La evaluación de la vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero en espacios montañosos. Análisis metodológico

The evaluation of the soil vulnerability to degradation for grazing use in the mountain areas. Methodological analysis

RAFAEL BLANCO SEPÚLVEDA*

INTRODUCCIÓN

La actual Ley de Montes (Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes) contempla, entre sus prioridades, poner fin al deterioro medioambiental que están sufriendo los agrosistemas montañosos de nuestro país. Estos espacios son medios frágiles, debido a sus difíciles condiciones orográficas, a las que se suman la pobreza y fragilidad de sus suelos y las particularidades de un clima de marcada estacionalidad. Estos condicionantes ecológicos hacen de nuestros espacios montañosos un escenario marginal para la agricultura, aunque con muy buenas perspectivas para el uso ganadero extensivo o semiextensivo. Numerosos autores defienden que este tipo de uso constituye la principal vocación de estos espacios (Revuelta y Eguren, 1990; Zorita, 1990; Fillat, 1991; Montserrat, 1994, 1996; Ortuño y Fernández-Cavada, 1995; Segrelles, 1998). De hecho, actualmente, en muchas áreas de montaña de nuestro país, se puede constatar que la ganadería extensiva y semiextensiva se ha convertido, sino en la única, en una de las actividades económicas más importantes (Pardo, 1994; García *et al.*, 1998; Martín, 2000; Frutos y Ruiz, 2002; López, 2002).

* Rafael Blanco Sepúlveda. Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga. E-mail: rblanco@uma.es

La citada Ley de Montes hace un énfasis especial en la promoción del aprovechamiento racional de los recursos, marcándose, como uno de sus objetivos, garantizar el uso sostenible de estos espacios a través de la elaboración de planes de gestión, como los Planes de Ordenación de los Recursos Forestales (PORF), Planes Dasocráticos, Planes Técnicos u otras figuras equivalentes. Sin embargo, estas buenas intenciones legales chocan con la carencia de efectivas herramientas de planificación que permitan reorientar la ganadería extensiva hacia una perspectiva sostenible, tanto en su dimensión socio-económica como medioambiental. Esto ocurre, tanto en los espacios que cuentan ya con una planificación general de la ordenación de sus recursos (Espacios Naturales Protegidos), como en los programas de desarrollo rural (LEADER, PRODER) que, asignados a un espacio concreto, suelen carecer, sin embargo, de la planificación territorial correspondiente.

En el caso de los Espacios Naturales Protegidos (ENP), existen instrumentos como los PORN (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales) y los PRUG (Plan Rector de Uso y Gestión) que no cumplen de forma satisfactoria con el objetivo de planificación del uso ganadero sostenible del medio. En gran parte de los casos, estos documentos se limitan a establecer severas restricciones de uso que han conducido, por una parte, a la eliminación del uso ganadero de ciertas áreas de los ENP, consideradas más sensibles y, por otra parte, a la restricción de uso para ciertas cabañas ganaderas que se consideran más dañinas para el medio ambiente. Existe, no obstante, otras áreas dentro de los ENP donde se permite este uso y donde, paradójicamente, se han detectado numerosos problemas de sobrepastoreo. En ambos casos se han producido efectos no deseados. Por una parte, la limitación absoluta de uso ha provocado la pérdida de superficie pastable, lo que ha generado conflictos de intereses entre los ganaderos y los órganos de gestión de los ENP, apareciendo en este colectivo un rechazo casi generalizado a las limitaciones relacionadas con la protección medioambiental. Por otra parte, la existencia de un plan de uso ganadero no ajustado a la capacidad de carga del territorio ha provocado problemas de sobrepastoreo en numerosos ENP, como los de Sierra de las Nieves (CMA-UC, 2001a; Blázquez, 2000), Montes de Málaga (CMA-UC, 2001b) y Sierra de Castril (Passera y Allegretti, 1993), entre otros. Los criterios que habitualmente se utilizan son empíricos y suelen conducir a situaciones muy alejadas de la realidad (Blanco, 2002).

La Evaluación de Tierras se puede considerar como una de las principales herramientas de planificación de los usos agrarios del territorio. El objetivo es compatibilizar el aprovechamiento económico con la conservación de los valores medioambientales, garantizando, de esta forma, no sólo

unos beneficios a corto y medio plazo sino también la propia persistencia de la explotación agraria en el futuro.

La Evaluación de tierras para uso ganadero que se ha realizado hasta el momento, ha contemplado tan sólo una visión parcial de la realidad de este fenómeno. Los sistemas de evaluación utilizados se han centrado en determinar la aptitud de las tierras para el uso ganadero. El objetivo ha sido establecer la potencialidad ganadera del territorio, a partir de la estimación de la capacidad sustentadora de la vegetación. Los parámetros utilizados son variados, entre los que destacan los siguientes: cantidad y valor nutricional de los recursos vegetales disponibles en el medio, requerimientos energéticos de los animales, disponibilidad de agua y accesibilidad, entre otros. Numerosos autores han planificado el uso ganadero del territorio a partir de esta metodología. A nivel internacional, se pueden citar los trabajos de Van Rootselaar *et al.* (1975), Sow (1981), Hacker (1984) y Guevara *et al.* (1997), entre otros. La aplicación de esta metodología en España ha dado lugar a varias tesis doctorales (Robles, 1990; Fernández, 1995) y a numerosas contribuciones científicas (Boza, 1993a, 1993b, 1993c; González *et al.*, 1993; Passera y Allegretti, 1993; Robles y Fernández, 1993; Mena *et al.*, 1995; Robles y Passera, 1995; Boza *et al.*, 1997).

La metodología descrita no tiene presente criterios de sostenibilidad medioambiental, es decir, no tiene en cuenta la posible degradación del medio por sobrepastoreo, porque la sobrecarga ganadera, a la que se hace referencia a partir de este enfoque, sólo hace alusión a cuestiones alimenticias, y hay que tener en cuenta que la sostenibilidad económica no es sinónima de sostenibilidad medioambiental.

Las tendencias actuales en Evaluación de Tierras tienden a unificar los procedimientos que determinan la capacidad (aspectos relacionados con la producción y la sostenibilidad económica) y la vulnerabilidad (aspectos relacionados con la degradación y sostenibilidad medioambiental), ya que se puede considerar que esta simbiosis es la mejor vía para alcanzar el uso sostenible del territorio. Existen algunos ejemplos de aplicaciones de sistemas de evaluación que contemplan una visión integrada de ambos fenómenos, entre los que caben destacar los trabajos de Añó (1996), Añó *et al.* (1998) y Añó y Sánchez (2002).

Debido a las carencias existentes en Evaluación de Tierras para uso ganadero, se ofrece en este trabajo una metodología para desarrollar un Sistema de Evaluación de la Vulnerabilidad del suelo a la degradación, que permita realizar una adecuada planificación física del uso ganadero del medio. Un sistema de evaluación de estas características aportaría las bases, por una parte, para poner fin al proceso de deterioro de los suelos que estén

afectados por cargas ganaderas inadecuadas y que sobrepasan el umbral de uso óptimo; y, por otra parte, permitiría al mismo tiempo detectar las áreas de la explotación que se encuentran infrautilizadas, aportándose, en ambos casos, los umbrales de carga más adecuados.

CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE EVALUACIÓN

El objetivo del Sistema de Evaluación de la Vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero es determinar los umbrales de carga ganadera óptimos sin riesgo de degradación irreversible de las propiedades físicas del suelo. El objetivo es estimar la Capacidad del Suelo para el pastoreo mediante el ajuste de la carga ganadera a la capacidad de amortiguación de las propiedades físicas del suelo a la degradación.

¿Por qué se han utilizado las propiedades físicas del suelo para diseñar el sistema de evaluación?

La metodología diseñada para elaborar el sistema de evaluación parte del hecho de que los sistemas ganaderos extensivos y semiextensivos aprovechan directamente los recursos pastables en el mismo medio en el que se encuentran. Por lo tanto, el suelo es el soporte físico donde se desarrolla la acción del pastoreo. Esta actividad no pasa inadvertida sobre las propiedades de los suelos sobre los que se desarrolla. En este sentido, cabe destacar el impacto directo que produce la acción de la pezuña de los animales al transitar por el suelo. La presión que ejerce la pezuña, a través del peso del animal y de la propia acción de caminar, provoca sobre el suelo una alteración de la estructura por compactación (Pérez y Díaz-Fierros, 1988), lo que tiene graves repercusiones sobre las propiedades físicas del suelo. Nos referimos a la porosidad, a la capacidad de infiltración y retención de agua en el suelo y a la estabilidad estructural. Estas propiedades se ven claramente afectadas por el pastoreo y, por este motivo, se han empleado para diseñar el sistema de evaluación.

¿Qué se entiende por degradación irreversible de las propiedades físicas del suelo?

Por degradación irreversible de las propiedades físicas del suelo se entiende que estas propiedades no se recuperan a corto-medio plazo si se reduce la presión aplicada (carga ganadera). En este sentido, es necesario

destacar la existencia de numerosos trabajos en los que se pone de manifiesto interesantes procesos de recuperación de las propiedades físicas de suelos sometidos a pastoreo. Gradwell (1968, citado por Mullen *et al.*, 1974) indica que el impacto sobre el suelo por los efectos de la compactación habían desaparecido en un año. Stephenson y Veigel (1987) obtiene que la densidad aparente se recuperó a un 92% de sus valores iniciales después de 16 meses de haber finalizado el pastoreo. Orr (1975) es un poco más pesimista en sus conclusiones, ya que indica que es necesario que pase más de 1 año de protección al pastoreo para que el suelo responda de forma significativa y, al menos 4 años, para que se desarrolle una cubierta vegetal continua.

La recuperación de las propiedades físicas del suelo es posible por la elevada tolerancia de la comunidad microbiológica del suelo a la compactación (Shestack y Busse, 2005), es decir, el suelo continúa activo desde el punto de vista biológico, pese al proceso de degradación producido. Esto permite que la degradación de las propiedades físicas del suelo por compactación sea reversible si se reduce la presión sobre el mismo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la recuperación de la vegetación y las propiedades físicas iniciales del suelo pueden verse limitadas si la compactación ha inducido procesos de erosión. El riesgo es mayor en situaciones de compactación severa y en zonas con alto riesgo de erosión, es decir en los espacios montañosos, debido a la elevada pendiente y, sobre todo, en aquellos casos en los que los senderos de pastoreo no siguen las curvas de nivel.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO Y APLICACIÓN EXPERIMENTAL

La metodología de trabajo se ha aplicado de forma experimental en una explotación que se puede considerar representativa de los sistemas ganaderos que se practican en la montaña mediterránea. La finca, de 176 ha de superficie, está enclavada en los Montes de Málaga (Casabermeja, España) (figura 1). La zona se caracteriza por un relieve de colinas pizarrasas, con una altitud entre 650 y 977 m.s.n.m., y una pendiente media del 40%. El clima es mediterráneo templado, con una temperatura media anual de 14,2 °C y unas precipitaciones totales de 701 mm. La vegetación está compuesta, principalmente, por formaciones de matorral, entre las que destacan los jarales, aulagares, bolinares y retamares. Los suelos

son principalmente de textura franca, pobres en materia orgánica (0,5-2%), pH neutro a moderadamente alcalino (pH agua 6,7-8,0), baja capacidad de campo (10,5-15,0 meq/100g⁻¹) y alta saturación en bases (85-100%). Este espacio estuvo sometido en el pasado a una fuerte presión antrópica y se caracteriza, en la actualidad, por los rasgos que Boza (1993b) y González *et al.* (1993) atribuyen a los espacios agrarios en abandono: marginalidad agrícola, despoblamiento, vegetación secundaria con predominio del matorral serial y el encinar disperso y procesos erosivos en diversos grados, aunque existe una razonable capacidad de asentamiento ganadero.

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La metodología que se ha seguido para diseñar el sistema de evaluación de suelos consta de dos fases (figura 2):

- Análisis del medio físico y de la gestión de la explotación ganadera.
- Integración de la información, muestreo, análisis de las propiedades físicas del suelo y diseño del sistema de evaluación.

FIGURA 2. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DEL SUELO A LA DEGRADACIÓN POR USO GANADERO

Fase de análisis del medio físico y de la gestión de la explotación ganadera

La primera fase de trabajo aborda, de forma paralela, el análisis del medio físico y la gestión de la explotación ganadera. En el primer caso, el objetivo es realizar el mapa de suelos a nivel de fase, en función de los factores de diagnóstico que influyen sobre las propiedades físicas del suelo. En el segundo caso, el objetivo es determinar la carga ganadera real y, para ello, se realiza el mapa de cargas ganaderas acumuladas, a partir de la observación de los itinerarios del ganado en pastoreo.

Análisis del medio físico. El objetivo de planificación ganadera desde el punto de vista físico que se plantea en este trabajo exige una cartografía de suelos de la explotación ganadera a nivel de fase¹. Por este motivo, la referencia sobre tipos de suelos no se ha hecho desde el punto de vista taxonómico si no que se ha tenido en cuenta las propiedades de los suelos

1. Las fases de suelo se establecen en función de los criterios elegidos para obtener unidades que sirvan para predecir el uso y el manejo del suelo (Dent y Young, 1981).

que tienen finalidad evaluadora. Con este objetivo, el proceso de análisis del medio físico ha constado de las siguientes etapas:

- a) Determinación de los factores y propiedades del suelo que influyen sobre las propiedades físicas.
- b) Determinación de los factores de diagnóstico de las propiedades físicas del suelo.
- c) Realización del mapa de suelos a nivel de fase.

La compactación del suelo es un fenómeno complejo, cuya comprensión exige tener en cuenta no sólo las consecuencias derivadas de la aplicación de cargas, en este caso ganadera, si no también el papel que ejercen ciertos factores medioambientales en el proceso de compactación. Numerosos trabajos han puesto de manifiesto estas interacciones. Blackburn (1984) indicó que el impacto del pastoreo sobre el suelo depende en gran medida de las características climáticas, de vegetación y suelo de la zona de estudio, además de la intensidad y duración del uso ganadero. Entre las características del suelo con mayor influencia sobre la compactación, destacan la textura (Van Haveren, 1983; Gupta *et al.*, 1989) y la materia orgánica (Wind and Schothorst, 1964).

La metodología de evaluación de suelos que se ha diseñado parte de la hipótesis de que la influencia de la carga ganadera sobre las propiedades físicas del suelo debe estar condicionada por las variables que influyen sobre las mismas, de las cuales dependerá, por lo tanto, la magnitud de la alteración (cuadro 1). Es decir, las variables que influyen sobre las propiedades físicas deben determinar, a igualdad de gestión, diferentes respuestas de los suelos frente a la carga ganadera, lo cual se debe traducir en una diferente capacidad de amortiguación del suelo frente a dicha carga. Por lo tanto, dichas variables, desde el punto de vista de los objetivos planteados en este trabajo, pueden servir para evaluar la vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero.

CUADRO 1. VARIABLES QUE INFLUYEN SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Parámetros y propiedades físicas y químicas del suelo	Parámetros macromorfológicos del suelo	Factores formadores del suelo
Textura	Pedregosidad superficial	Clima
Tipo de estructura	Afloramientos rocosos	Relieve
Materia orgánica	Profundidad efectiva del suelo	Litología
Cationes de cambio: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+		Vegetación
Hierro libre		Actividad humana
Carbonato cálcico y caliza activa		

Una vez establecidas las variables del suelo que influyen sobre las propiedades físicas del suelo, se puede observar que existe un elevado número de parámetros de control de dichas propiedades. La aplicabilidad de un sistema de evaluación con tal número de variables acarrea serias dificultades. Por este motivo y con el objetivo de reducir el número de variables a determinar dentro del sistema de evaluación, sin menoscabo de la fiabilidad del mismo, se determinaron los factores de diagnóstico². Para ello se han utilizado las técnicas de análisis estadístico multivariante, concretamente el análisis factorial (método de extracción de factores: componentes principales; método de rotación: varimax). Se ha utilizado para el tratamiento estadístico el programa SPSS 14.0

Se han realizado 2 análisis factoriales para determinar los factores de diagnóstico de las propiedades físicas del suelo. El primero incluye los parámetros y las propiedades físicas y químicas del suelo, de los cuales se seleccionaron como factores de diagnóstico el carbonato cálcico, la textura y la estructura (cuadro 2). El segundo análisis factorial agrupa a los parámetros

CUADRO 2. ANÁLISIS FACTORIAL DE LOS PARÁMETROS Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

Variables	Matriz de componentes rotados		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Textura	-	0,701	0,524
Estructura	0,386	-	0,805
Materia orgánica	-	-	-0,851
Carbonato cálcico	0,854	-	-
Caliza activa	0,872	-	-
Ica	0,711	-	-
Potencial -33kPa	-	0,964	-
Potencial -1500 kPa	-0,324	0,891	-
Rr	-0,425	0,429	0,633
Hierro libre	-0,675	0,305	-
Varianza explicada (%)	29,41	26,12	21,84
Varianza acumulada (%)	29,41	55,54	77,39

LEYENDA:

Ica: índice de saturación en calcio (Blanco, 2000).

Rr: índice de enrojecimiento (Hurst, 1977, citado por McFadden y Hendricks, 1985).

2. Los factores de diagnóstico son los parámetros que sirven en evaluación para valorar la aptitud del suelo para un determinado uso. De todas las variables que tienen alguna influencia sobre el uso a evaluar se seleccionan las que presentan una mayor correlación con las demás. Se suelen utilizar como criterios de selección de variables, además del nivel de correlación, la facilidad de determinación, ya sea en campo como en análisis rutinarios de laboratorio, con el objetivo de reducir los costes económicos. Costosos análisis de suelos tienen efectos negativos sobre la utilidad del sistema de evaluación, al limitar las posibilidades de aplicación.

macromorfológicos y los factores formadores, obteniéndose como factores de diagnóstico la cobertura vegetal herbácea, la exposición y la pendiente (cuadro 3).

CUADRO 3. ANÁLISIS FACTORIAL DE LOS PARÁMETROS MACROMORFOLÓGICOS Y LOS FACTORES FORMADORES DEL SUELO

Variables	Matriz de componentes rotados		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Cobertura herbácea	-0,816	-	-
Estructura vegetal	0,761	-	-
Cobertura total	0,592	-	0,293
Pedregosidad	-	0,762	0,284
Afloramientos rocosos	-	0,710	-
Exposición	0,491	-0,605	-
Profundidad efectiva	-	-0,517	0,272
Pendiente	-	-	0,891
Varianza explicada (%)	23,07	22,53	14,19
Varianza acumulada (%)	23,07	45,60	59,80

El muestreo de estas variables se ha realizado en dos fases de prospección de campo. En la primera se levantaron 18 perfiles de suelos y en la segunda se realizó un muestreo complementario que ascendió a 105 muestras. Por lo tanto, el análisis factorial se ha efectuado con un total de 123 muestras de suelo. Teniendo en cuenta que el área de trabajo tiene una superficie de 176 ha, la densidad de observaciones resultante es de 69,8 por cada 100 ha, un valor muy superior a las 50 observaciones que recomienda Porta *et al.* (1999) en los muestreos de suelos para estudios a escala de finca.

Una vez determinados los factores de diagnóstico se realizó el mapa de suelos a nivel de fase en base a ellos (figura 3), obteniéndose unas unidades de suelos homogéneas desde el punto de vista de las propiedades físicas del suelo. Es decir, cada una de las unidades definidas en el mapa debe presentar las mismas propiedades físicas sin la influencia de la presión ejercida por la carga ganadera.

El objetivo de este mapa es diferenciar la zona de estudio en función de los factores de diagnóstico que influyen sobre las propiedades físicas del suelo ya que, a priori, se considera que en función de estos factores se puede diferenciar un comportamiento contrastado del suelo en relación a su respuesta frente a la carga ganadera.

FIGURA 3. MAPA DE SUELOS A NIVEL DE FASE

Análisis de la gestión de la explotación ganadera. La gestión de la explotación ganadera, bajo la perspectiva de los objetivos planteados en este trabajo, se ha analizado en base a los siguientes aspectos: gestión socioeconómica y gestión del pastoreo de la explotación.

El análisis de la gestión socioeconómica de la explotación ganadera se ha realizado con el objetivo de abordar todos aquellos aspectos relevantes y con especiales implicaciones sobre la sostenibilidad medioambiental de los sistemas ganaderos que aprovechan el territorio mediante pastoreo. Este apartado se ha centrado en el análisis del tipo y tamaño de rebaño, sistema de explotación ganadera, régimen alimenticio y nivel de suplementación. Conocer el tipo y el tamaño de la cabaña ganadera viene justificado porque, en el primer caso, la carga ganadera se expresa en unidades estándar y cada animal tiene un factor de conversión y, en el segundo caso, porque la influencia de las explotaciones ganaderas sobre el medio ambiente suele ser proporcional al tamaño del rebaño. Con respecto a los sistemas de explotación ganadera es necesario distinguir entre

sistemas intensivos, extensivos y mixtos, porque en función de éstos se pueden establecer diferentes grados de dependencia del ganado frente a los recursos naturales, lo que determina diferentes relaciones con el medio físico. Es decir, el régimen alimenticio y el nivel de suplementación son los que marcan la relación con el medio. De esta forma, si las explotaciones dependen exclusivamente de los recursos naturales, caso de los sistemas extensivos, la presión sobre el medio físico es mucho mayor que aquellos que combinan el uso de la vegetación natural y los insumos externos, como es el caso de los sistemas mixtos. En el caso extremo se encuentran los sistemas intensivos que no aprovechan directamente los recursos del medio, por lo que éstos ejercen una presión nula sobre el escenario natural. La problemática ambiental de estos sistemas es de diferente naturaleza a la que se está abordando en este trabajo.

La finca, objeto de estudio, está compuesta por un rebaño de una sola especie animal, por lo tanto no ha sido necesario ningún factor de conversión. El tamaño del rebaño ha oscilado a lo largo del año (periodo de muestreo entre noviembre de 1998 y enero de 2000) entre 145 y 310 cabras de raza malagueña, de aptitud lechera. El número de efectivos al que se hace referencia es estrictamente el rebaño que practica el pastoreo, y presenta esa oscilación debido a que el titular de la explotación somete el ganado a diferentes tratamientos a lo largo del año. El rebaño, desde noviembre hasta mediados de enero, se divide en dos grupos. Por una parte, se agrupan a los animales que se encuentran, en un primer momento, en avanzado estado de gestación y más tarde durante el periodo de cría. Este grupo de animales practica una jornada de pastoreo que se han reducido considerablemente y la alimentación tiene un marcado componente externo. Mientras que el resto del rebaño sigue practicando regularmente el pastoreo como base de su alimentación. El sistema de explotación es mixto, ya que se combina el aprovechamiento de los recursos pastables del medio con la suplementación alimenticia, basada en la avena, en un concentrado alimenticio y en residuos agrícolas, como las hojas de olivo y el capote de almendra. Esta suplementación varía a lo largo del año, según las necesidades de los animales y los recursos disponibles en el medio, hecho que tiene un reflejo directo en la duración de la jornada de pastoreo (Blanco, 2001).

El análisis de la gestión del pastoreo de la explotación se ha realizado con el objetivo de caracterizar las diferentes estaciones de pastoreo a lo largo del año y estimar las cargas ganaderas acumuladas estacionales.

Los parámetros que se han analizado con este fin, son los siguientes: sistema de pastoreo, calendario y longitud de los itinerarios de pastoreo.

La explotación ganadera practica un sistema de pastoreo guiado y de corta duración. Es decir, el ganado es conducido a las distintas unidades de pasto y permanece en ellas durante cortos periodos de tiempo para pasar seguidamente a una nueva unidad. Este sistema de pastoreo, al no ocupar un área determinada y someterla a un uso prolongado, favorece la existencia de pasos preferenciales del ganado o senderos de pastoreo, creando un paisaje de líneas entrecruzadas de suelo desnudo y tramos de vegetación entre dichos senderos, que no se encuentran afectados por el pisoteo. Las consecuencias de este sistema de pastoreo han sido fundamentales para programar el proceso de muestreo de las propiedades físicas del suelo, como se verá más adelante. El resto de los parámetros citados han sido analizados en una publicación previa (Blanco, 2001).

Los resultados obtenidos han permitido realizar una estimación, tanto estacional como anual, de los itinerarios, frecuencias de pastoreo y cargas ganaderas acumuladas³, así como su representación cartográfica. De todos ellos, el mapa de cargas es el más importante porque refleja la presión ganadera actual a que está sometido el suelo. Por este motivo, se ha utilizado, junto con el mapa de suelos a nivel de fase, en la siguiente fase de trabajo.

La metodología de trabajo que se ha utilizado para analizar la gestión de las explotaciones ganaderas de la zona de estudio han sido las entrevistas periódicas a los ganaderos y la observación de los itinerarios del ganado en pastoreo. Las entrevistas a los ganaderos abarcan todas las temáticas de análisis indicadas anteriormente en cuanto a características socioeconómicas y de gestión pastoril. En relación a la observación de los itinerarios del ganado en pastoreo, hay que indicar que el seguimiento de los itinerarios de los animales es una de las herramientas más utilizadas como técnica de estudio de la gestión del pastoreo. La técnica consiste en la observación en el campo de los itinerarios que siguen los animales, con el objetivo de geo-referenciar las rutas habituales que

3. Se ha utilizado el concepto carga ganadera acumulada establecido por Blanco (2004b) porque refleja de forma más realista la intensidad de uso ganadero sobre el suelo que los tradicionales conceptos de carga o densidad ganadera, al tener en cuenta el tiempo y la frecuencia de pastoreo. En este sentido, caben destacar las conclusiones de Sholefield y Hall (1986), quienes ponen de manifiesto que uno de los aspectos que tienen más influencia sobre la compactación del suelo es la duración y la frecuencia de pastoreo sobre un mismo sitio. Por lo tanto, no es suficiente con expresar la carga ganadera en términos de densidad, sino que es necesario tener en cuenta los aspectos citados.

sigue el ganado en el transcurso del pastoreo. Durante el proceso de seguimiento se han ido anotando posiciones y tiempos de forma asidua, en una base topográfica a escala 1:10.000, utilizando para ello un GPS como herramienta de posicionamiento espacial. Los seguimientos se han realizado con una duración de 1 semana en cada una de las estaciones del año. De esta forma se cubre de forma satisfactoria la variabilidad del clima mediterráneo, debido a la existencia de diferencias en la gestión en virtud de las condiciones climáticas (Blanco, 2001).

Fase de integración de la información, muestreo, análisis de las propiedades físicas del suelo y diseño del sistema de evaluación

La segunda fase de trabajo se ha realizado siguiendo las etapas que se indican a continuación:

- a) Síntesis cartográfica de suelos y gestión: mapa de suelos a nivel de fase diferenciados por la carga ganadera acumulada.
- b) Muestreo de campo: determinación de las propiedades físicas del suelo en las unidades de muestreo seleccionadas.
- c) Análisis de los resultados.
- d) Diseño del Sistema de Evaluación de la Vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero.

En la primera etapa se analiza la relación existente entre la gestión y las unidades de suelos por las que transcurre el pastoreo. Los resultados se representan cartográficamente en un mapa de suelos a nivel de fase diferenciados por la carga ganadera acumulada (figura 4).

En la segunda etapa se determinan las propiedades físicas del suelo en las unidades de muestreo seleccionadas (cuadro 4), las cuales se pueden considerar representativas de las diferentes condiciones medioambientales y de gestión ganadera que se dan en la zona de estudio. Las propiedades físicas utilizadas, así como los métodos empleados son los siguientes: densidad aparente (método del terrón, Blake y Hartge, 1986), porosidad (Guitian y Carballas, 1976), capacidad de campo (método de medición in situ de Cassel y Nielsen, 1986), capacidad de infiltración (infiltrómetro de cilindro simple con carga constante, siguiendo a Bouwer, 1986 y Blanco, 1999) y estabilidad estructural (Índice de Henin *et al.*, 1972).

FIGURA 4. MAPA DE SUELOS A NIVEL DE FASE DIFERENCIADOS POR LA CARGA GANADERA ACUMULADA

El muestreo se ha realizado tanto en los tramos de senderos que crea el ganado en sus desplazamientos, como en los tramos de vegetación entre dichos senderos. Los tramos de vegetación no están afectos por el pastoreo por lo que se puede considerar que estas zonas conservan las propiedades físicas que caracterizan a la unidad sin la influencia del pastoreo. Por el contrario, los senderos de ganado son las zonas afectadas por el impacto del pastoreo sobre el suelo. El desfase que pueda existir en los resultados de ambos tramos se puede considerar como la respuesta del suelo al pastoreo. Esta respuesta puede ser diferente dependiendo de la capacidad de amortiguación del suelo a la degradación, lo que puede venir determinado por el diferente papel que desempeñan los factores de diagnóstico.

CUADRO 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO SELECCIONADAS

Unidades	C. G. acumulada	Carbonato cálcico	Estructura	Textura	Cob. herb. (%)	Exposición	Pendiente (%)
1	Muy elevada	Moder. Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Este Oeste	>55
2	Muy elevada	No Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Norte	>55
3	Elevada	Ligeram Calcáreo	Bloques <2mm	FAL; FA; FAr	25-50	Norte	40-55
4	Media	Ligeram. Calcáreo	Bloques <2mm	FAAr; FL	25-50	Sur	10-25
5	Media	No Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Este Oeste	40-55
6	Baja	No Calcáreo	Bloques <2mm	FAAr; FL	10-25	Indefinida	<10
7	Muy elevada	No Calcáreo	Bloques <2mm	FAL; FA; FAr	25-50	Este Oeste	25-40
8	Media	No Calcáreo	Granular	F	25-50	Indefinida	<10
9	Elevada	No Calcáreo	Bloques <2mm	FAAr; FL	10-25	Indefinida	<10
10	Baja	No Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Este Oeste	40-55
11	Media	No Calcáreo	Bloques <2mm	F	10-25	Sur	10-25
12	Elevada	No Calcáreo	Granular	FAL; FA; FAr	50-75	Norte	25-40
13	Media	No Calcáreo	Granular	F	25-50	Sur	40-55
14	Baja	No Calcáreo	Bloques <2mm	FAAr; FL	25-50	Sur	>55
15	Baja	Moder. Calcáreo	Bloques <2mm	FAAr; FL	25-50	Sur	40-55
16	Baja	Fuertem. Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Este Oeste	40-55
17	Media	No Calcáreo	Bloques <2mm	F	25-50	Norte	40-55
18	Baja	No Calcáreo	Bloques <2mm	FAL; FA; FAr	<10	Norte	>55
19	Elevada	Fuertem Calcáreo	Bloques <2mm	F	10-25	Norte	25-40
20	Muy elevada	Moder. Calcáreo	Bloques <2mm	A	25-50	Este Oeste	40-55

C. G. acumulada: carga ganadera acumulada (A/ha/año) (Animales/hectárea/año). Baja: 100-500; media: 500-1000; elevada: 1000-2000; muy elevada: >2000. Textura. F: franca; FAr: franco-arcillo-arenosa; FL: franco-limosa; FAL: franco-arcillo-limosa; FA: franco-arcillosa; FAr: franco-arenosa; AL: arcillo-limosa; AAr: arcillo-arenosa; A: arcillos.

Los resultados obtenidos en el muestreo (cuadro 5) se han sometido a un análisis factorial (método de extracción de factores: componentes principales; método de rotación: varimax), utilizando el programa SPSS 14.0. Las matrices de componentes rotados, tanto para los tramos de vegetación

CUADRO 5. PROPIEDADES FÍSICAS MEDIAS

	Unidades	DA (gr/cm ³)	P (%)	CC (%)	I (cm/h)	Is
1	Sendero	1,36	48,36	29,32	10,01	4,17
	Vegetación	1,26	50,25	43,77	35,58	2,19
2	Sendero	1,39	47,28	32,09	34,19	2,41
	Vegetación	1,25	51,46	38,94	76,73	2,09
3	Sendero	1,34	51,40	36,63	8,34	2,99
	Vegetación	1,28	52,98	40,07	28,19	1,89
4	Sendero	1,30	51,29	37,72	32,52	1,90
	Vegetación	1,24	52,57	40,73	63,39	1,73
5	Sendero	1,52	42,63	26,57	18,90	2,61
	Vegetación	1,30	50,93	38,44	37,25	2,19
6	Sendero	1,46	42,72	27,10	8,34	4,21
	Vegetación	1,31	50,14	36,90	42,53	2,52
7	Sendero	1,49	42,16	25,80	24,18	2,54
	Vegetación	1,25	51,75	37,73	80,07	2,77
8	Sendero	1,43	44,02	30,07	7,42	3,01
	Vegetación	1,27	49,19	36,91	30,02	3,66
9	Sendero	1,45	43,54	27,08	8,34	2,22
	Vegetación	1,32	45,24	27,05	46,7	3,26
10	Sendero	1,41	47,07	31,27	20,56	2,38
	Vegetación	1,16	52,42	52,25	41,14	2,37
11	Sendero	1,50	45,95	28,58	15,01	5,97
	Vegetación	1,38	46,80	32,02	19,45	3,65
12	Sendero	1,35	47,42	31,74	41,70	2,37
	Vegetación	1,30	50,23	35,78	75,06	1,66
13	Sendero	1,49	42,63	25,79	16,67	2,87
	Vegetación	1,23	50,64	40,04	53,38	2,34
14	Sendero	1,54	41,74	24,54	9,45	4,34
	Vegetación	1,41	46,52	28,94	35,02	4,01
15	Sendero	1,32	50,54	35,37	13,89	3,92
	Vegetación	1,28	53,15	41,08	84,23	3,17
16	Sendero	1,31	50,86	35,65	32,24	2,34
	Vegetación	1,27	53,59	41,41	70,06	2,41
17	Sendero	1,33	46,57	32,34	38,36	2,36
	Vegetación	1,27	50,75	38,01	80,07	1,99
18	Sendero	1,47	46,70	28,46	20,01	2,79
	Vegetación	1,29	49,93	36,59	77,56	3,07
19	Sendero	1,40	49,75	32,91	6,67	3,01
	Vegetación	1,22	52,90	41,37	55,88	1,97
20	Sendero	1,39	48,09	28,11	12,78	3,19
	Vegetación	1,29	52,06	37,94	35,86	3,33

LEYENDA: DA: densidad aparente; P: porosidad; CC: capacidad de campo; I: capacidad de infiltración; Is: estabilidad estructural.

como de senderos (cuadro 6), presentan para el factor 1 unas cargas muy elevadas en tres de las propiedades físicas analizadas, concretamente en la densidad aparente, porosidad y capacidad de campo, por ello, se ha denominado “factor propiedades físicas I”. Dichas propiedades se relacionan con el contenido de carbonato cálcico, en el sentido que a medida que aumenta su contenido, desciende la densidad aparente y aumenta la porosidad y la capacidad de campo.

El factor 2, en los tramos de vegetación, presenta cargas elevadas en los factores de diagnóstico relativos al relieve, concretamente en la exposición y la pendiente, lo que se relaciona con la capacidad de infiltración. El aumento de esta propiedad está relacionado con la tendencia hacia exposiciones Norte y el paso de las unidades de relieve de cumbre de reducida pendiente a las unidades de ladera donde la pendiente se incrementa. Este factor se ha denominado “factor relieve”.

Para el caso del análisis factorial de los tramos de senderos, el factor 2 presenta unas cargas muy elevadas en la capacidad de infiltración y la inestabilidad estructural, relacionándose estas propiedades físicas con la cobertura herbácea. Es decir, el descenso de la inestabilidad estructural y el aumento de la capacidad de infiltración están relacionados con el aumento de la cobertura herbácea en el suelo. Este factor se ha denominado “propiedades físicas II”.

CUADRO 6. ANÁLISIS FACTORIAL. TRAMOS DE VEGETACIÓN Y SENDEROS

Variables	Matriz de componentes rotados Tramos de vegetación				Matriz de componentes rotados Tramos de sendero			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Carbonato cálcico	0,759	-	-0,308	0,305	0,784	-0,261	-	-
Estructura	-	-	0,841	-	-0,265	0,585	-0,440	-
Textura	-	-	-	-0,852	-	-	-	0,987
Cobertura herbácea	-	-	0,769	-	-	0,721	-	-
Exposición	-	0,865	-	-	-	0,269	0,829	-
Pendiente	-	0,746	-	-	-	-	0,889	-
Densidad aparente	-0,720	-	-	0,398	-0,888	-0,375	-	-
Porosidad	0,879	0,351	-	-	0,948	-	-	-
Capacidad campo	0,892	0,269	-	-	0,908	0,264	-	-
Capacidad infiltración	-	0,641	-	-	-	0,759	0,359	-
Inestabilidad estructural	-0,518	-0,484	-0,267	0,347	-	-0,682	-	-
Varianza explicada (%)	28,14	20,52	14,15	11,30	29,98	20,53	17,10	9,52
Varianza acumulada (%)	28,14	48,66	62,82	74,12	29,98	50,52	67,62	77,15

Para analizar el comportamiento de los factores de diagnóstico en función de los resultados obtenidos en el muestreo de las propiedades físicas del suelo, se han representado en gráficos de dispersión simple (figuras 5.1 y 5.2) las puntuaciones factoriales de los dos primeros factores obtenidos en los análisis estadísticos anteriores (cuadro 7).

CUADRO 7. MATRIZ DE PUNTUACIONES FACTORIALES DE LOS TRAMOS DE VEGETACIÓN Y SENDEROS

Unidades de muestreo	Tramos de vegetación				Tramos de sendero			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
1	0,9497	-0,0079	-0,4419	-0,2116	0,5811	-0,8540	0,6484	0,7898
2	-0,2890	1,6607	0,0031	-0,9013	-0,1195	0,8052	1,4210	0,9140
3	0,6969	0,3726	0,0713	1,0099	1,2198	-0,1373	0,3723	-1,0378
4	0,9901	-0,4711	0,2817	-0,3433	1,5389	0,9083	-0,9220	-0,0778
5	-0,1750	0,2919	-0,0324	-0,5530	-1,2324	0,0841	0,7204	0,6715
6	-0,1360	-1,3675	-0,5006	-0,4870	-0,5469	-1,1212	-1,5018	-0,1665
7	-0,0980	0,5898	0,3379	0,4758	-1,2054	0,3855	0,2948	-1,1177
8	-0,1699	-2,1280	1,5308	-0,5631	-0,3607	0,6623	-2,3856	0,5811
9	-1,5954	-1,2753	-0,6718	-0,3185	-0,4977	-0,5047	-1,4897	-0,4865
10	0,8357	0,1275	0,1053	-1,1617	-0,0892	0,3619	0,4721	0,7272
11	-1,3477	-1,1860	-1,0598	-0,2905	-0,4131	-1,5761	-0,5463	1,0769
12	-0,6839	1,0711	2,7277	0,6961	-0,1412	2,6085	-0,2045	-0,9012
13	0,0270	-0,1797	1,5932	-1,0362	-1,3445	0,7983	-0,4730	0,7033
14	-1,9987	-0,0198	-0,3834	1,2476	-1,5099	-0,8368	0,5846	0,0199
15	0,8755	-0,0830	-0,2643	0,7159	1,4550	-0,5516	-0,3491	0,0573
16	1,3977	0,0090	-0,5105	0,1503	1,6480	0,3420	0,3484	0,8105
17	-0,5028	1,4919	0,0553	-0,9167	0,1076	1,0786	0,9972	0,8870
18	-1,0394	1,5542	-1,5811	0,0825	-0,6468	-0,8740	1,5189	-1,0157
19	1,5329	-0,0388	-1,2096	-0,6672	1,2149	-1,1886	0,2884	0,4726
20	0,7303	-0,4116	-0,0506	3,0724	0,3422	-0,3906	0,2055	-2,9080

El gráfico de dispersión de los tramos de vegetación (figura 5.1) muestra que todas las unidades de naturaleza calcárea (parcelas 1, 3, 4, 15, 16, 19 y 20) presentan positivo el factor propiedades físicas I. Algunas unidades silíceas de exposición sur y este-oeste (parcelas 10 y 13) presentan también un factor propiedades físicas I positivo; mientras que, el resto de las unidades silíceas presentan el mismo factor negativo. Estos resultados indican que las unidades con puntuaciones factoriales más elevadas y, por tanto, con mejores propiedades físicas, son las de naturaleza calcárea, lo que da pie a pensar que estas unidades podrían presentar un mejor comportamiento frente al impacto que supone el pastoreo sobre el suelo.

FIGURA 5.1. GRÁFICO DE DISPERSIÓN SIMPLE DE LOS FACTORES 1 Y 2 DEL ANÁLISIS FACTORIAL (TRAMOS DE VEGETACIÓN)

Fuente: Blanco, 2004a.

El gráfico de dispersión de los tramos de senderos (figura 5.2) permite observar que la respuesta del suelo a la presión de la carga ganadera ha sido diferente en función de los factores de diagnóstico. Teniendo en cuenta, de forma conjunta, los factores I y II, hay que destacar que los mejores resultados se han obtenido en determinadas unidades calcáreas con carga ganadera media (parcelas 4 y 16) y en una de las unidades silíceas de exposición norte (parcela 17), que también presenta una carga ganadera media. En todos los casos la cobertura herbácea es superior al 25%. Los peores resultados se han obtenido en las unidades silíceas con exposición norte, sur e indefinida que presentan una cobertura herbácea inferior al 25%, para el caso de las unidades sur (parcelas 11 y 14) e indefinida (parcelas 6 y 9), e inferior al 10% en el caso de la unidad norte (parcela 18), independientemente de la carga que presentan.

FIGURA 5.2. GRÁFICO DE DISPERSIÓN SIMPLE DE LOS FACTORES 1 Y 2 DEL ANÁLISIS FACTORIAL (TRAMOS DE SENDEROS)

Fuente: Blanco, 2004a.

En el caso de las unidades calcáreas, es muy significativo que las que están sometidas a una carga ganadera acumulada baja y media son las que presentan las puntuaciones factoriales más elevadas en el factor I (parcelas 4 y 16) y a medida que se incrementa la carga ganadera las puntuaciones se reducen, aunque en ningún caso llegan a ser negativas. Por esta causa, se ha considerado que las unidades calcáreas son las que presentan la mayor capacidad de carga, por lo que se puede considerar que pueden sostener una carga ganadera acumulada moderada (500-1000 animales/ha/año).

Las unidades silíceas de exposición norte y, concretamente, la parcela 17, que se encuentra sometida a una carga ganadera acumulada media,

presenta muy buenos resultados, ya que para ambos factores las puntuaciones son positivas. Mientras que, el resto de las unidades silíceas de exposición norte presentan unas puntuaciones negativas en alguno de los factores. Las parcelas 2 y 12 se encuentran sometidas a una carga ganadera acumulada muy elevada y elevada, respectivamente, y la parcela 18 que, aunque la carga ganadera es baja, se caracteriza por presentar una cobertura herbácea inferior al 10%. Este hecho se ha interpretado como la causa de que esta unidad presente unas puntuaciones factoriales negativa en ambos factores. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, se puede establecer que las unidades silíceas de exposición norte, con una cobertura herbácea superior al 10% pueden sostener una carga ganadera acumulada media (500-1000 animales/ha/año). Mientras que, las unidades silíceas de exposición norte, con una cobertura herbácea inferior al 10%, tan sólo pueden sostener una carga ganadera acumulada muy baja (<100 animales/ha/año).

Las unidades silíceas de exposición sur (parcelas 11, 13 y 14) presentan, en todos los casos, alguno de los factores negativo, independientemente de la carga que presenten. La parcela 14 está sometida a una carga ganadera acumulada baja y alcanza una puntuación negativa para ambos factores. Estos resultados indican que estas unidades podrían sostener tan sólo una carga ganadera acumulada muy baja (<100 animales/ha/año).

Las unidades silíceas de exposición este-oeste (parcelas 5, 7 y 10) presentan, en todos los casos, un factor propiedades físicas I negativo y un factor propiedades físicas II positivo. Las unidades sometidas a una carga ganadera media y muy elevada (parcelas 5 y 7) son las que presentan las puntuaciones más negativas; mientras que, la que está sometida a una carga baja (parcela 10) presenta unas puntuaciones mejores y próximas a cero en el eje del factor 1. Estos resultados permiten deducir que estas unidades pueden sostener una carga ganadera acumulada próxima al intervalo bajo (100-500 animales/ha/año).

Las unidades silíceas de exposición indefinida (unidades de cumbre) (parcelas 6, 8 y 9) presentan unas puntuaciones factoriales siempre negativas en el factor 1, aunque en el factor 2 las puntuaciones son diferentes en función de la cobertura herbácea que presenten las unidades. De esta forma, las unidades 6 y 9, con carga ganadera baja y elevada, respectivamente, y una cobertura herbácea inferior al 25% en ambos casos, presentan los peores resultados, ya que las puntuaciones factoriales son negativas para ambos factores. Por el contrario, la parcela 8, con una

cobertura herbácea superior al 25% y sometida a una carga ganadera media, presenta un factor propiedades físicas II positivo. Estos resultados permiten deducir que las unidades silíceas con exposición indefinida y con cobertura herbácea inferior al 25% podrían soportar de forma sostenible una carga ganadera acumulada muy baja (<100 UA/ha/año). Mientras que, estas mismas unidades, con una cobertura herbácea superior al 25%, se pueden considerar que podrían soportar una carga ganadera baja (100-500 UA/ha/año).

Los resultados obtenidos han permitido deducir que los factores de diagnóstico exposición, carbonato cálcico y cobertura herbácea son los más significativos para evaluar el suelo para uso ganadero desde el punto de vista físico. Al mismo tiempo, estos resultados permiten establecer el intervalo de carga ganadera acumulada óptimo para cada una de las fases de suelos que constituyen la explotación ganadera (cuadro 8), así como su representación cartográfica (figura 6).

La presencia de carbonato cálcico en el suelo favorece la formación de estructuras estables ya que actúa como elemento estructurante. Esta circunstancia determina que los valores de densidad aparente y porosidad sean muy adecuados, lo que unido a la mayor resistencia de los agregados a la desintegración, favorece las propiedades hidrológicas del suelo, ya que aumenta la capacidad de infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo.

La exposición juega también un papel muy destacado sobre las propiedades físicas. Su influencia se relaciona con el contenido en materia orgánica del suelo (Churchill, 1982; Cerdà, 1995). En este sentido, cabe indicar que las zonas con exposición de umbría, a diferencia de lo que ocurre en las de solana, presentan unos contrastes edafoclimáticos más reducidos, ya que las variaciones entre los procesos de humectación-desección son menos acusados. Por lo tanto, estas exposiciones presentan un balance de humedad anual más elevado que las exposiciones de solana, lo que favorece el desarrollo de la vegetación, cuyas influencias sobre el contenido de materia orgánica en el suelo son evidentes. Además se favorece la estabilidad a los procesos erosivos en estas exposiciones. El mayor contenido en materia orgánica de las exposiciones Norte incide favoreciendo el desarrollo de la estructura del suelo. Estas diferentes características de los suelos con la exposición se reflejan en las propiedades físicas del suelo. Todo ello determina la existencia de una diferente capacidad de amortiguación de los suelos al impacto del uso ganadero.

CUADRO 8. CARGA GANADERA ACUMULADA ÓPTIMA DE LAS UNIDADES TERRITORIALES QUE COMPONEN LA EXPLOTACIÓN GANADERA

Unidades territoriales	Carga ganadera acumulada óptima (A/ha/año)*
1. Unidades de cumbre no calcáreas (cobertura herbácea <25%) y unidades de ladera no calcáreas con exposición Norte (cobertura herbácea <10%) y exposición Sur	Muy baja (<100)
2. Unidades de ladera no calcáreas con exposición Este y Oeste y unidades de cumbre (cobertura herbácea >25%)	Baja (100-500)
3. Unidades de ladera calcáreas (todas las exposiciones) y unidades de ladera no calcáreas con exposición Norte (cobertura herbácea >10%)	Moderada (500-1000)

* A/ha/año: animales por hectárea y año.

Fuente: Blanco, 2004a.

FIGURA 6. MAPA DE CARGA GANADERA ACUMULADA ÓPTIMA

La cobertura herbácea ejerce una influencia menos destacada que las anteriores variables sobre las propiedades físicas de los suelos analizados.

Sin embargo, es necesario destacar que determinados autores han demostrado que la cobertura herbácea favorece la estabilidad de la estructura, la porosidad y la infiltración, a través de la incorporación de materia orgánica en el suelo, fruto de su descomposición (Cerdà, 1995; Johnston, 1962). Los mejores resultados se han obtenido en las unidades con cobertura herbácea >25%, e incluso >10%, en el caso de las unidades silíceas con exposición Norte y en las unidades calcáreas, con cualquier tipo de exposición, debido sin duda a la mejores condiciones que existen en estas unidades. Las unidades de suelos con porcentajes de cobertura herbácea inferior a los valores indicados presentan las propiedades físicas más degradadas.

CONCLUSIONES

La metodología de trabajo desarrollada ha permitido valorar los factores de diagnóstico en función de su respuesta a las variaciones de la carga ganadera. Los resultados obtenidos han permitido deducir que los factores exposición, carbonato cálcico y cobertura herbácea son los más significativos para evaluar la vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero. Es necesario destacar, además, que estos parámetros son de fácil determinación, lo que permite planificar el territorio para uso ganadero de una forma rápida y eficaz. Al mismo tiempo, la comprensión de todas estas relaciones ha hecho posible estimar los intervalos de carga ganadera acumulada óptimos de cada una de las unidades de suelos de la explotación ganadera, lo que ha permitido realizar una planificación pecuaria de la zona de estudio, desde el punto de vista físico.

La extrapolación de los resultados obtenidos en este trabajo, más allá del ámbito espacial donde se ha desarrollado el proceso experimental, sería muy arriesgado. No hay que olvidar que las experiencias de este trabajo se circunscriben a una montaña típicamente mediterránea con unas características muy particulares, no sólo desde el punto de vista climático, sino también altitudinal, topográfico, edafológico y humano, que las diferencian de otras áreas de montaña. La diversidad de características ambientales de los escenarios montañosos de nuestro país susceptibles de ser explotados en régimen ganadero extensivo, unido a la diversidad de cabañas ganaderas que se explotan bajo este sistema, hacen necesario aplicar la metodología expuesta, no sólo a otros escenarios montañosos sino también a otros tipos de cabañas ganaderas que practiquen un sistema de explotación ligado al medio. En este sentido, cabe destacar que la aportación más importante que se hace en este trabajo es la base metodológica empleada.

Finalmente, es necesario destacar que el presente trabajo pone las bases para propiciar la elaboración de un Sistema integrado de Evaluación de la Capacidad/Vulnerabilidad de Tierras para uso ganadero extensivo como herramienta de planificación ganadera. Ambas líneas de aproximación a la sostenibilidad del uso ganadero del territorio son diametralmente opuestas en cuanto a enfoques pero con muy buenas perspectivas de integración, ya que responden a los mismos objetivos de planificación pecuaria.

Recibido 30.01.08

Aceptado 08.04.08

BIBLIOGRAFÍA

- ANÓ, C. (1996): *Metodología de evaluación de suelos para el ámbito mediterráneo*, Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- ANÓ, C. y SÁNCHEZ, J. (2002): *Orientaciones de uso agrario. Una metodología para la planificación de usos del suelo en la Comunidad Valenciana*. Biblioteca de Ciencias, 5. Madrid, CSIC, pp. 129.
- ANÓ, C.; SÁNCHEZ, J. y ANTOLÍN, M^a C. (1998): "Interpretación de la información edafológica en el ámbito mediterráneo valenciano: indicador de capacidad e indicador de vulnerabilidad", *Edafología*, 4, pp. 117-130.
- BLACKBURN, W. H. (1984): "Impacts of grazing intensity and specialized grazing systems on watershed characteristics and responses", *Developing Strategies for Rangeland Management*. Boulder, CO., USA, National Research Council/National Academy of Sciences. Westview Press, 927-983.
- BLAKE, G. R. y HARTGE, K. H. (1986): "Bulk density", en PAGE, A. L., MILLER, R. H. y KEENEY, D. R. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition. Madison. Wisconsin Agronomy 9, USA, 363-375.
- BLANCO, R. (1999): "El infiltrómetro de cilindro como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea". *Baética*, 21, 9-33.
- BLANCO, R. (2000): *Propuesta metodológica para la aplicación del análisis de las propiedades físicas edáficas a la evaluación del suelo para usos ganaderos*. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.
- BLANCO, R. (2001): "Variaciones estacionales en la gestión del pastoreo en una explotación caprina lechera de un área de montaña mediterránea". *Pirineos*, 156, 119-134.
- BLANCO, R. (2002): "La evaluación de suelos para uso ganadero como herramienta de ordenación de los espacios naturales protegidos". XI Coloquio de Geografía Rural. Santander, 19-28.
- BLANCO, R. (2004a): "Land evaluation for extensive grazing by Estimating Soil Vulnerability to Degradation: A Case Study in a Goat Farm in Southern Spain", en SCHNABEL, S. y FERREIRA, A. (ed.), *Sustainability of Agro-Silvo-Pastoral Systems*. Advances in GeoEcology. 37. Catena Verlag, 365-376.
- BLANCO, R. (2004b): "El tratamiento del concepto 'Carga Ganadera' en los sistemas de evaluación de suelos para uso ganadero". *Estudios Geográficos*, 254, 143-150.

- BLÁZQUEZ, A. (2000): *Ordenación pastoral del monte de propios de Tolox (Málaga)*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. Universidad de Córdoba.
- BOUWER, H. (1986): "Intake rate: cylinder infiltrometer", en PAGE, A. L., MILLER, R. H. y KEENEY, D. R. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Second Edition. Agronomy 9. Madison. Wisconsin, USA, 825-844.
- BOZA, J. (1993a): "Uso ganadero de las zonas áridas del SE. Ibérico". *Paralelo*, 37, 16, 53-58.
- BOZA, J. (1993b): "Metodología integrada de evaluación y receptividad ganadera de pastos mediterráneos", en GÓMEZ CABRERA, A. y PEDRO SANZ, E. J. de (coord.), *Nuevas Fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*. Colección: Congresos y Jornadas, nº 30. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla, 11-18.
- BOZA, J. (1993c): "Planificación ganadera del sureste ibérico", *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña y su relación con la conservación del medio natural*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, 59-66.
- BOZA, J.; ROBLES, A. B.; FERNÁNDEZ, P.; BERMÚDEZ, F. F. y REBOLLAR, J. L. (1997): "Planificación ganadera de pastos de zonas desfavorecidas". XXXVII Reunión Científica de la S.E.E.P. Sevilla-Huelva, 395-409.
- CASSEL, D. K. y NIELSEN, D. R. (1986): "Field capacity and available water capacity", en PAGE, A.L.; MILLER, R. H. y KEENEY, D. R. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods*. Wisconsin, USA, Second Edition. Agronomy 9. Madison., 901-926.
- CERDÀ, A. (1995): *Factores y variaciones espacio temporales de la infiltración en los ecosistemas mediterráneos*. Logroño, Geoforma, 151 pp.
- CHURCHILL, R.R. (1982): "Aspect-induced differences in hillslopes processes". *Earth Surface Processes and Landforms*, 7, 171-182.
- CMA-UC (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE-UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA) (2001a): *Uso racional ganadero en el Parque Natural Sierra de las Nieves*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- CMA-UC (CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE-UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA) (2001b): *Uso racional ganadero en el Parque Natural Montes de Málaga*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- DENT, D. y YOUNG, A. (1981): *Soil survey and land evaluation*. Boston, G. Allen & Unwin, 278 pp.
- FERNÁNDEZ, P. (1995): *Aprovechamiento silvopastoral de un agrosistema mediterráneo de montaña en el SE Ibérico. Evaluación del potencial forrajero y la capacidad sustentadora*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada.
- FILLAT, F. (1991): "Utilización y conservación del medio natural por los rumiantes en áreas de montaña", en BERMÚDEZ, F. F. (ed), *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña*. CSIC, 17-28.
- FRUTOS, L. M. y RUIZ, E. (2002): "La base productiva agropecuaria de las montañas aragonesas: diversidad, permanencias y cambios". XI Coloquio de Geografía Rural. Santander, 593-603.
- GARCÍA, A.; FRÍAS, J. J.; RODRÍGUEZ, J. J.; HERRERA, M. y ACERO, R. (1998): *El sistema caprino extensivo en la Sierra Norte y Este de Jaén, como base del desarrollo sostenible*. Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Córdoba.
- GONZÁLEZ, J. L.; ROBLES, A. B.; MORALES, M. C.; FERNÁNDEZ, P.; PASSERA, C. y BOZA, J. (1993): "Evaluación de la capacidad sustentadora en pastos semiáridos del SE Ibérico", en GÓMEZ CABRERA, A. y PEDRO SANZ, E. J. de (coord.), *Nuevas Fuentes de Alimentos para la Producción Animal IV*. Colección: Congresos y Jornadas, nº 30. Sevilla, Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía, 31-45.
- GUEVARA, J. C.; CAVAGNARO, J. B.; ESTÉVEZ, O. R.; LE HOUÉROU, H. N. y STASI, C. R. (1997): "Productivity, management and development problems in the arid rangelands of the central Mendoza plains (Argentina)". *Journal of Arid Environments*, 35, 575-600.

- GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P. y DE FRANCHI, S. A. (1989): "Compaction effects on soil structure". *Adv. in Agronomy*, 42, 311-338.
- GUTIÁN, F. y CARBALLAS, T. (1976): *Técnicas de análisis de suelos*. Santiago de Compostela, Pico Sacro.
- HACKER, R. B. (1984): "Rangeland inventory and evaluation in Australia", en SIDERIUS, W. (ed), *Proceedings of the workshop on land evaluation for extensive grazing (LEEG)*. ILRI, Wageningen, 61-68.
- HENIN, S.; GRAS, R. y MONNIER, G. (1972): *El perfil cultural. El estado físico del suelo y sus consecuencias agronómicas*. Madrid, Mundi-Prensa.
- JOHNSTON, A. (1962): "Effects of grazing intensity and cover on the water intake rate of fescue grassland". *J. Range Manage*, 15, 79-82.
- LÓPEZ, M. (2002): "Consolidación y perspectivas de la actividad ganadera en las áreas de montaña de Galicia: la importancia de la explotación extensiva de bovino de carne y ovino". XI Coloquio de Geografía Rural. Santander, 699-705.
- MARTÍN, R. (2000): "La renovación ganadera en los Montes de Pas, el valle de Carriedo". X Coloquio de Geografía Rural, Lleida, 82-91.
- MCFADDEN, L. D. y HENDRICKS, D. M. (1985): "Changes in the content and composition of pedogenic iron oxyhidroxides in a chronosequence of soils in Southern California". *Quaternary Research*, 23, 189-204.
- MENA, Y. C.; FERNÁNDEZ, P. E.; MOLERA, M. y GASTO, J. (1995): "Capacidad sustentadora animal del monte mediterráneo. Aplicación a una finca cinegética". *Actas XXXV Reunión Científica de la S.E.E.P.*, 75-79.
- MONTERRAT, P. (1994): "El pastoreo que dinamizará un progreso sostenido", *Pastos*, vol. XXIV (1), 137-163.
- MONTERRAT, P. (1996): "El pastoreo crea y fomenta los paisajes de montaña más estables". *Actas XXXVI Reunión Científica de la S.E.E.P.*, 119-120.
- MULLEN, G. J.; JELLEY, R. M. y MCALEESE, D. M. (1974): "Effects of animal treading on soil properties and pasture production". *Irish J. Agr. Res.*, 13, 171-180.
- ORR, H. K. (1975): "Recovery from soil compaction on bluegrass range in the Black Hills". *Trans. ASAE*, 18, 1.076-1.081.
- ORTUÑO, S. F. y FERNÁNDEZ-CAVADA, J. L. (1995): "Perspectivas económicas de las producciones ganaderas extensivas en las áreas desfavorecidas ante la liberalización de los mercados", *Revista Española de Economía Agraria*, 174. Madrid, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- PARDO, C. J. (1994): "Ganadería extensiva y aprovechamiento de los ecosistemas naturales de montaña: evolución, crisis y transformación". VII Coloquio de Geografía Rural. Córdoba, 254-260.
- PASSERA, C. B. y ALLEGRETTI, L. I. (1993): "Evaluación pastoral y capacidad sustentadora de los pastos montanos del Parque Natural de la Sierra de Castril". *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña y su relación con la conservación del medio natural*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, 87-94.
- PÉREZ, R. y DÍAZ-FIERROS, F. (1988): "Resistencia del suelo y susceptibilidad a la compactación en terrenos a monte sometidos a pastoreo". *Anales de Edafología y Agrobiología*. Tomo XLVII, 3-4, 547-560.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1999): *Edafología. Para la agricultura y el medio ambiente*. 2ª edición. Madrid, Mundi-Prensa.
- REVUELTA, J. F. y EGUREN, V. G. (1990): "Aspectos económicos de la producción extensiva de rumiantes en áreas de montaña y zonas desfavorecidas". *Sistemas Extensivos de producción de rumiantes en zonas de montaña*. Ciencias Veterinarias, vol. XIII, 185-222.
- ROBLES, A. B. (1990): *Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agro-sistema semiárido del SE ibérico*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

- ROBLES, A. B. y FERNÁNDEZ, P. (1993): "Evaluación de la capacidad sustentadora en diferentes comunidades vegetales del sudeste español: experiencias piloto", *Nutrición de rumiantes en zonas áridas y de montaña y su relación con la conservación del medio natural*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, 75-86.
- ROBLES, A. B. y PASSERA, C. B. (1995): "Native forage shrub species in south-eastern Spain: forage species, forage phytomass, nutritive value and carrying capacity", *Journal of Arid Environments*, 30, 191-196.
- SCHOLEFIELD, D. y HALL, D. M. (1986): "A recording penetrometer to measure the strength of soil relation to the stresses exerted by a walking cow". *J. Soil Sci.*, 37, 165-172.
- SEGRELLES, J. A. (1998): "Nuevas orientaciones ganaderas en España: la necesidad de potenciar los sistemas pecuarios extensivos". IX Coloquio de Geografía Rural. Álava, 495-500.
- SHESTAK, C. J. y BUSSE, M. D. (2005): "Compaction alters physical but not biological indices of soil health". *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, 236-246.
- SOW, N. A. (1981): *Range inventory and evaluation for domestic livestock and wildlife: a case study in Mali around Dyoumara (Kaarta)*. The Netherlands, ITC, Enschede.
- STEPHENSON, G. R. y VEIGEL, A. (1987): "Recovery of compacted soil on pastures used for winter cattle feeding", *Journal of Range Management*, 4 (1), 46-48.
- VAN HAVEREN, B. P. (1983): "Soil bulk density as influenced by grazing intensity and soil type on a short grass prairie site". *J. Range Management*, 36, 586-588.
- VAN ROOTSelaar, G.; VAN DER LAAN, F. B.; TAKKEN, W.; FIGEIREDO, J. (1975): *Rangeland evaluation of the Urrongas Plains in the interior of the northern part of the province of Inhambane, Mozambique*. FAO.
- WIND, G. P. y SCHOTHORST, C. J. (1964): "The influence of soil properties on suitability for grazing and of grazing on soil properties". *Transactions of the Eighth International Congress of Soil Science*. Bucharest, 571-580.
- ZORITA, E. (1990): "Los sistemas pastorales y la conservación de la naturaleza en la España peninsular. Una perspectiva histórica", en REVUELTA, J. F. y CAÑÓN, F. (coord.), *Sistemas extensivos de producción de rumiantes en zonas de montaña*. *Ciencias Veterinarias*, vol. XIII, 13-39.

Resumen

No existen actualmente herramientas de planificación efectivas que permitan ordenar el uso ganadero extensivo y semiextensivo en los espacios montañosos, tanto en su dimensión económica como medioambiental. Hasta ahora se ha utilizado un Sistema de Evaluación de la Capacidad de Tierras, que busca la planificación pecuaria del territorio a través de un enfoque eminentemente económico, ya que se basa esencialmente en determinar la capacidad sustentadora de la vegetación y los requerimientos energéticos de los animales. Esta visión parcial de la realidad ha olvidado tener en cuenta la capacidad física del territorio para el uso ganadero, porque debemos tener en cuenta que sostenibilidad económica no equivale a sostenibilidad medioambiental. Por este motivo, se ofrece en este trabajo una metodología para desarrollar un Sistema de Evaluación de la Vulnerabilidad del suelo a la degradación por uso ganadero, que permitirá completar la planificación ganadera contemplando la dimensión medioambiental del fenómeno.

Palabras clave: pastoreo sostenible, vulnerabilidad del suelo, sistemas de evaluación de suelos, montaña.

Abstract

Successful evaluation techniques that allow to planning the extensive grazing use in the mountain areas, as in their economic and environmental dimensions, do not exist at the moment. An Evaluation System of Land Capacity for grazing use planning, through an eminently economic approach, has been used up to now. The purpose is to determinate the carrying capacity, based essentially on the amount and nutritional quality of forage available and the animal requirements. This approach has forgotten to consider the land physical capacity for grazing use, because we must consider that economic sustainability is not equivalent to environmental sustainability. For this reason, the purpose of this paper is to develop a methodology to design an Evaluation System of the soil vulnerability to degradation, that allow to planning the grazing use, contemplating the environmental dimension of the phenomenon.

Key words: grazing sustainable, soil vulnerability, soil evaluation systems, mountain.

Résumé

Il n'existe pas actuellement d'outils de planification effectifs qui permettent d'ordonner l'utilisation d'élevage extensive et semiextensive dans les espaces montagneux, tant dans leur dimension économique comme environnementale. Jusqu'à présent on a utilisé pour évaluer la potentialité éleveuse du terrain une Système d'Évaluation de la Capacité de Terres selon une analyse éminemment économique, puisqu'elle se base essentiellement en déterminer la capacité de soutien de la végétation et les demandes énergétiques des animaux. Cette vision partielle de la réalité a oublié tenir compte de la capacité physique du territoire pour l'utilisation d'élevage, et nous devons souligner que soutenabilité environnementale n'équivaut pas à soutenabilité économique. Pour ce motif, ce travail offre une méthodologie pour développer un Système d'Évaluation de la Vulnérabilité à la dégradation du sol par utilisation d'élevage, qui permettra de compléter la planification d'élevage en considérant la dimension environnementale du phénomène.

Mots clé: pacage soutenable, vulnérabilité du sol, systèmes d'évaluation de sol, montagne.