (1982): «Formas de erosión en el flysch eoceno surpirenaico». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 8, págs. 85-128.

- GARCÍA-RUIZ, J. M. y VALERO, B. (1998): «Historical geomorphic processes and human activities in the Central Spanish Pyrenees». *Mountain Research and Development*, 18, págs. 309-320.
- GARCÍA-RUIZ, J. M., PUIGDEFÁBREGAS, J. y CREUS, J. (1985): *Los recursos hídricos superficiales del Alto Aragón*. Colección de Estudios Altoaragoneses, 2: 224 págs., Huesca.
- GARCÍA-RUIZ, J. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ MORENO, J. I., LORENTE, A. y SEEGER, M. (2001): *Los recursos hídricos superficiales del Pirineo aragonés y su evolución reciente*. Geoforma Ediciones, 192 págs., Logroño.
- HOLBEN, B. N. (1986): «Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data». *International Journal of Remote Sensing*, 7, págs. 1.417-1.434.
- ILLERA, P., DELGADO, R. y CALLE, A. (1995): «A navigation algorithm for satellite images». *International Journal of Remote Sensing* 15, págs. 577-588.
- LASANTA, T. (1989): *Evolución reciente de la agricultura de montaña*. Geoforma Ediciones. Logroño. 220 págs.
- LASANTA, T. (1990): «Diversidad de usos e integración espacial en la gestión tradicional del territorio en las montañas de Europa occidental», en *Geoecología de las áreas de montaña* (Ed. J. M. García-Ruiz). Geoforma Ediciones. Logroño, págs. 235-266.
- LASANTA, T. y ERREA, M. P. (2001): «Usos agrarios del suelo», en: *El medio físico y su peligrosidad en un sector del Pirineo central* (S. Ríos, Ed.). Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España, Zaragoza, págs. 43-46.
- LASANTA, T., ERREA, M. P., GARCÍA-RUIZ, J. M. y MOLINILLO, M. (1996): «Recuperación de antiguos campos agrícolas para el desarrollo de la ganadería extensiva: Primeros resultados en el valle de Aísa (Pirineo aragonés)». *VIII Coloquio de Geografía Rural*, págs. 223-236, Jaca.
- LASANTA, T. y RUIZ, P. (1990): «Especialización productiva y desarticulación espacial en la gestión reciente del territorio en las montañas de Europa occidental», en *Geoecología de las áreas de montaña* (Ed. J. M. García-Ruiz). Geoforma Ediciones. Logroño, págs. 267-295.
- 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 AGE*, 29, págs. 5-28.
- MONTSERRAT, P. (1971): «El ambiente vegetal jacetano». *Pirineos*, 101, págs. 5-22.
- MONTSERRAT, J. (1992): *Evolución glacial y postglacial del clima y la vegetación en la vertiente sur del Pirineo: Estudio palinológico*. Instituto Pirenaico de Ecología, 147 págs., Zaragoza.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. (1970): «Características de la inversión térmica en el extremo oriental de la Depresión Interior altoaragonesa». *Pirineos*, 96, págs. 21-50.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. (1981): *El pinar altoaragonés de Pinus sylvestris. Estructura y producción primaria neta*. Tesis Doctoral. Universidad de Navarra.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. y BALCELLS, E. (1966): «Resumen sobre el régimen de explotación ovina trashumante en el Alto Aragón, especialmente en el Valle de Ansó». *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 1 (6), págs. 1-18.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. y BALCELLS, E. (1970): «Relaciones entre la organización social y la explotación del territorio en el valle del Roncal (Navarra Oriental)». *Pirineos*, 98, págs. 53-89.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. y CREUS, J. (1976): «Pautas espaciales de variación climática en el Alto Aragón». *Publicaciones del Centro Pirenaico de Biología Experimental*, 7, págs. 23-34.
- PUIGDEFÁBREGAS, J. y FILLAT, F. (1986): «Ecological adaptation of traditional land-uses in the Spanish Pyrenees». *Mountain Research and Development*, 6 (1), págs. 63-72.
- REMÓN, J. L. (1997): *Estructura y producción de pastos en el Alto Pirineo Occidental*. Tesis doctoral. Universidad de Navarra.
- RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ, F. Ed. (1999): *Manual de desarrollo local*. Ediciones Trea, 598 págs., Gijón.
- RODRÍGUEZ MERINO, M., ERREA, M. P. y LASANTA, T. (1998): «Valoración de los recursos pastorales de campos abandonados de Camero Viejo (Sistema Ibérico Riojano)». *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 24, págs. 69-87.
- SEEGER, M. (2001): *Boden und Bodenwasserhaushalt als Indikatoren der Landdegradierung auf extensivierten Nutzflächen in Aragón (Spanien)*. Freiburger Geographische Hefte: 184 págs., Freiburg (Alemania).
- SOLER, M. y PUIGDEFÁBREGAS, C. (1972): «Esquema litológico del Alto Aragón Occidental». *Pirineos*, 106, págs. 5-15.

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 S.I.G. (El Solsonés, Lleida, España)». *Pirineos*, 153, págs. 101-122.

VALDELVIRA, A. (1985): «Estudio de la pardina de Ordaniso como ejemplo de coto redondo prepirenaico (Ensayo de ordenación de un predio de montaña media)». *Pirineos*, 125, págs. 65-99.

VÉLEZ, R. (1986): «Incendios forestales y su relación con el medio rural». *Revista de Estudios Agro-Sociales*, 136, págs. 195-224.

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 del Borau*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. 181 págs.

VICENTE, S. M., LASANTA, T. y CUADRAT, J. M. (2000a): «Transformaciones en el paisaje del Pirineo como conse-

cuencia del abandono de las actividades económicas tradicionales». *Pirineos*, 155, págs. 111-133.

VICENTE, S. M., LASANTA, T. y CUADRAT, J. M. (2000b): «Influencia de la ganadería en la evolución del riesgo de incendio en función de la vegetación en un área de montaña: el ejemplo del valle de Borau (Pirineo aragonés)». *Geographica*. 38, págs. 35-58.

VIOLANT, R., (1949): *El Pirineo español*. Plus ultra. Madrid.

WYLIE, B. K., MEYER, D. J., TIESZEN, L. L. y MANNEL, S. (2002): «Satellite mapping of surface biophysical parameters at the biome scale over the North American grassland. A case study». *Remote Sensing of Environment* 79, págs. 266-278.

ZORITA, E., (1991): «Hacia una nueva estructura de la ganadería ovina en España, armonizando recursos alimenticios y objetivos medioambientales». *Avances de la alimentación y mejora animal*. 29, págs. 9-42.