
Universidad de Granada
Facultad de Ciencias
Departamento de Ecología

SISTEMAS AGROSILVOPASTORALES EN EL SUDESTE IBÉRICO: UNA
ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LOS MONOCULTIVOS LEÑOSOS DE
SECANO

Memoria presentada por la Licenciada en Ciencias Biológicas María Eugenia Ramos
Font para optar al grado de Doctora Internacional por la Universidad de Granada.

Granada, 3 de Septiembre de 2009

Fdo: María Eugenia Ramos Font

Directores de la Tesis Doctoral

Fdo. Dra. Ana Belén Robles Cruz

Fdo. Dr. José Luis González Rebollar

Editor: Editorial de la Universidad de Granada
Autor: María Eugenia Ramos Font
D.L.: GR. 3526-2009
ISBN: 978-84-692-6407-2

Sistemas agrosilvopastorales en el sudeste ibérico: una alternativa sostenible a los monocultivos leñosos

ÍNDICE

Sistemas agrosilvopastorales en el sudeste ibérico: una alternativa sostenible a los monocultivos leñosos

Índice	3
Resumen	15
Summary	21
Objeto del trabajo	27
Introducción general	35
1. La España semiárida y la agricultura de secano	37
2. Elementos que conforman los agrosistemas de secano en el sudeste ibérico	38
2.1. El almendro	40
2.2. Las cubiertas vegetales	41
2.2.1. La avena	43
2.2.2. La veza	45
2.2.3. Otras cubiertas	46
2.3. El ganado ovino	49
2.4. El suelo	52
Bibliografía	59
Material y Métodos	73
1. Zona de estudio	75
1.1. Usos del suelo	76
1.2. Manejo agrícola de los principales cultivos	77
1.2.1. Almendro	77
1.2.2. Avena de regadío	77
1.2.3. Avena de secano	78
1.3. Manejo del ganado	79
1.3.1. Horario de pastoreo	79
1.3.2. Alimentación y calendario de utilización de los recursos	79

2. Estudio de pastos	81
2.1. Evaluación de la producción	81
2.2. Estudio de la composición florística	82
2.2.1. Método destructivo	82
2.2.2. Método no destructivo: Point Quadrat	82
2.3. Estudio de la biodiversidad	84
2.4. Estudio de la similaridad entre pastos	84
2.5. Valoración nutritiva	85
2.5.1. Materia seca	85
2.5.2. Materia orgánica	85
2.5.3. Fracción fibrosa	85
2.5.3.1. Fibra neutro detergente (FND)	86
2.5.3.2. Fibra ácido detergente (FAD)	86
2.5.3.3. Lignina ácido detergente (LAD)	86
2.5.4. Componentes nitrogenados	86
2.5.4.1. Proteína bruta	86
2.5.4.2. Nitrógeno ligado a la FAD	87
2.5.5. Digestibilidad in vitro	87
2.6. Capacidad de carga ganadera	89
3. Estudio de suelos	90
3.1. Metodología de muestreo de suelos	90
3.2. Determinación de algunas propiedades físicas del suelo	91
3.2.1. Tamaño medio de los agregados y cambios en el tamaño medio de los agregados.	91
3.2.2. Estabilidad estructural en húmedo	92
3.2.3. Humedad gravimétrica	94

3.2.4. Tasa de infiltración _____	94
3.3. Determinación de algunas propiedades químicas del suelo _____	97
3.3.1. Determinación del pH del suelo. _____	97
3.3.2. Carbono hidrosoluble _____	97
3.4. Determinación de algunas enzimas del suelo _____	98
3.4.1. Actividad deshidrogenasa. _____	98
3.4.2. Actividad β -glucosidasa _____	98
3.4.3. Actividad fosfatasa _____	99
3.4.4. Actividad arilsulfatasa _____	100
4. Bibliografía _____	101
<i>Capítulo 1. Efectos del manejo del suelo en la producción y composición botánica de los pastos de una “dehesa de almendros” en el sudeste ibérico.</i> _____	105
Resumen _____	107
1. Introducción _____	109
2. Material y métodos _____	110
2.1. Zona de estudio _____	110
2.2. Diseño experimental _____	111
2.3. Variables de estudio _____	111
2.3.1. Producción _____	111
2.3.2. Composición florística y cobertura _____	112
2.3.3. Índice de Shannon _____	112
2.3.4. Índice de Jaccard _____	113
2.4. Análisis estadístico _____	113
3. Resultados _____	113
4. Discusión _____	119
5. Conclusiones _____	122

6. Bibliografía.	123
-------------------------	------------

Capítulo 2: Ley-Farming and seed dispersal by sheep: two methods for improving fallow pastures in semiarid mediterranean environments? ____ 127

Abstract	129
-----------------	------------

1. Introduction	131
------------------------	------------

2. Methods	133
-------------------	------------

2.1. Study area	133
-----------------	-----

2.2. Experimental design	134
--------------------------	-----

2.3. Experiment 1	134
-------------------	-----

2.3.1. Biomass yield	135
----------------------	-----

2.3.2. Chemical composition	135
-----------------------------	-----

2.3.3. In vitro digestibility	135
-------------------------------	-----

2.3.4. Carrying capacity	136
--------------------------	-----

2.3.5. Floristic composition	136
------------------------------	-----

2.3.6. Statistical analysis	137
-----------------------------	-----

2.4. Experiment 2	138
-------------------	-----

2.4.1. Seed recovery	138
----------------------	-----

2.4.2. Seedling establishment under greenhouse conditions	139
---	-----

2.4.3. Statistical analysis	139
-----------------------------	-----

3. Results	140
-------------------	------------

3.1 Experiment 1	140
------------------	-----

3.1.1. Biomass yield	140
----------------------	-----

3.1.2. Nutritive value and carrying capacity	140
--	-----

3.1.3. Botanical composition	141
------------------------------	-----

3.2. Experiment 2	144
-------------------	-----

3.2.1. Seed recovery	144
----------------------	-----

3.2.2. Seedling emergence under greenhouse conditions. _____	145
4. Discussion _____	147
4.1. Experiment 1 _____	147
4.2. Experiment 2. _____	151
5. Conclusions _____	152
6. Acknowledgements _____	153
7. References _____	154
<i>Capítulo 3: Organic vs. mineral fertilization in rainfed and irrigated oats in semiarid environments: a case study of the effects on forage yield, soil biological properties, and profitability _____</i>	165
Abstract _____	167
1. Introduction. _____	169
2. Material and Methods _____	171
2.1. Study site _____	171
2.2. Experimental design _____	171
2.3. Study variables _____	172
2.3.1. Oats yield and weed incidence _____	172
2.3.2. Soil enzyme activities _____	173
2.3.3. Production costs _____	174
2.4. Statistical analysis _____	178
3. Results _____	178
3.1. Oats yield and weed incidence _____	178
3.2. Soil enzyme activities _____	179
3.3. Profitability _____	180
4. Discussion _____	181
4.1. Oats yield _____	181

4.2. Soil enzyme activities	182
4.3. Profitability	183
5. Conclusions	185
6. Acknowledgments	185
7. References	186
<i>Capítulo 4: Oats and oat-vetch as rainfed fodder-cover crops in semiarid environments. Effects of fertilization and harvest time on forage yield and quality</i>	193
Abstract	195
1. Introduction	197
2. Methods	199
2.1. Study site	199
2.2. Experimental design	199
2.3 Measured variables	201
2.3.1. Forage yield	201
2.3.2. Weed biomass and species composition	201
2.3.3. Chemical composition	201
2.3.4. In vitro digestibility	202
2.3.5. Carrying capacity	202
2.3.6. Almond yield	203
2.4. Statistical analysis	203
3. Results	203
3.1. Forage yield	203
3.2. Dry-weight percentage of vetch	205
3.3. Weed percentage	206
3.3. Chemical composition	206

3.5. In vitro digestibility and carrying capacity _____	209
3.6. Almond yield _____	210
4. Discussion _____	211
5. Conclusions _____	214
6. Acknowledgements _____	215
7. References _____	216
<i>Capítulo 5: Soil response to different management practices in rainfed orchards in semiarid environments _____</i>	223
Abstract _____	225
1. Introduction _____	227
2. Materials and methods _____	229
2.1. Study site _____	229
2.2. Experimental design _____	230
2.3. Soil sampling _____	231
2.4. Physical properties _____	231
2.5. Chemical properties _____	232
2.6. Enzyme activities _____	232
2.7. Statistical analysis _____	233
3. Results _____	234
3.1. Physical properties _____	234
3.2. Chemical properties _____	235
3.3. Enzyme activities _____	237
3.4. Discriminant analysis _____	239
4. Discussion _____	241
4.1. Physical properties _____	241
4.2. Chemical properties _____	243

4.3. Enzyme activities	244
4.4. Discriminant analysis	245
5. Conclusions	245
6. Acknowledgments	246
7. References	247
<i>Capítulo 6: Cover crops under different managements vs. frequent tillage in almond orchards in semiarid conditions: effects on soil quality</i>	257
Abstract	259
1. Introduction	261
2. Materials and Methods	263
2.1. Study area	263
2.2. Experimental design	264
2.3. Soil sampling	267
2.4. Physical parameters	267
2.5. Chemical parameters	268
2.6. Enzyme activities	268
2.7. Statistical analyses	269
3. Results	270
3.1. Physical properties	270
3.2. Chemical properties	272
3.3. Enzyme activities	274
3.4. Discriminant analysis	276
4. Discussion	278
4.1. Physical properties	278
4.2. Chemical properties	279
4.3. Enzyme activities	280

4.4. Discriminant analysis	282
5. Conclusions	283
6. Acknowledgments	283
7. References	284
<i>Discusión general</i>	293
Bibliografía	305
<i>Conclusiones</i>	311
<i>Conclusions</i>	317
<i>Anexo I: Perfiles del suelo</i>	323
Zona de ensayo nº 1	325
Datos generales	325
Perfil 1 (Norte-Sur)	326
Perfil 2 (Este-Oeste)	328
Zona de ensayo nº 2	330
Datos generales	330
Perfil 3 (Norte-Sur)	331
Perfil 4(Este-Oeste)	334

Sistemas agrosilvopastorales en el sudeste ibérico: una alternativa sostenible a los monocultivos leñosos

RESUMEN

Este trabajo de Tesis propone la integración de las cubiertas vegetales y del ganado segureño en los cultivos de almendros como una alternativa a los monocultivos manejados con suelo desnudo, con el fin de mejorar la sostenibilidad de estos agrosistemas mediante la diversificación de la producción y la protección y mejora de los suelos. Para ello, se evaluaron distintas cubiertas espontáneas y distintas cubiertas cultivadas -bajo manejo ecológico y convencional- en términos de producción y calidad de forraje y en términos de mejora de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo.

En primer lugar, se realizó un estudio de la cubierta espontánea (pastos naturales) y se comprobó que la composición florística estaba determinada principalmente por dos parámetros: el tipo de manejo del suelo (labrado el otoño anterior y no pastoreado o sin labrar -durante dos o tres años- y pastoreado) y la pluviometría. El manejo con laboreo reciente favoreció un aumento de la diversidad y de la riqueza de familias, cuyas especies pertenecían fundamentalmente a comunidades arvenses. En cambio, la cubierta manejada sin laboreo y con pastoreo fue menos diversa y rica en familias, dominada por especies de interés pascícola propias de pastos terofíticos nitrófilas y subnitrófilas. La sequía produjo una disminución de la riqueza específica y de la calidad de los pastos, debido a la ausencia de leguminosas y a la escasez de especies de mayor valor nutritivo (Capítulo 1).

El estudio de la composición específica demostró la necesidad de incrementar el contenido en proteína de los pastos, ya que estos eran pobres en leguminosas. Para ello, se sembró una cubierta con una mezcla de gramíneas, leguminosas y crucíferas (barbecho semillado) con alta capacidad de resiembra o rebrote. Asimismo, se evaluó el papel del ganado en la mejora de pastos mediante el redileo y la introducción, mediante dispersión endozoócora, previa ingesta, de dichas especies en los pastos (barbecho estercolado-semillado). Ambos tipos de cubierta fueron comparados y se observó que en el primer año de estudio el barbecho semillado estuvo compuesto por un 58% de malas hierbas, mientras que en el segundo año, este porcentaje se redujo al 27%. En el barbecho estercolado-semillado, sólo un 1%, en el primer año, y un 4% del peso seco de la producción total, en el segundo año, correspondió a las especies ingeridas por el ganado, debido al bajo porcentaje de recuperación de semillas y a la escasa capacidad de establecimiento de las plántulas. En este caso, la composición florística estuvo dominada por especies arvenses en el primer año de estudio y por especies de pastos terofíticos nitrófilas y subnitrófilas, en el segundo. El contenido en proteína y la digestibilidad fue

mayor para el barbecho semillado que para el barbecho estercolado-semillado (Capítulo 2)..

La avena es el alimento básico en la dieta de la oveja en la zona de estudio. Evaluamos la producción y rentabilidad de la avena en secano y regadío ensayando distintas dosis de abonado mineral (producción convencional) y de estiércol de oveja (producción ecológica). En los años secos, el regadío mostró aumentar la producción drásticamente e incluso con un solo episodio de riego en mayo, llegó a duplicarse. El tipo de abonado no mostró grandes diferencias en la producción. Sin embargo, los costes del modo de producción ecológico resultaron menores que los del convencional y los beneficios derivados de la venta de excedentes del cereal ecológico serían mayores que los derivados del cereal convencional (Capítulo 3).

El cultivo ecológico (abono orgánico comercial) y el cultivo convencional (abono mineral) de avena y avena-veza con distintos modos de aprovechamiento (pastoreo, heno, grano y paja) fueron evaluados como cultivos de cobertera y forraje para el ganado. Se observó que las producciones de avena-veza fueron similares o ligeramente mayores que las de avena, aunque la calidad nutritiva fue mayor en el caso de la avena veza. Las diferencias de producción entre el cultivo ecológico y el convencional fueron pequeñas, siendo un año mayor la producción convencional y al año siguiente, la ecológica. Sin embargo, el abono mineral favoreció la proporción de veza y, por tanto, la cantidad de proteína cuando se realizó un aprovechamiento en pastoreo. Este tipo de aprovechamiento también favoreció la producción de almendra gracias a que su temprana eliminación redujo la competencia con el cultivo. No obstante, puesto que los almendros sólo producen una cosecha rentable cada 5 años, el agricultor puede decidir el momento de aprovechamiento de la avena o avena-veza en función de las necesidades de forraje y/o las previsiones de producción de almendra (Capítulo 4).

Los efectos sobre el suelo de las distintas cubiertas fueron evaluados y comparados con un monocultivo labrado frecuentemente (Capítulos 5 y 6). Los suelos manejados con cubiertas vegetales (pastos) mostraron una mayor estabilidad estructural de los agregados en húmedo, una mayor cantidad de carbono orgánico total y nitrógeno total, un pH menor, y una mayor actividad enzimática. Además, aquellas cubiertas que contenían leguminosas (avena-veza y barbecho-semillado) aumentaron su contenido en carbono hidrosoluble y su actividad fosfatasa. Los suelos fertilizados con abonos orgánicos (estiércol o abono comercial) mostraron mayores actividades enzimáticas (Capítulos 3 y

6), mientras que los fertilizados con abonos minerales presentaban concentraciones más elevadas de fósforo asimilable. El único efecto negativo de las cubiertas detectado fue la disminución de la humedad del suelo respecto al suelo labrado, por lo que, para paliar este efecto, se debe realizar una eliminación de las cubiertas en primavera bien mediante un pase de cultivador o bien mediante pastoreo. Aunque la humedad registrada fue mayor en el primer caso, en el segundo, además, se detectó un aumento del carbono hidrosoluble y de las actividades enzimáticas.

SUMMARY

This PhD dissertation proposes the integration of herbaceous covers and of ovine livestock (Segureña breed) in almond fields as an alternative to the clean cultivation management, to improve the sustainability of these agrosystems by means of diversifying the production, and by protecting and improving soil quality. In order to do so, several spontaneous and sod covers -under conventional or organic management- were surveyed in terms of production and of forage quality as well as in terms of the improvement of the soil physical, chemical and bioquimical properties.

Firstly, a study on the spontaneous cover, i.e., natural pastures, was carried out. It was observed that floristic composition was mainly determined by two factors: the type of soil management (tilled in autumn and without grazing or no tillage -for more than two or three years- and grazed) and the rainfalls. Recent tillage favoured an increase of the diversity and of the family richness, and species belonged to weeds communities. On the other hand, the pasture which was managed without tillage and grazed was less diverse and less rich in families, and was dominated by species belonging to terophytic nitrophyllous and subnitrophyllous pastures. Drought contributed to decrease the specific richness and the quality of the pastures due to the absence of legumes and the scarcity of high nutritive value species (Chapter 1).

The study of the specific composition showed that the natural pastures need to increase their protein content as they lacked of legumes. In this sense, a ley- fallow of grasses, legumes and crucifers was sod. All the species had a high self-reseeding or resprouting ability. Likewise the role of the livestock in the improvement of pastures by the introduction of the previous species while manuring (seed-manured fallow) was tested. Both types of fallows were compared and the results of the first year of research revealed that the ley-fallow was composed by a 58% of weeds, whilst in the second year the percentanje dropped to a 27%. In the seed-manured fallow, only 1%, for the first year, and 4% of the dry weigh yield, for the second, corresponded to the dispersed species, due to the low seed recovery, but also to low seedling germination. In this case, the floristic composition was dominated by weeds in the first year and by species of terophytic nitrophyllous and subnitrophyllous pastures, in the second. The protein content and digestibility was higher in the ley-fallow than in the see-manured fallow (Chapter 2).

Oat is the basic element in the diet of sheeps in the area of our study. The yield and profitability of rainfed and irrigated oats was evaluated for different doses of mineral (conventional farming) and farmyard manure (organic farming). During the dry years

irrigation dramatically increased the production, and even a single period of irrigation in May proved to double it. The type of fertilizer did not show substantial differences in the production. However, costs of the organic farming were lesser than the conventional ones; in fact, benefits from the sale of surplus of organic cereal would be higher than those from the conventional cereal (chapter 3).

Oats and oat-vetch under organic (commercial organic fertilizer) and conventional management (mineral fertilizer) under different harvesting regimes (grazing, hay, grain-straw) were evaluated as fodder-cover crops. Oat-vetch yields were similar or slightly higher than oats, although nutritive value was greater for oat-vetch. Differences between organic and conventional management were small, each one being the best on alternate years. However the mineral fertilizer favoured the vetch proportion, and therefore the protein content, when it was harvested by grazing. This type of harvesting also helped almond's production as its early disposal reduced the competence with the almond crop. Nevertheless, as almonds only produce one profitable yield every 5 years, farmers might benefit from storing fodder for feeding gaps during the year, and in this case harvesting as hay or as grain and straw would be a suitable choice. (Chapter 4).

The effect of the different herbaceous covers on soil properties were evaluated and compared to a frequently tilled almond crop (Chapter 5 and 6). Soil managed with herbaceous covers (pastures) showed a better wet aggregates stability, greater organic carbón and total nitrogen, lower pH and greater enzyme activities. Besides, those covers including legumes (oat-vetch and ley-fallow) increased their water soluble carbon and phosphatase activity. Additionally, soils organically fertilized showed a higher enzymatic activity (Chapters 3 and 6), whilst those with mineral fertilization showed higher concentrations of available phosphorus. The only negative effect detected for the herbaceous covers was the decrease in soil moisture compared to the frequently tilled soil. In order to alleviate this, covers should be removed in spring by chisel ploughing or by grazing. Although the former registered higher levels of humidity, in the latter an increase of water soluble carbon and enzyme activities was detected.

OBJETO DEL TRABAJO

Esta tesis doctoral comienza a gestarse en el año 2004 como consecuencia de un encuentro de trabajo con los responsables de la finca de “Los Morales” (Huéscar) perteneciente a la Diputación de Granada, ante la necesidad de plantear alternativas de mejora de pastos en la misma, dentro de un contexto ecológico.

La finca tiene unas 360 ha de las cuales más de 60 ha es monte bajo en el que predominan el enebro (*Juniperus oxycedrus* L.), la sabina (*Juniperus sabina* L.), el romero (*Rosmarinus officinalis* L.), los tomillos (*Thymus zygis* Loefl. ex L., y *T. mastichina* (L.) L.) y el esparto (*Stipa tenacissima* L.) El resto de la finca se reparte entre zonas de secano (215 ha), de regadío (65 ha) e instalaciones (corrales, naves agrícolas, etc.). Los cultivos de secano son almendro, avena, cebada y triticale. Pero la avena es también el principal cultivo de regadío en rotación con hortícolas como el tomate, el pimiento, la lechuga, el apio y el brócoli.

Adicionalmente, la finca tiene una cabaña de 600-800 ovejas de raza “segureña”. La mayoría de las ovejas están en régimen extensivo alimentándose de los pastos y forrajes que produce la finca, mientras las recién paridas y corderos permanecen estabulados.

Las condiciones ambientales de la zona configuran un lugar muy susceptible a la marginalidad y al abandono rural, destacando la crudeza del clima semiárido continental de inviernos extremadamente fríos (alcanzando incluso -20° C), heladas primaverales frecuentes, y veranos calurosos (temperaturas superiores a los 40° C); todo ello bajo una pluviometría media de 480 mm, que oscila entre 250 y 600 mm anuales. Además, los suelos calizos, con un pH entre 8.2 y 8.6, originan problemas de déficit de nutrientes, como el fósforo, que quedan bloqueados por el carbonato.

Este conjunto de limitaciones ambientales y nuestras reuniones con el director y el capataz de la finca permitieron ir comprendiendo la realidad de un entorno del que la finca era muy representativa, tanto en lo ambiental como en lo agrario. A pesar de que el almendro es el cultivo que ocupa una mayor superficie en la finca (unas 180 ha), es el cultivo menos rentable, puesto que se suele helar casi todos los años: sólo uno, de cada cinco años, proporciona una cosecha rentable. Por este motivo, desde hace algunos años, se decidió aclarar el marco de plantación en una zona de unas 40 ha, pasando de 7 x 7 m a 7 x 14 m, y se sembró entre las calles cereal que es cosechado para obtener heno o paja y grano, o bien es aprovechado a diente por el ganado. Hasta el año 2001, el resto de la superficie de almendros era pastoreado por las ovejas durante los meses de invierno. Sin

embargo, a partir de dicho año, la inspección administrativa de la superficie dedicada a almendro obligaba a tener el suelo desnudo (labrado con regularidad) para poder recibir la subvención. Eso implicaba una frecuencia de laboreo de 3 ó 4 veces al año, dependiendo de la pluviometría, con el consiguiente gasto de combustible y maquinaria, más el perjuicio para el suelo y el inconveniente de no poder utilizar los pastos bajo los almendros. El resultado de esta limitación administrativa llevó a prescindir de la subvención de la mitad de la superficie de almendros, para poder tener pastos para las ovejas y ser autosuficientes en lo que a alimentación del ganado se refiere. Paralelamente, la dirección técnica de la finca tomó la decisión de ensayar alternativas de producción según los criterios de la agricultura ecológica.

En tal contexto surgieron tres ideas claves para esta investigación:

1º Aumentar la cantidad y la calidad de los pastos naturales y forrajes de la finca, que eran pobres en proteína porque a penas incluían leguminosas.

2º Evaluar el efecto del laboreo frecuente en los almendros, impuesto por la inspección administrativa de la subvención, sobre las propiedades del suelo y cuantificar la pérdida de los recursos forrajeros como consecuencia de dicho laboreo.

3º Estudiar cómo afectaría, a la producción de cereales y leguminosas, el cambio de sistema de cultivo si se optaba por pasar de convencional a ecológico.

Estas tres líneas han orientado la investigación llevada a cabo en estos años, la cual, dada la representatividad de la finca en el contexto de la zona y de sus problemas, recogía argumentos de oportunidad para los agricultores y ganaderos de la comarca. Formalmente, el estudio se ha enmarcado en un convenio entre el CSIC y la Diputación de Granada ligado a un proyecto de investigación concedido por DAP (Desarrollo Agrario y Pesquero, Junta de Andalucía) en la "Convocatoria de concurso para la realización de proyectos de investigación y transferencia de tecnología en el ámbito de la agricultura y ganadería ecológica" durante el período 2005-2007, bajo el título "Manejo ecológico de pastos y recursos ganaderos en cultivos arbolados del sudeste español: una experiencia de gestión integrada en los altiplanos de Granada". En nuestra participación al mismo ha sido determinante la concesión de una beca de Formación de Personal Universitario del Ministerio de Ciencia y Tecnología, concedida a la doctoranda.

El objetivo de nuestra participación en dicho proyecto ha sido el de evaluar un conjunto de alternativas que favorezcan una mejora de la calidad del pasto y del forraje para las ovejas preservando la calidad del suelo y minimizando el uso de insumos (abonos, pesticidas, etc.); en definitiva, favorecer un manejo ecológico y sostenible de la finca.

El estudio se vertebó a través de una serie de experimentos y ensayos de campo que han ido ajustándose a lo largo de los años en función de los resultados obtenidos y la experiencia adquirida. En el año 2004 se plantearon dos ensayos de campo. En el primero se evaluó la producción de biomasa y composición florística del pasto bajo los cultivos de almendros con distintos tipos de manejo del suelo (Capítulo 1). En el segundo ensayo (Capítulo 3) se compara la producción y la rentabilidad de la avena en secano y en regadío, y tanto con abono mineral como con estiércol de oveja, tomando muestras de suelo en el segundo año para evaluar su actividad biológica. Estos primeros ensayos de campo y subsiguientes análisis de laboratorio, han sido fundamentales para poner a punto las metodologías de muestreo y empleo de maquinaria.

El estudio de la composición florística del pasto evidenció en seguida el interés de mejorarlos con la introducción de especies de leguminosas y crucíferas adaptadas a estos ambientes y al tipo de manejo, optando por especies que fueran semiperennes y/o tuvieran capacidad de resiembra (Capítulo 2). Asimismo, en este capítulo se evalúa el papel del ganado en la mejora de pastos mediante el redileo y la dispersión de semillas de interés forrajero. Paralelamente se realizó un estudio sobre los efectos de los distintos manejos y tipos de pasto, incluyendo los mejorados, y el pastoreo, sobre las propiedades del suelo; y qué diferencias había con respecto a un cultivo de almendros periódicamente labrado (Capítulo 5).

En cuanto al estudio de avena, se prolongó el ensayo dos años más. Sin embargo, dadas las dificultades de conseguir (a veces) estiércol de oveja, decidimos evaluar el efecto de un abono orgánico comercial frente a un abono mineral sobre la producción y la calidad forrajera de avena y, también, de avena-veza, en secano (Capítulo 4). Esta vez, integramos los cultivos herbáceos en una parcela de almendros, a modo de cultivo de cobertera, y, en el segundo año, pudimos estudiar el efecto sobre la producción de almendra. De forma paralela, se analizamos el efecto de los distintos manejos del cultivo de cobertera sobre las propiedades del suelo, comparándolo con un cultivo periódicamente labrado (Capítulo 6).

En relación a lo anteriormente expuesto, el **objetivo general** de esta Tesis Doctoral es estudiar alternativas de manejo a los cultivos de almendros permitiendo el desarrollo de los pastos naturales o sembrando forrajes de secano y el pastoreo con ganado ovino, bajo un clima semiárido con marcada continentalidad

Los **objetivos específicos** que nos planteamos son:

1. Analizar la producción y la composición florística de los pastos espontáneos que se desarrollan bajo los cultivos de almendros.
2. Realizar una mejora de pastos mediante la siembra de una mezcla de leguminosas, gramíneas y crucíferas, y mediante el redileo de ovejas que habían consumido dicha mezcla, evaluando la productividad, la calidad nutritiva y la capacidad de resiembra.
3. Estudiar el papel de la oveja en la mejora de pastos mediante el estudio de su capacidad de dispersión de semillas.
4. Cuantificar la producción, la incidencia de malas hierbas y la rentabilidad de un cultivo de avena en secano y regadío con distintas dosis de abono mineral o de estiércol.
5. Cuantificar la producción, la calidad nutritiva, la incidencia de malas hierbas y los efectos sobre la producción de almendra de un cultivo de avena y avena veza sembrados como cultivo de cobertera, con distintos tipos de abonado y distintas fechas de aprovechamiento.
6. Comparar los efectos sobre las propiedades del suelo de las distintas cubiertas vegetales y cultivos, con sus distintos manejos y abonados, frente al laboreo frecuente en cultivos de almendros.

Objeto del trabajo

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. LA ESPAÑA SEMIÁRIDA Y LA AGRICULTURA DE SECANO

Después de Turquía, España es el país europeo con mayor porcentaje de zonas áridas (19% del territorio) (Le Houérou, 1993). El sudeste ibérico es la zona de clima mediterráneo con menores precipitaciones y el de mayor coeficiente de variación para la precipitación anual de toda la península (Fig. 1, Montero de Burgos y González Rebollar 1983). El clima mediterráneo se caracteriza por las lluvias irregulares, la sequía estival y la variabilidad interanual. Por otro lado, la eficacia de la lluvia puede ser muy baja debido a los frecuentes episodios de torrencialidad y, localmente, a la baja capacidad de infiltración del suelo. En los ambientes semiáridos continentales estas condiciones adversas se agravan debido a los veranos muy calurosos y a los inviernos fríos, con heladas tardías de primavera. En tales condiciones, los suelos pueden llegar a ser pobres en materia orgánica (MO) debido a que la climatología no favorece una alta producción de vegetación natural y al mal manejo del suelo durante la actividad agrícola. Todas estas características climáticas y edafológicas hacen que éstas sean zonas marginales de productividad (Cantero-Martínez et al., 2004).

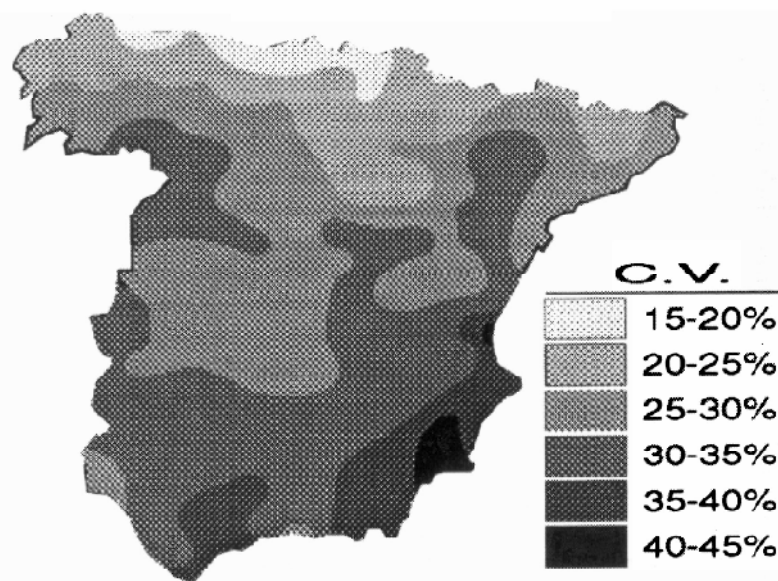


Figura 1. Mapa de irregularidad pluviométrica. CV: Coeficiente de variación interanual (Montero de Burgos y González Rebollar, 1983).

Cuando España entró en la Unión Europea, el 64% de su superficie agraria útil fue calificada como “desfavorecida” y afectaba directamente a un 37% de la población (MAPA, 1990), y en Andalucía, estas cifras se elevaban al 70% y 50%, respectivamente.

Actualmente, en esta comunidad el 73% de las tierras de cultivo están destinadas a la agricultura de secano (MAPA, 2006). Sin embargo, actualmente, muchas de esas tierras están siendo convertidas en nuevos regadíos, mientras buena parte de los regadíos históricos están siendo transformados en suelo urbano. El espacio agrícola de secano se ha transformado en un espacio en abandono, cuyos habitantes, en el mejor de los casos, son agricultores a tiempo parcial. Por tanto, el mantenimiento y la eficiencia de los sistemas agrícolas mediterráneos de secano son indispensables para mantener las poblaciones rurales y evitar el éxodo a los núcleos urbanos en Andalucía, y en otras regiones mediterráneas. Asimismo, Peiteado et al. (2006) consideran que éstos son los sistemas agrarios con mayor potencial para contribuir a los principales objetivos medioambientales de la Unión Europea (Directivas 7, 8, 9 y 10): protección del suelo y agua en cantidad y calidad; freno al declive de la biodiversidad; conservación del paisaje y lucha contra el cambio climático.

Los sistemas de secano son, generalmente, agrosistemas con producciones medias-bajas, con bajos requerimientos de insumos externos (Gliessman, 1998), y cuyos cultivos están adaptados a las condiciones agroclimáticas del territorio. Se caracterizan por el uso de prácticas agrarias orientadas a facilitar la reposición natural del agua y los nutrientes, como, por ejemplo: 1) sistemas de laboreo que favorecen la penetración y el almacenaje del agua de lluvia en el suelo, 2) laboreo frecuente para eliminar la vegetación adventicia (malas hierbas), 3) períodos de barbecho, 4) rotaciones, 5) siembra o plantación de cultivares resistentes a la sequía y la integración del ganado (Gliessman, 1998; Peiteado et al., 2006).

2. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS AGROSISTEMAS DE SECANO EN EL SUDESTE IBÉRICO

Los agrosistemas de secano del sudeste ibérico están basados en el cultivo de cereales (a menudo en rotación con las leguminosas), olivo, almendro, vid, en menor medida, y la cría de ganado ovino y caprino en régimen extensivo o semiextensivo. Este trabajo evalúa un agrosistema de secano en el que los protagonistas son el almendro, las cubiertas vegetales (cereales y leguminosas), el ganado ovino y el suelo; y sus interacciones. (Fig. 2).

Las cubiertas vegetales cumplen un papel esencial en la protección del suelo y en el aumento de la fertilidad, principalmente, por la protección que ejercen frente al impacto de las gotas de lluvia y por el incremento de materia orgánica, como veremos más adelante. Además, pueden contribuir significativamente en la alimentación del ganado. Por su parte, el suelo sirve de soporte y aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo de las cubiertas vegetales y al almendro. Este último protege el suelo frente a la erosión a la vez que es capaz de bombear los nutrientes desde los estratos más profundos, dejándolos disponibles, tras la caída de las hojas, en el horizonte superficial del suelo. El almendro aporta sombra al ganado, que en estos ambientes con veranos muy calurosos es un elemento clave para el bienestar animal (Fig. 3).

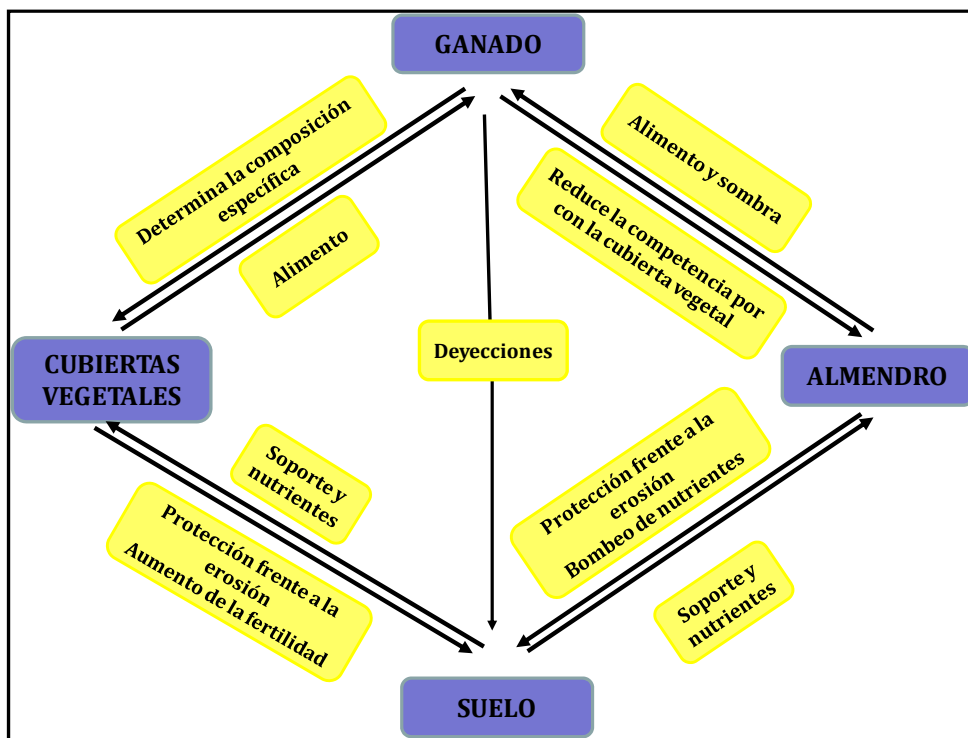


Figura 2. Elementos que conforman un agrosistema de secano y las interacciones que se establecen entre ellos.

Asimismo, en la época de la cosecha la oveja consume los pericarpos de la almendra y, a lo largo del mes de septiembre, las hojas. El ganado, en este caso el cordero segureño, es el producto más rentable en este modelo de agrosistema y cumple dos funciones importantes dentro de este: mejora de la fertilidad y disminución de la competencia entre la cubierta y el almendro. Las deyecciones del ganado durante el

pastoreo, aportan MO y nutrientes al suelo (Bol et al., 2003 y, por tanto, se favorece una mejora de la estructura y de la fertilidad del suelo. Por otro lado, puede influir significativamente en la composición específica de las cubiertas favoreciendo a aquellas especies de mayor palatabilidad y valor nutritivo (San Miguel, 2001), como comentaremos posteriormente.



Figura 3. Ovejas segureñas sesteando bajo la sombra de los almendros.

2.1. EL ALMENDRO

Los cultivos de almendro ocupan un 4 % de las tierras de cultivo en España, y suponen el 15% de los cultivos leñosos de secano, concentrándose, fundamentalmente, en la zona del Ebro, en el este y en el sudeste ibérico (MAPA, 2006). No obstante, estas cifras están infraestimadas puesto que existen casi 900.000 árboles diseminados que no se encuentran recogidos en las estadísticas mencionadas anteriormente (MAPA, 2006). Entre los años 60 y los años 90, la expansión de los almendros en las áreas marginales y el sistema de producción extensiva con bajas densidades de plantación provocaron una caída en la producción de almendra en España del 50% (cosecha media de 5 años) (van Wesemael et al. 2003). Fue entonces cuando la Unión Europea trató de promover un aumento de la producción mediante la intensificación de este cultivo basado en el arranque de plantaciones seguidas de replantación y/o reconversión varietal, y subvenciones para la mejora de la comercialización siguiendo unos estándares (Reglamento (CEE) Nº 789/89 y 790/89 del Consejo). Estas medidas cumplieron con sus

objetivos y, actualmente, España es el segundo productor de almendras del mundo (MAPA, 2006) después de California (EEUU), aunque, las producciones son muy fluctuantes debido a la pluviometría y a las heladas (Albisu et al., 1999).

Los almendros ocupan, a menudo, zonas marginales con pocas alternativas agrícolas. La baja productividad y el éxodo rural dan lugar al abandono de almendrales en algunas de estas zonas. Dicho abandono puede conllevar altos riesgos de erosión ya que las características climáticas, edáficas y bióticas limitan la colonización rápida y efectiva del suelo por parte de la vegetación natural (Guzmán, 1999). Sin embargo, el exceso de laboreo al que se ven sometidos muchos cultivos de almendros en producción puede acarrear también un aumento en la erosión del suelo (Haynes, 1980; Govers et al., 1994). De hecho, la erosión en la cuenca del Guadalquivir en los cultivos leñosos de secano es alta y ha sido estimada en una media de $91 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Informe de Medio Ambiente, Junta de Andalucía). Según dicho informe, la erosión puede ser de baja a muy alta según las pérdidas de suelo:

- Baja: $0\text{-}12 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$
- Moderada: $12\text{-}50 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$
- Alta: $50\text{-}100 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$
- Muy alta: $> 100 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$

La utilización de técnicas de laboreo adecuadas (laboreo superficial según curvas de nivel), el no laboreo y las cubiertas vegetales (espontáneas o cultivadas) pueden constituir medidas efectivas para la prevención de los procesos erosivos (Haynes, 1980, Guzmán, 1999).

2.2. LAS CUBIERTAS VEGETALES

El uso de cubiertas vegetales para la protección de los cultivos leñosos está siendo cada vez más utilizado en el sur y sudeste español, motivado en gran parte por las ayudas agroambientales concedidas por la PAC (Real Decreto 2352/2004). Estas cubiertas pueden estar compuestas por especies que crecen espontáneamente en la zona de cultivo o bien pueden ser cultivadas, y, en ambos casos, suelen cubrir el suelo desde otoño hasta primavera. Cumplen múltiples funciones dentro de los cultivos leñosos, como el almendro: 1) aportan abundante MO al suelo, 2) evitan pérdidas de nitrógeno por lixiviación o volatilización, 3) incrementan la actividad biológica del suelo, 4) aceleran la

mineralización del humus, 5) movilizan nutrientes bloqueados, 6) mejoran la estructura del suelo, 7) reducen el riesgo de erosión, 8) fijan nitrógeno (en el caso de las leguminosas), 9) limitan el desarrollo de hierbas adventicias, 10) sirven de refugio para la entomofauna auxiliar para el control de plaga, y 11) sirven como alimento para el ganado (Domínguez et al., 2002). Sin embargo, en las zonas semiáridas, la escasez de agua requiere un manejo racional de las cubiertas vegetales cuando coexisten con cultivos leñosos, con el fin de evitar la merma de la productividad. Una de las formas más sostenibles de manejo de dichas cubiertas es el aprovechamiento ganadero.

La diversificación de los cultivos almendros mediante cubiertas vegetales multipropósito puede transformar el monocultivo en un sistema agroforestal. Los sistemas agroforestales son agrosistemas diversificados en los que los árboles, los cultivos herbáceos y/o los animales, conforman un sistema de uso múltiple (Farrell y Altieri, 1995). Esta combinación puede ayudar a aumentar la sostenibilidad de la finca mediante el incremento de la eficiencia en el uso de los recursos, y mediante el mantenimiento de la productividad de finca gracias a las interacciones beneficiosas que se producen entre los distintos elementos y a la disminución de los riesgos (Eichhorn et al., 2006). Los sistemas agroforestales han demostrado estar especialmente adaptados a las áreas marginales con sistemas de bajos insumos (Farrell y Altieri, 1995), en los que el clima y las condiciones edáficas producen cosechas bajas e inestables. Es en estos casos en los que las bajas producciones de uno de los elementos, en nuestro caso, el almendro, se pueden ver compensadas con las producciones de otros elementos (por ejemplo, el forraje y/o el ganado), además del ahorro que se produce en aportes de MO (estiércol) y fertilizantes.

En los cultivos de almendros, durante los meses de otoño a primavera, se establece una cubierta vegetal espontánea que tradicionalmente ha sido aprovechada por el ganado en pastoreo. El invierno es uno de los períodos más críticos para la alimentación del ganado y la disponibilidad de estos pastos bajo los cultivos arbolados contribuye a disminuir las necesidades de suplementación con concentrados o, incluso, a reducir la carga ganadera en los pastos naturales. Robledo (1991), estudiando los pastos de los cultivos de almendros en Murcia comprobó que las producciones y la composición son similares a los barbechos, excepto por la ausencia de cereal. Robledo (1991) indicó que, para estas zonas con clima semiárido continental, las producciones anuales en los barbechos podían oscilar entre 1150 y 2000 kg de materia seca ha⁻¹, y observaron que estaban compuestos principalmente por gramíneas, crucíferas, papaveráceas y

leguminosas, en distintas proporciones según el manejo y las condiciones meteorológicas (Robledo et al., 1991).

En el caso de las cubiertas sembradas con fines forrajeros, la selección de especies tiene que estar basada en criterios de adaptación edafoclimática y de calidad nutritiva. Como mencionamos anteriormente, frecuentemente los almendros son poco productivos en las zonas marginales debido a las características ambientales extremas. Por tanto, para compensar estas pérdidas en los años desfavorables, los agricultores podrían priorizar la producción de las cubiertas forrajeras frente a la almendra. Para ello, podrían utilizar dos tipos de cubiertas: anuales o semiperennes. Las cubiertas anuales están compuestas por especies de ciclo anual que serán eliminadas, generalmente, en los momentos en los que la cubierta comience a producir efectos negativos en la producción de almendra. Las cubiertas semiperennes están compuestas por plantas bianuales o con capacidad de resiembra (generalmente, leguminosas) y que deberían utilizarse, principalmente, en las zonas más degradadas y menos productivas ya que la producción se puede ver mermada.

Los cereales, gracias a sus raíces fasciculadas y la alta producción de biomasa, son considerados elementos clave en los abonados verdes y en los cultivos de cobertera. Por su parte, las leguminosas cumplen un papel esencial en la mejora del suelo, sobretodo, a través de la fijación de nitrógeno, mientras que las crucíferas son capaces de movilizar el potasio de forma que quede disponible para las plantas. A continuación describimos brevemente las cualidades de algunas especies frecuentemente utilizadas como abono verde y que además, poseen cualidades forrajeras.

2.2.1. La avena

La avena (*Avena sativa* L.) es un cereal ampliamente utilizado como cultivo de cobertera, abono verde y forraje en la cuenca Mediterránea por la gran adaptación de sus variedades a diversas condiciones edafoclimáticas, su alto valor nutritivo y su versatilidad de aprovechamiento. En España, se dedican 479.000 ha al cultivo de la avena (alrededor del 8% de la superficie destinada a cereales de grano), de las cuales sólo 45.000 están en regadío (MAPA, 2006). Tanto en secano como en regadío puede ser aprovechada de distintos modos (Robledo, 1991):

- 1) Pastoreo directo.

En secano, en muchos países mediterráneos se realiza tradicionalmente un pastoreo en invierno (despunte invernal) de los cultivos de avena. En el sudeste

ibérico, no es una práctica muy frecuente en los secanos, puesto que sólo es recomendable hacerlo en años de lluvias muy abundantes. Sin embargo, en regadío, se podrían realizar incluso 2 aprovechamientos por año. El principal factor limitante es la disminución de la producción de grano y paja (Robledo, 1991,) que, en Aragón, se ha cuantificado en un 21% y un 29% para grano y paja, respectivamente (Joy y Delgado, 1988, 1989). Sin embargo, también presenta numerosas ventajas como son la disminución de posibilidad de encamado, la facilitación del ahijamiento o la eliminación de hojas enfermas (Delgado et al., 1984).

2) Henificado.

La avena puede ser cosechada en primavera para heno cuando está al final de la floración o cuando el grano está en estado lechoso. El doble aprovechamiento (despunte invernal y cosecha de heno) ha demostrado ser semejante a la producción sólo para heno, es decir, sin despunte invernal previo, aunque la calidad es muy superior en el primer caso por su alto contenido proteico (Quintana y Prieto, 1982).

3) Cosecha para paja y grano

En años normales, en secano, el destino más frecuente de la avena es la producción de grano y paja. No obstante, como mencionamos anteriormente, se podría realizar un despunte invernal siempre y cuando la pérdida de grano y paja compense el ahorro en heno y concentrados. Además, la producción de paja y grano lleva aparejada un valioso recurso alimenticio: las rastrojeras. En el sudeste ibérico se ha comprobado que pueden llegar a aportar desde 950, en años normales, a 3300 kg ha⁻¹, en años lluviosos, de grano, paja y malas hierbas (Robledo et al., 2007).

El valor nutritivo de la avena depende, sobretodo, de la fenología de la planta en el momento de corte, ya que esta va a determinar el contenido en proteína, en fibra y su digestibilidad (George y Bell, 2001). Cuando la planta está verde los contenidos de proteína y la digestibilidad son máximos y estos van disminuyendo según va madurando la planta, siendo mínimos para la paja (Alibes y Tisserand, 1990). La fibra se comporta de forma opuesta, incrementando su contenido según avanza el ciclo vital (Alibes y Tisserand, 1990). En cambio, el grano contiene valores altos de proteína y digestibilidad y valores bajos de fibra, de ahí que sea ampliamente utilizado en la alimentación del ganado. En la Tabla 1 se muestran algunos datos sobre el valor nutritivo de la avena en distintos estados fenológicos.

Tabla 1. Proteína bruta (PB, g kg⁻¹ materia seca (MS)), fibra neutro detergente (FND, g kg⁻¹ MS), fibra ácido detergente (FAD, g kg⁻¹ MS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) de la avena en distintos estados fenológicos según su modo de aprovechamiento.

Estado	Modo de aprovechamiento	PB	FND	FAD	DMO
Verde	Despunte invernal	104	501	331	74
Fin de floración	Heno	77	490	420	62
Seca	Paja	35	679	380	52
Seca	Grano	90	343	199	72

Fuente: Alibes y Tisserand (1990)

2.2.2. La veza

La veza (*Vicia sativa* L.) es una leguminosa muy utilizada como forraje en la cuenca Mediterránea en las rotaciones cereal-leguminosa. Asimismo, supone uno de los abonos verdes y cultivos de cobertera más utilizados, gracias a su capacidad de fijación de nitrógeno (alrededor de 100 kg ha⁻¹; Papastylianou, 1990). El cultivo en España aumentó notablemente durante la época 1995-2005 en la que estaba subvencionado (hasta 330.000 ha). Sin embargo, después de este período su cultivo disminuyó significativamente y en el año 2006 sólo había unas 45.000 ha en secano y 3.000 ha en regadío (MAPA, 2006). Esta especie presenta un hábito trepador por lo que se suele sembrar en combinación con algún cereal (normalmente, avena o cebada). Los cultivos mixtos de cereales y leguminosas son frecuentes en los sistemas de secano Mediterráneos (Dhima et al., 2007). Esta práctica presenta numerosas ventajas, tales como, aumento del valor nutritivo, cosechas mayores que los cultivos puros de leguminosas (Droushiotis, 1989), mejora de las condiciones de crecimiento y facilitación de la cosecha del forraje (Lithourgidis et al., 2006), mejora en el control de malas hierbas (Dhima et al., 2007), aumento de la fertilidad del suelo debido a la fijación de nitrógeno y, por tanto, menores requerimientos de fertilizantes (Assefa y Ledin, 2001). La producción y la calidad del forraje en los cultivos mixtos depende de la composición y/o proporción de especies y en la fenología en el momento de corte (Droushiotis, 1989; Roberts et al., 1989). Por tanto, se deben utilizar proporciones de siembra en las cuales exista un equilibrio entre la producción y la calidad.

Como forraje, se suele destinar a heno y a grano, pudiendo ser aprovechada también a diente aunque, en este caso, la capacidad de rebrote es escasa (MARM, 2008).

La veza tiene una alta productividad en años favorables y su valor nutritivo es muy elevado, principalmente, por su alto contenido proteico (Alibes y Tisserand, 1990). La fenología en el momento de aprovechamiento, influye notablemente en la calidad nutritiva de la misma, disminuyendo la digestibilidad y la proteína, y aumentando el contenido en fibra con la madurez (Tabla 2).

Tabla 2. Proteína bruta (PB, g Kg⁻¹ MS), fibra neutro detergente (FND, g Kg⁻¹ MS), fibra ácido detergente (FAD, g Kg⁻¹ MS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) de la avena en distintos estados fenológicos según su modo de aprovechamiento.

Estado	Modo de aprovechamiento	PB	FND	FAD	DMO
Verde	A diente ¹	245	344	270	-
Fin de la floración	Heno ¹	196	381	296	-
Seca	Paja ²	89	402	283	60
Seca	Grano ³	230	217	75	91

Fuentes:

¹Alibes y Tisserand (1990)

²Haddad y Husein (2001)

³Fernandes Abreu et al. (1998)

2.2.3. Otras cubiertas

La avena, la cebada y la veza son las especies más utilizadas en las cubiertas vegetales anuales. Sin embargo, en determinados casos, se pueden utilizar especies semiperennes, o que tengan capacidad de resiembra con el fin de abaratar los costes de establecimiento de las cubiertas. Además, de estar adaptadas a los ambientes semiáridos, en el caso de cubiertas multipropósito, las especies deben presentar aptitudes forrajeras.

El yero (*Vicia ervilia* (L.) Willd.) es una leguminosa de grano usada tradicionalmente en la región mediterránea que está muy adaptada al frío y a la sequía (Navarro, 1992; Francis et al., 1999). Como cultivo de cobertera, está siendo utilizada en olivicultura ecológica (Guzmán y Alonso, 2004) y puede llegar a fijar hasta 100 kg N ha⁻¹ (Papastylianou, 1990). Esta especie puede ser consumida a diente en distintas épocas del año (primavera, verano y/u otoño), o bien, puede ser cosechada para heno o para grano. Puede llegar a ser muy productiva, ya que es capaz de producir más de 5000 kg de materia seca ha⁻¹ cuando es segada en floración (Guzmán y Alonso, 2004). En el caso del pastoreo en verano, cuando el grano está maduro, se ha comprobado que la capacidad de resiembra es muy alta (Navarro, 1992).

La calidad nutritiva del yero va a depender del estado fenológico la misma, disminuyendo la digestibilidad y la proteína, y aumentando el contenido en fibra con la madurez (Tabla 3).

Tabla 3. Proteína bruta (PB, g kg⁻¹ materia seca (MS)), fibra neutro detergente (FND, g kg⁻¹ MS), fibra ácido detergente (FAD, g kg⁻¹ MS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) del yero en distintos estados fenológicos según su modo de aprovechamiento.

Estado	Modo de aprovechamiento	PB	FND	FAD	DMO
Verde	A diente ¹	196	254	-	79
Plena floración	Heno ¹	170	-	-	79
Seca	Paja ¹	71	-	-	60
Seca	Grano ²	219	97	91	-

Fuente:

¹Alibes y Tisserand (1990)

²Haddad y Husein (2001)

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una especie muy reconocida por su calidad forrajera, además, presenta una alta productividad gracias a su capacidad de rebrote que permite realizar numerosos aprovechamientos a lo largo de su período productivo. Como cultivo de cobertera o abono verde, es utilizado en frutales, viñedos y olivares de clima Mediterráneo gracias al aumento que produce en la MO del suelo y a su buena capacidad para fijar N (Pardini et al., 2002), que ha sido cuantificada en 174 kg N ha⁻¹ durante el primer año (Kelner et al., 1997). En los ambientes semiáridos continentales, la variedad Aragón es una de las mejor adaptadas ya que es tolerante a las bajas temperaturas y a las condiciones xéricas (Sánchez-Díaz et al. 2000), por lo que puede ser cultivada incluso en seco, aunque, en este caso, su rendimiento será menor (Delgado et al., 2004). Su aprovechamiento se realiza generalmente en forma de heno, aunque el pastoreo ha demostrado ser igual de productivo y más eficiente que la siega para heno (Ramón et al. 1986).

En la Tabla 4 se recoge el valor nutritivo de la alfalfa en distintos momentos de aprovechamiento.

Tabla 4. Proteína bruta (PB, g kg⁻¹ materia seca (MS)), fibra neutro detergente (FND, g kg⁻¹ MS), fibra ácido detergente (FAD, g kg⁻¹ MS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) de la alfalfa en distintos estados fenológicos según su modo de aprovechamiento.

Estado	Modo de aprovechamiento	PB	FND	FAD	DMO
Verde	A diente	223	390	280	66
Floración (50%)	A diente	175	418	359	66
Heno	Heno	171	394	302	62

Fuente: Alibes y Tisserand (1990).

Las crucíferas son también muy utilizadas como cultivo de cobertera o abono verde gracias a su temprano establecimiento en invierno, rápido crecimiento inicial, y al control que ejercen sobre algunas malas hierbas, nematodos y algunas enfermedades (Miller et al., 1990; Guzmán y Alonso, 2004). Por otro lado, existen numerosas especies de crucíferas que presentan una alta palatabilidad (Avondo y Lutri, 2005), junto con una elevada concentración de nutrientes, bajo contenido en fibra (Belesky et al., 2007) y alto contenido proteico, similar al de algunas leguminosas, aunque son menos digestibles (Alibes y Tisserand, 1990; McInnis et al., 1993; Avondo y Lutri, 2005). Al igual que en el caso de las leguminosas, las crucíferas deben manejarse con cuidado en pastoreo ya que pueden producir timpanismo (Mendel y Boda, 1954).

El collejón (*Moricandia arvensis* (L.) DC) es una especie ruderal, anual o perenne, muy frecuente en el sudeste español, sobretodo, en taludes y bordes de caminos. Esta especie es altamente palatable para el ganado ovino (Robledo et al., 2007), y en primavera e invierno presenta un elevado valor nutritivo (Tabla 5).

Tabla 5. Proteína bruta (PB, g Kg⁻¹ MS), fibra neutro detergente (FND, g Kg⁻¹ MS), fibra ácido detergente (FAD, g Kg⁻¹ MS) y digestibilidad de la materia orgánica (DMO, %) de la Moricandia arvensis en distintas estaciones del año.

Estación	Modo de aprovechamiento	PB	FND	FAD	DMO
Primavera	Pastoreo	172	329	239	60
Verano	Pastoreo	49	569	337	36
Otoño	Pastoreo	140	514	242	66
Invierno	Pastoreo	232	113	109	80

Fuente: Silva, 1987

La mezcla de distintas especies y familias en las cubiertas multipropósito permite combinar los efectos beneficiosos de todas ellas, tanto en lo que al suelo se refiere como a la calidad nutritiva del forraje producido.

2.3. EL GANADO OVINO

La ganadería extensiva representa una de las actividades agrícolas más importantes de los sistemas Mediterráneos. Juega un papel clave en la sostenibilidad de los agrosistemas y sistemas silvopastorales semiáridos (García-Trujillo, 1998), ya que cumple las siguientes funciones:

- 1º Aprovecha los residuos agrícolas y de la vegetación espontánea.
- 2º Colabora en el control de malas hierbas y plagas.
- 3º Reduce la biomasa combustible de las zonas agrícolas y forestales, disminuyendo el riesgo de incendios.
- 4º Produce estiércol para la elaboración de fertilizantes orgánicos de alta calidad (compost).
- 5º Cumple un papel fundamental en el aumento de la biodiversidad de los agrosistemas (Farrell y Altieri, 1995).
- 6º Fomenta la diversificación de cultivos y la introducción de leguminosas en las rotaciones, para producir forraje para el ganado, con lo que se mejora la productividad y la fertilidad del suelo y se reducen las necesidades de fertilización nitrogenada.
- 7º Es esencial en el mantenimiento de ciertos agroecosistemas como son las dehesas y los pastos de montaña (por ejemplo, los borreguiles).

8º El mantenimiento de muchas especies amenazadas dependen directamente del mantenimiento de la ganadería y sus agrosistemas.

9º La trashumancia constituye uno de los pocos recursos agrarios con los que se minimizan los efectos de la fragmentación de hábitats.

10º Puede contribuir a fijar la población de las poblaciones rurales y servir como motor de desarrollo rural (González-Rebollar et al., 1998).

Los pequeños rumiantes (cabra y oveja) son los que mejor se adaptan a nuestras zonas desfavorecidas (González-Rebollar et al., 1998; Boza et al., 2007). No obstante, la alimentación es uno de los factores limitantes ya que la variabilidad de las condiciones climáticas intra e interanuales reducen la disponibilidad de pastos. Por este motivo, es necesaria la utilización de razas autóctonas adaptadas a las condiciones ecológicas locales que, aunque pueden ser menos productivas, son capaces de aprovechar los recursos forrajeros locales disminuyendo las necesidades de suplementación.

Para mejorar los sistemas ganaderos extensivos es necesario mejorar la composición botánica de los pastos y los sistemas de pastoreo (adaptando la carga ganadera a la oferta forrajera), y optimizar el aprovechamiento de los distintos recursos en las distintas épocas (Ronchi y Nardone, 2003). En los sistemas agrosilvopastorales del sudeste ibérico, la alimentación de los pequeños rumiantes se basan en la combinación del pastoreo de los pastos arbustivos y herbáceos del monte mediterráneo y de los recursos derivados del cultivo de cereal (Correal y Sotomayor, 1998; Correal et al., 2009; Robles et al., 2009). Además, estos recursos son frecuentemente complementados con el aprovechamiento de subproductos agrícolas, como la hoja de olivo, los pericarpos y hoja de almendro, y subproductos de hortícolas, o incluso, con el pastoreo bajo los cultivos de almendros. En la Tabla 6 se muestra un ejemplo del calendario de los recursos forrajeros y pascícolas utilizados por el ganado ovino en el sudeste ibérico.

Tabla 6. Calendario de uso de pastos y forrajes utilizados por el ganado ovino en el sudeste ibérico.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Cereal				
Despunte invernal				
Barbecho				
Ricial				
Rastrojeras				
Monte				
Espartal				
Matorral				
Pastizal				
Trashumancia				
Almendros				
Cubierta herbácea				
Hojas y pericarpos				
Subproductos agrícolas				
Hoja de olivo				
Hortícolas				
Arbustos forrajeros				

Finalmente, el ganado cumple un papel importante en la mejora de los pastos. Este hecho ha sido denominado como “paradoja pastoral”, ya que bajo un pastoreo no excesivamente intenso, las especies más apetecidas tienden a aumentar en su producción y, por tanto, el pasto mejora en calidad y cantidad (San Miguel, 2001). Parte de esta mejora se debe al papel que juegan los animales en la dispersión de semillas de especies pascícolas, ya que, gracias a su movilidad en pastoreo, las semillas son transportadas de unas áreas a otras tras pasar tracto digestivo (endozoocoria) (Peinetti et al., 1993; Malo y Suárez, 1995; Milton y Dean, 2001). Además, las deyecciones del ganado aportan MO y nutrientes al suelo, mejorando la estructura, la fertilidad y la capacidad de retención de humedad, lo que favorece el incremento de producción de fitomasa (Eichberg et al., 2007). De hecho, una práctica tradicional que se utiliza para incrementar la MO y los nutrientes del suelo es el “redileo” que consiste en encerrar al ganado durante dos o tres noches

seguidas en rediles que se irán trasladando por toda la zona de pastoreo (Montero et al., 1998).

2.4. EL SUELO

El suelo es uno de los componentes más importantes del agrosistema y está en continua evolución en respuesta a las condiciones ambientales (Janzen et al., 1997). No sólo es el medio en el que se establecen las raíces de las plantas, que sirven de alimento a la especie humana y a otros organismos, sino que cumple otras funciones (Bezdicek et al. 1996; Feliu y Gueroguéva, 2003):

1º Albergar una enorme diversidad de animales y microorganismos indispensables para el funcionamiento del ecosistema, y cuya degradación está asociada a la degradación química y estructural del suelo.

2º Protección de la calidad de las aguas subterráneas ya que actúa como filtro natural.

3º Sumidero de gases de efecto invernadero.

4º Reciclaje de la MO y los nutrientes.

5º Detoxificación de los residuos orgánicos

Sin embargo, los modelos actuales de agricultura convencional, a menudo, contemplan el suelo como un mero soporte para las plantas y el medio en el que se producen las cosechas sin tener en cuenta su complejidad física, química y biológica, lo que conlleva frecuentemente a la degradación del mismo. La conservación del suelo es, de hecho, uno de los principales retos en los cultivos leñosos de los agrosistemas semiáridos, ya que estos suelos no son resilientes a un manejo inadecuado (Pascual et al., 2000). Existen numerosos parámetros ligados a propiedades físicas, químicas biológicas y bioquímicas que han sido propuestos como evaluadores de la calidad de un suelo o de su estado degradativo, y que deben analizarse para conocer el impacto que las prácticas agrícolas tienen sobre el suelo (Cannell y Hawes, 1994; Saviozzi et al., 2001; Jiménez et al., 2002).

La formación y estabilidad de la estructura del suelo viene determinada por la formación y estabilidad de los agregados del suelo (Eash et al., 1994). Entre los procesos implicados en la formación y estabilización de los agregados están los ciclos de humedecimiento y secado, ciclos de congelación y descongelación, y la actividad de las

raíces de las plantas y de las lombrices de tierra (Eash et al., 1994). Los agregados cumplen un papel fundamental en el suelo manteniendo, por un lado, la porosidad del mismo y, por otro, protegiendo a la MO del suelo (Tisdall y Oades, 1982). Si los agregados del suelo son inestables frente a la lluvia se produce una disminución de la infiltración del agua, ya que las partículas que constituyen los agregados bloquearían parcialmente los poros y, por tanto, se produciría un aumento en la susceptibilidad a la erosión (Eash et al., 1994). Numerosos estudios (Tisdal y Oades, 1982; Oades, 1984; Gupta y Germida, 1988; Oades, 1993) han demostrado que la formación y estabilidad de los agregados está relacionada con la MO del suelo y la actividad de los microorganismos. Por lo tanto, aquellas prácticas encaminadas al incremento de la MO y de la actividad biológica del suelo (uso de cubiertas vivas, acolchados orgánicos, abonados orgánicos, etc.) favorecerán la estabilidad de los agregados, mientras que aquellas prácticas que no fomenten el incremento de la MO, los agregados serán menos estables.

El mantenimiento del suelo desnudo mediante 3 ó 4(5) labores al año es una práctica comúnmente utilizada en los cultivos leñosos de secano para aumentar la infiltración de agua y eliminar la competencia con las malas hierbas, sin embargo, esta práctica disminuye la estabilidad y/o el tamaño de los agregados (Gupta y Germida, 1988), facilitando la formación de una costra superficial y aumentando el riesgo de erosión (De Ploey y Poesen, 1985). Por el contrario, las cubiertas vegetales protegen al suelo del impacto de las gotas de lluvia (Folorunso et al., 1992), reduciendo el riesgo de formación de costras, y favorecen la estabilidad de los agregados, directamente, gracias a las sustancias que liberan las raíces, o bien indirectamente mediante el aporte de alimento a los microorganismos que producirán materiales estabilizantes (Haynes y Francis, 1993; Gale et al., 2000; Six et al., 2004).

La tasa (o velocidad) de infiltración es la velocidad a la que el agua entra en el suelo, y está condicionada por las características de la lluvia o del riego, características del suelo (rugosidad, encostramiento, estabilidad de los agregados, granulometría, presencia de cubierta vegetal, etc.), topografía y manejo del suelo (laboreo, pastoreo, etc.) (Porta, 2003). Si la tasa de precipitación es mayor que la tasa de infiltración aumenta el riesgo de escorrentía y con él, el de erosión. Junto con la MO y la estabilidad de los agregados, la tasa de infiltración es el parámetro más relacionado con la erosión (Karlen y Stott, 1994). Este parámetro disminuye cuando se compacta el suelo (aumento de la densidad aparente) y con la formación de costras superficiales. De hecho, la formación de costras en un

problema común en los suelos de los ambientes áridos y semiáridos, especialmente cuando están desprovistos de cobertura vegetal (Helalia et al., 1988; Greene et al., 1994), ya que dicha cobertura contribuye a que el suelo mantenga sus propiedades hidrológicas (Wheeler et al., 2002).

Otro parámetro físico clave en los agrosistemas mediterráneos semiáridos es la humedad del suelo, puesto que el agua es el principal factor limitante para la producción en estos ambientes. El agua debe ser acumulada y almacenada en el suelo para que pueda ser absorbida durante el ciclo del cultivo (Cantero-Martínez et al., 2004). La mayoría de los agricultores labran frecuentemente los suelos para evitar la competencia de las malas hierbas con el cultivo y para facilitar la reposición del agua en el perfil del suelo, pero esta práctica puede facilitar la erosión debido a la pérdida de MO y a la destrucción de los agregados (Cannell y Hawes, 1994; Abid y Lal, 2009). Por su parte, las cubiertas herbáceas cumplen papeles antagónicos: por un lado, a largo plazo pueden favorecer un aumento en la capacidad de almacenamiento del agua debido al incremento de la MO y de la agregación (Augé et al., 2001) y, por otro lado, a corto plazo, desecan el suelo debido a la evapotranspiración de las plantas (Haynes, 1980), reduciendo la disponibilidad de agua para el cultivo leñoso. Por lo tanto, éstas suelen ser eliminadas, en primavera antes de que comiencen a afectar la producción del cultivo leñoso, mediante siega, aplicación de herbicidas, quemadores, pastoreo o laboreo.

Entre las propiedades químicas del suelo, la MO es uno de los parámetros más utilizados en la literatura relacionada con los estudios de suelo (Weil et al., 2003). La MO es una sustancia heterogénea y dinámica cuyo contenido en N y C, estructura molecular y tasa de descomposición son variables. Ha sido considerada un importante indicador de la productividad (Janzen et al., 1997) y de la calidad del suelo ya que es sumidero y fuente de nutrientes, aumenta la capacidad de retención de agua, mejora las propiedades físicas y químicas y promueve la actividad biológica (Ekenler y Tatabai, 2003). La pérdida de MO conlleva una pérdida de la estructura, aumento de la densidad aparente, compactación y disminución de la actividad biológica (Porta, 2003). Existen diversas prácticas culturales que han demostrado su eficacia en el mantenimiento y/o incremento de la MO en el suelo, éstas son: aportes de abonos orgánicos (por ejemplo, estiércol o compost), uso de abonos verdes y cultivos de cobertera y la reducción del laboreo (Janzen et al., 1997). De hecho, uno de los factores que influyen en la pérdida de MO en el suelo es el laboreo debido a que ocurre una dilución de la MO por la mezcla de horizontes, una aceleración de la

mineralización por el aumento de la aireación, un aumento de la erosión y una disminución en los aportes de MO realizados por las raíces y los restos de plantas (Angers et al., 1992; Cannell y Hawes, 1994). Sin embargo, suelen ser necesarios muchos años para poder detectar los cambios de MO del suelo en suelos bajo distintos tipos de manejo (Weil et al., 2003).

Por el contrario, las fracciones lábiles de la MO, como el carbono hidrosoluble, suelen ser más sensibles al manejo. El carbono hidrosoluble es un elemento importante en la descomposición de la MO en suelos agrícolas porque actúa como un sustrato listo para ser descompuesto por los microorganismos y un reservorio de nutrientes a corto plazo para las plantas (Caravaca et al., 2002). Además, es indicador de la actividad microbiana potencial (Caravaca et al., 2002). La vegetación y las deyecciones del ganado pueden contribuir significativamente al aumento de este parámetro (Shand et al., 2002; Bertin et al., 2003).

Para determinar la fertilidad química de un suelo no sólo es necesario conocer la cantidad de nutrientes en el suelo, sino también los parámetros que afectan a su disponibilidad como son la capacidad intercambio catiónico y el pH. La capacidad de intercambio catiónico o de cambio catiónico (CIC o CCC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar cationes, estableciéndose un equilibrio entre las partículas sólidas que adsorben dichos cationes y la solución del suelo (Porta, 2003). Cuanto mayor es la CIC de un suelo, mayor es su capacidad para retener e intercambiar cationes, reduciendo la lixiviación y aportando una nutrición adecuada para las plantas. Este parámetro está ligado principalmente a la cantidad de arcillas existentes en el suelo y, sobretodo, a la MO (Porta, 2003). Por tanto, las prácticas culturales que afectan al contenido de MO también alteran este factor tan importante para el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

El pH define la alcalinidad o basicidad de los suelos y, en los ambientes semiáridos, viene determinado fundamentalmente por el material parental que constituye el suelo. Por otro lado, la presencia de vegetación puede producir un descenso de pH de hasta una unidad (Chapin, 1980). Un pH neutro (alrededor de 7) es el óptimo para la gran mayoría de los cultivos, sin embargo, una excesiva alcalinidad o una excesiva acidez pueden provocar problemas de bloqueo de nutrientes en el suelo (Fig 4).

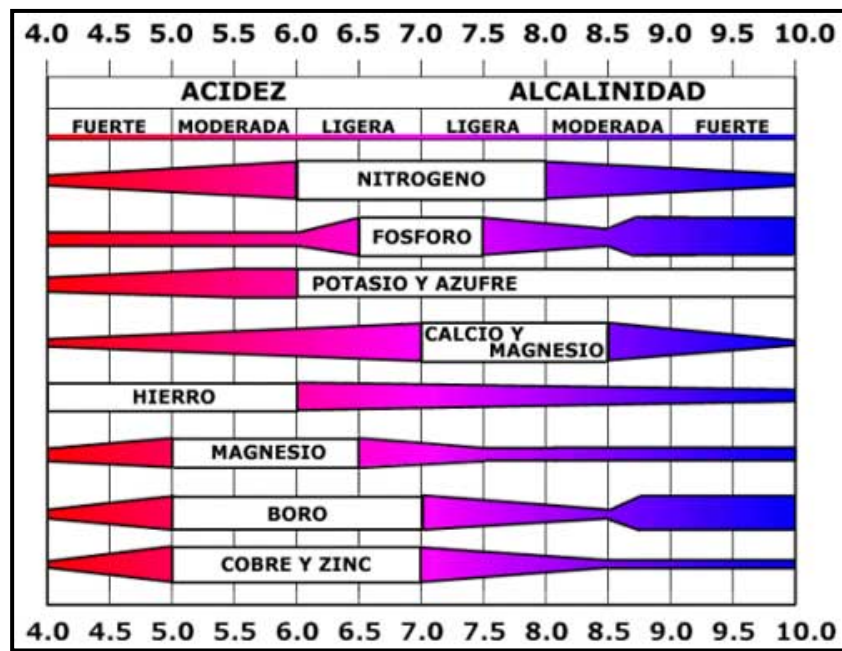


Figura 4. Diagrama de Troug. Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes. Fuente: <http://www.agrogen.com.mx/mainaplicaciones.htm>

Entre las propiedades biológicas del suelo, la actividad enzimática ha sido señalada como uno de los parámetros más adecuados para evaluar la calidad de los suelos, por varios motivos:

- 1) son capaces de detectar los cambios a corto plazo (Dick, 1994),
- 2) integran información del estado microbiano así como de las condiciones físico químicas del suelo (Aon et al., 2001),
- 3) los métodos para evaluar la actividad enzimática son, generalmente, simples, rápidos, precisos y reproducibles (Gregorich et al., 1994; Bandick y Dick, 1999)

Las enzimas del suelo son proteínas sintetizadas por las plantas y por los microorganismos, que se encuentran en los organismos vivos, en las células muertas de los microbios y las plantas o formando complejos con los coloides minerales u orgánicos (Gregorich et al., 1994). Las enzimas juegan un papel crucial en el funcionamiento de la biología del suelo ya que catalizan las innumerables reacciones necesarias para la vida de los microorganismos, intervienen en la descomposición de los residuos orgánicos, controlan la liberación de nutrientes para el crecimiento de las plantas y los

microorganismos e intervienen en el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, y en la formación de la estructura del suelo (Gregorich et al., 1994). Puesto que las enzimas son difíciles de extraer de los suelos, se caracterizan midiendo su actividad en unas condiciones muy estrictas (temperatura, pH del tampón y concentración del sustrato), y, por tanto, en los estudios de enzimas se mide la actividad potencial y no su actividad *in situ* (Dick et al., 1996).

En general, la actividad enzimática es directamente proporcional al contenido en MO del suelo. Por tanto, los suelos que han sido manejados de forma adecuada (reduciendo el laboreo al mínimo, utilizando enmiendas orgánicas, realizando rotaciones de cultivos, etc.) suelen tener una mayor actividad biológica. Los beneficios de incrementar la biomasa y la actividad microbianas son numerosos (Carpenter-Boggs et al., 2003):

- 1) Formación y estabilización de los agregados del suelo.
- 2) Aumento de la descomposición de los restos vegetales.
- 3) Aumento del reciclaje y transformación de nutrientes.
- 4) Liberación lenta de las reservas de nutrientes orgánicos.
- 5) Control de patógenos.

Se han identificado entre 50 y 60 enzimas del suelo, siendo las más estudiadas las oxidorreductasas e hidrolasas (Dick et al., 1994). La deshidrogenasa es una de las oxidorreductasas más estudiadas y cumple un papel significativo en la oxidación inicial de la MO (Dick et al., 1998). Sólo ocurre en células vivas (Riffaldi et al., 2002), por lo que ha sido relacionada con la biomasa microbiana (Aon et al., 2001) y con la actividad metabólica total de las poblaciones viables microbianas (Dick et al., 1994). Esta enzima es sensible a los diferentes manejos agrícolas que se pueden aplicar a un suelo (Caravaca et al., 2002). Así, los suelos que reciben aportes de materia orgánica y/ o presentan cubiertas vegetales presentan una actividad deshidrogenasa más elevada que suelos que no reciben este manejo (Caravaca et al., 2002; Benítez et al., 2006; Moreno et al., 2009). Por otro lado, el laboreo continuo suele producir una disminución de la actividad biológica (Alvear et al., 2005), debido a la disminución de aportes orgánicos por parte de las raíces de las plantas y por la descomposición acelerada de los compuestos fácilmente degradables (Vance, 2000).

Las hidrolasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de enlaces químicos y que forman parte del ciclo de varios macroelementos (Dick et al., 1994). Su síntesis puede estar determinada por varios factores, como son, la concentración de sustrato y/o producto en el medio, el efecto protector de la MO y las variaciones en la biomasa microbiana (Bastida et al., 2006). En general, la actividad de las hidrolasas está correlacionada positivamente con el contenido en MO del suelo (García et al., 1994). Algunos autores han detectado que la presencia y/o el tipo de vegetación y el uso de fertilizantes puede influenciar la actividad de las hidrolasas (Benítez et al., 2000; García et al., 2005; Bastida et al., 2006).

La β -glucosidasa es una enzima clave en la actividad celulolítica, que interviene en el último paso de degradación de la celulosa. Cataliza la hidrólisis de los extremos no reducidos de las cadenas de beta-D glucósido para formar β -D glucosa, por tanto, está implicada en la liberación de azúcares de bajo peso molecular, que son el recurso energético de los microorganismos (Jiménez de Ridder y Bonmatí, 2003). La actividad β -glucosidasa está significativamente correlacionada con el C orgánico (Eivazi y Tatabai, 1990; Jiménez et al. 2002; Bastida et al., 2006), por lo que los suelos manejados con técnicas encaminadas al aumento de la MO (aportes de estiércol, abonos verdes, cultivos de cobertera) mostrarán valores más altos de actividad β -glucosidasa que suelos con cantidades de MO menores.

Las fosfatasas son un grupo de enzimas que catalizan la hidrólisis de ésteres y anhídros del ácido fosfórico para liberar ión fosfato. Se considera una medida del potencial de un suelo para mineralizar el fósforo orgánico (Dick et al., 1996). La actividad fosfatasa puede ser inhibida mediante las adiciones de fertilizantes fosfatados (Dick, 1994). Sin embargo, se ha comprobado que las adiciones de enmiendas orgánicas (Bolton et al., 1985; Benítez et al., 2006) y la presencia de vegetación (García et al., 1994) aumentan su actividad.

La arilsulfatasa cataliza la hidrólisis de ésteres aromáticos de sulfato en fenoles y sulfato (Elsgaard et al., 2002), que es asimilable por las plantas. Al igual que en las otras hidrolasas, esta enzima está correlacionada con la cantidad de MO en el suelo y se ha visto que su actividad incrementa cuando el suelo está protegido por una cubierta vegetal (Klose et al., 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- Abid M. y Lal, R. 2009. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil and Tillage Research* 103, 364-372.
- Albisu L.M., Sengui S. y Meza L. 1999. The Spanish nut sector at a crossroads. *Options Méditerranéenes* 37, 89-102.
- Alibes X. y Tisserand J.L. (Eds.) 1990. Tables of nutritive value for ruminants of Mediterranean forages and by-products. *Options Méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches*, No. 4. Zaragoza, Spain.
- Alvear M., Rosas A., Rouanet J.L. y Borie F. 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil and Tillage Research*. 82, 195-202.
- Angers D.A., Pesant A. y Vigneux J. 1992. Early cropping-induced changes in soil aggregation, organic matter and microbial biomass. *Soil Science Society American Journal* 56, 115-119.
- Aon M.A., Cabello M. N., Sarena D.E., Colaneri A.C., Franco M.G., Burgos J.L. y Cortassa, S. 2001. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology* 18, 239-254.
- Assefa G. y Ledin I., 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Science and Technology* 92, 95-111.
- Augé R.M., Stodola A.J.W., Tims J.E. y Saxton A.M. 2001. Moisture retention properties of mycorrhizal soil. *Plant and Soil* 230, 87-97.
- Avondo M. y Lutri L. 2005. Feed intake. En: Pulina G., ed. *Dairy sheep nutrition*. Oxford: CABI Publishing, pp. 65-78.
- Bandick A.K. y Dick P.D. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1471-1479.

- Bastida F., Moreno J.L., Hernández T. y García C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry* 38, 3463-3473.
- Belesky D.P., Koch D.W. y Walker J. 2007. Forbs and browse species. En: Barnes R.F., Nelson C.J., Moore K.J., Collins M, eds. *Forages: the science of grassland agriculture*. Ames, Iowa y Oxford : Blackwell publishing, pp. 257-273.
- Benítez E., Nogales R., Campos M., Ruano F. 2006. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. *Applied Soil Ecology* 32, 221-231.
- Bertin C., Yan X. y Weston L.A. 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant and Soil* 256, 67-83.
- Bezdicsek D.F., Papendick R.I. y Lal R. 1996. Importance of soil quality to health and sustainable land management. En: Doran J.W. y Jones, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp. 1-8.
- Bol R., Kandeler E., Amelung W., Glaser B., Marx M.C., Preedy N. y Lorenz, K. 2003. Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 1411-1421.
- Bolton H., Elliot L.F., Papendick R.I. y Bezdicsek D.F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology and Biochemistry* 17, 297-302.
- Boza J., Robles A.B. y González-Rebollar J.L. 2007. Papel de la ganadería en las zonas áridas. En: Rodero E. y Valera M., eds. *La ganadería andaluza en el siglo XXI. Volumen I. Patrimonio ganadero andaluz*. Córdoba: Universidad de Córdoba. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, pp. 241-266.
- Cannell R.Q. y Hawes J.D. 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil and Tillage Research*. 30, 245-282.
- Cantero-Martínez C., Angás P., Ameziane T. y Pisante M. 2004. Land and water management technologies. *Options Méditerranéennes* 60, 35-50.

- Caravaca F., Masciandaro G. y Ceccanti B. 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*. 68, 23-30.
- Carpenter-Boggs L., Stahl P. D., Lindstrom M. J. y Schumacher T. E. 2003. Soil microbial properties under permanent grass, conventional tillage, and no-tillage management in South Dakota. *Soil and Tillage Research* 71,15-23.
- Chapin F.S. 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11, 233-260.
- Correal E. y Sotomayor J.A. 1998. Sistemas ovino-cereal y su repercusión sobre el medio natural. *Actas de la XXXVIII Reunión Científica de las Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 109-127.
- Correal E., Erena M., Rios S., Robledo A. y Vicente, M. 2009. Agroforestry in Europe: Current Status and Future Prospects. In: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J. y Mosquera-Losada, M.R. *Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects*. Holanda: Springer, pp.183-210.
- De Ploey J. y Poesen J. 1985. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. En: Richards K.S., Arnett R.R. y Ellis S., eds. *Geomorphology and soils*. Londres: George Allen & Unwin, pp. 99-120.
- Delgado I., Valderrábano J. y Gómez G. 1984. Interés forrajero de los cereales de invierno. Efecto de un despunte sobre la producción de grano. *Anales del INIA/Servicio Agrícola* 25, 115-128.
- Delgado I., Andueza D., Muñoz F. y Lahoz F. 2004. Forage system to replace marginal, rainfed cereal areas by sheep production: An experimental study. *Options Méditerranéennes* 60, 263-266.
- Dhima K.V., Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B. y Dordas C.A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research* 100, 249-256.
- Dick R.P. 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. En: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. y Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a*

- sustainable environment. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp. 107-124.
- Dick R.P. Breakwell D.P. y Turco R.F. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. En: Doran J.W. y Jones, A.J., eds. *Methods for assessing soil quality*. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp. 247-271.
- Dick, R.P., Myrold, D.D. y Kerle, E.A. 1998. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted rehabilitated skid trail soils. *Soil Science Society of America Journal* 52, 512-516.
- Domínguez A., Roselló J., y Aguado J. 2002. Cubiertas vegetales: hierbas adventicias y abonos verdes. En: *Diseño y manejo de la diversidad vegetal en agricultura ecológica*. Phytoma SEAE, Valencia, 132 pp.
- Droushiotis D.N., 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *Journal of Agricultural Science* 113, 249-253.
- Eash N.S., Karlen D.L. y Parkin T.B. 1994. Fungal contributions to soil aggregation and soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicsek D.F. y Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp. 221-228.
- Eichberg C., Storm C. y Schwabe, A. 2007. Endozoochorous dispersal, seedling emergence and fruiting success in disturbed and undisturbed successional stages of sheep-grazed inland sand ecosystems. *Flora* 202, 3-26.
- Eichhorn M.P., Paris P., Herzog F., Incoll L.D., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Papanastasis V.P., Pilbeam D.J., Pisanelli A. y Dupraz C. 2006. Silvoarable systems in Europe- past, present and future prospects. *Agroforestry Systems* 67, 29-50.
- Eivazi F. y Tatabai M.A. 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 22, 891-897.
- Ekenler M. y Tatabai M. A. 2003. Tillage and residue management effects on B-glucosaminidase activity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 35, 871-874.

- Elsgaard L., Andersen G.H. y Eriksen J. 2002. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 79-82.
- Farrell J.G. y Altieri M.A. 1995. Agroforestry systems. En: Altieri M.A., ed. *Agroecology: The science of sustainable agriculture*. Boulder (USA): Westview Press, pp. 247-263.
- Feliu A. y Gueorguieva I. 2003. La degradación y la desertificación de los suelos en España. España: Fundación Gas Natural.
- Fernandes Abreu J.M. y Martins Bruno-Soares A. 1998. Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of nine legume grains. *Animal Feed Science Technology* 70, 49-57.
- Folorunso O.A., Rolston D.E., Prichard T. y Louie, D.T. 1992. Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter crops. *Soil Technology* 5, 189-197.
- Francis C.M., Enneking D. y Abd El Moneim A. 1999. When and where will vetches have an impact as grain legumes? En: Knight R., ed. *Linking Research and Marketing Opportunities for Pulses in the 21st Century*. Dordrecht/ Boston/ London: Kluwer Academic Publishers, pp. 671-683.
- Gale W.J., Cambardella C.A. y Bailey T.B. 2000. Surface residue- and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Science Society of America Journal* 64, 196-201.
- García C., Hernández T. y Costa, F. 1994. Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biology and Biochemistry* 26, 1185-1191.
- García C., Roldan A. y Hernández y T. 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma* 124, 193-202.
- García-Trujillo, R.A. 1998. Los animales en los sistemas agroecológicos. *Actas del III Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica*, pp. 431-448.
- George M.R. y Bell M.E. 2001. Using stage of maturity to predict the quality of annual range forage. *Rangeland Management Series* 8019, 1-7.

- Gliessman S.R. 1998. Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture. Chelsea (USA): Ann Arbor Press, 357 pp.
- González-Rebollar J.L., Robles A.B. y Boza J. 1998. Sistemas pastorales. En: Jiménez Díaz R.M. y Lamo de Espinosa J., eds. Agricultura Sostenible. Madrid: Agrofuturo, LIFE y Mundiprensa, pp.555-574.
- Govers G., Vandaele K., Desmet P., Poesen J. y Bunte K. 1994. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science* 45, 469-478.
- Greene R.S.B., Kinnell P.I.A. y Wood J.T. 1994. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semi-arid wooded rangelands. *Australian Journal of Soil Research* 32, 953-973.
- Gregorich E.G., Carter M.R., Angers D.A., Monreal C.M. y Ellert B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 74, 367-385.
- Gupta V.V.S.R. y Germida J.J. 1988. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. *Soil Biology and Biochemistry* 20, 777-786.
- Guzmán R. 1999. Frutos de cáscara y algarroba: un sector amenazado. Sevilla: DAP.
- Guzmán G.I. y Alonso A.M. 2004. El manejo del suelo en el olivar ecológico. En: Manual de olivicultura ecológica. Córdoba: Instituto de Sociología y Estudios Campesinos. Universidad de Córdoba, pp. 27-54.
- Haddad S.G. y Husein, M.Q. 2001. Nutritive value of lentil and vetch straws as compared with alfalfa hay and wheat straw for replacement ewe lambs. *Small Ruminant Research* 40, 255-260.
- Haynes R.J., 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6, 3-32.
- Haynes R.J. y Francis G.S. 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *Journal of Soil Science* 44, 665- 675.

- Helalia A.M., Letey J. y Graham, R.C. 1988. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal* 52, 251-255.
- Informe de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Acceso web en http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/servtc2/ima/es.eptisati.ima.InformeMA/InformeMA.html?lr=lang_es
- Janzen H.H., Campbell C.A., Ellert B.H. y Bremer E. 1997. Soil organic matter dynamics and their relationship to soil quality. En: Gregorich E.G. y Carter M.R., eds. *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Nueva York: Elsevier, pp. 277-291.
- Jiménez M.P., de la Horra A.M., Pruzzo L. y Palma R.M. 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology and Fertility of Soils* 35, 302-306.
- Jiménez de Ridder P., Bonmatí, M. 2003. Determinación de la actividad β -glucosidasa del suelo. En: García C., Gil F., Hernández T. y Trassar C., eds., *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Madrid: Mundiprensa, pp. 172-183.
- Joy M. y Delgado I. 1988. Utilización forrajera de los cereales de invierno en secanos áridos. Primeros resultados. *Actas de la XXVIII Reunión Científica de la SEEP*, pp. 305-311..
- Joy M. y Delgado I. 1989. Posibilidades forrajeras de los cereales de invierno en un secano de baja pluviometría. Zaragoza: S.I.A.
- Karlen D.L. y Stott D.E. 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran J.W., Coleman D.C., Bezdicek D.F. y Stewart, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp.53-72.
- Kelner D.J., Vessey J.K. y Entz M.H. 1997. The nitrogen dynamics of 1-, 2- and 3-year stands of alfalfa in a cropping system. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 64, 1-10.
- Klose S., Moore J.M. y Tatabai M.A. 1999. Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils affected by cropping systems. *Biology Fertility in Soils* 29, 46-54.

- Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B., Dhima K.V., Dordas C.A., Yiakoulak, M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seedings ratios. *Field Crops Research* 99, 106-113.
- Le Houérou H.N. 1993. Grazing lands of the Mediterranean Basin. En: Coupland R.T., ed. *Natural grasslands: Eastern Hemisphere and resume*. Amsterdam: Elsevier, pp. 171-196.
- Malo J.E. y Suárez F. 1995. Cattle dung and the fate of *Biserrula pelecinus* L. (Leguminosae) in a Mediterranean pasture: seed dispersal, germination and recruitment. *Botanical Journal of the Linnean Society* 118, 139-148.
- MAPA-Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 1990. *Aplicación de la P.A.C. en España: Campaña 1989-90*. Madrid: Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura.
- MAPA, 2006. Anuario de estadística. Acceso web http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_06/indice.asp
- MARM, 2008. Utilización de cubiertas vegetales vivas en agricultura de conservación. Acceso web http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/desertificacion/inventario_tecnologias_lucha_contra_desertificacion/pdf/70_Utilizaciondecubiertasvegetalesvivas.pdf.
- McInnis M.L., Larson L.L. y Miller R.F. 1993. Nutrient composition of whitetop. *Journal of Range Management* 46, 227-231.
- Miller P.R., Graves W.L., Williams W.A. y Madson B.A. 1990. Cultivos de cobertura para los agricultores de California. *Agronomy Progress Report* 219, 1-27.
- Milton S.J. y Dean W.R.J. 2001. Seed dispersed in dung of insectivores and herbivores in semi-arid southern Africa. *Journal of Arid Environments* 47, 465-483.
- Montero G., San Miguel A. y Cañellas I. 1998. Sistemas de selvicultura mediterránea. La dehesa. En: Jiménez Díaz R.M. y Lamo de Espinosa J., eds. *Agricultura Sostenible*. Madrid: Agrofuturo, LIFE y Mundiprensa, pp.519-554.
- Montero de Burgos J.L. y González Rebollar J.L. 1983. *Diagramas bioclimáticos*. Madrid: ICONA.

- Moreno B., García-Rodríguez S., Cañizares R., Castro J. y Benítez E. 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil management on biological indicators on soil quality. *Agriculture Ecosystems and Environment* 131, 333-339.
- Navarro A. 1992. Autorresiembrado de los yeros en condiciones del norte de Almería. *Revista velezana* 11, 67-74.
- Oades J.M. 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76, 319-337.
- Oades J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.
- Papastylianou I. 1990. The role of legumes in the farming systems of Cyprus. En: Osman A.E., Ibrahim M.H. y Jones M.A., eds. *The role of legumes in the farming systems of the Mediterranean areas*. Dordrecht (Holanda): Kluwer Academic Publishers. pp.39-50.
- Pardini A., Faiello C., Longhi F., Mancuso S. y Snowball R. 2002. Cover crop species and their management in vineyards and olive groves. *Advances in Horticultural Science* 16, 225-234.
- Pascual J.A., García C., Hernández T., Moreno J.L. y Ros M. 2000. Soil microbial activity as biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry* 32, 1877-1883.
- Peinetti, R., Peryra, M., Kin, A., Sosa, A. 1993. Effects of cattle ingestion on viability and germination rate of caldén (*Prosopis caldenia*) seeds. *Journal of Range Management* 46, 483-486.
- Peiteado C., Fernández A., Fuentelsaz F. y Schmidt G. 2006. *Agricultura de secano y desarrollo rural: una asignatura pendiente. Propuesta de WWF/Adena sobre medidas de desarrollo rural para los agrosistemas de secano*. Madrid: WWF/Adena, 11 pp.
- Porta J., 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, Barcelona, México: Mundiprensa.

- Quintana J.A. y Prieto P.M. 1982. Posibilidades de aprovechamiento forrajero invernal de varios cereales y mezclas y sus efectos sobre su producción de primavera en Extremadura. *Anales del INIA/Servicio Agrícola* 17: 31-47.
- Ramón J., Delgado I. y Valderrábano J. 1986. Primeros resultados sobre la respuesta de la alfalfa al pastoreo ovino. *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, pp. 99-106.
- Riffaldi R., Saviozzi A., Levi-Minzi R. y Cardelli R. 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil and Tillage Research*. 67, 109-114.
- Roberts C.A., Moore K.J. y Johnson, K.D. 1989. Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rates. *Agronomy Journal* 81, 57-60.
- Robledo A. 1991. Las explotaciones de cereal-ovino en el N. O. de Murcia: balance de recursos forrajeros y perspectivas de futuro. *Actas de la XXXI Reunión Científica de la SEEP*, pp. 139-159.
- Robledo A., Ríos S. y Correal E. 1991. Las malas hierbas en los barbechos cerealistas del N.O. de Murcia: su importancia como recurso alimenticio para la ganadería ovina. I: Composición botánica. *Actas de la Reunión 1991 de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 70-73.
- Robledo A., Martínez A., Megías M.D., Robles A.B., Erena M., García P., Ríos S. y Correal E. 2007. Productividad y valor nutritivo de los pastos. En: Correal E., Robledo A. y Erena M., eds. *Tipificación, cartografía y evaluación de los recursos pastables de la Región de Murcia*. Murcia: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, pp.63-88.
- Robles A.B., Ruiz-Mirazo J., Ramos M.E. y González-Rebollar J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J. y Mosquera-Losada M.R., eds. *Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects*. Holanda: Springer, pp. 211-231.

- Ronchi B. y Nardone A. 2003. Contribution of organic farming to increase sustainability of Mediterranean small ruminants livestock systems. *Livestock. Production Science* 80, 17-31.
- San Miguel A. 2001. Pastos naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundiprensa.
- Sánchez-Díaz M., Hekneby M. y Antolín M.C. 2000. Cold tolerance of forage legumes growing in controlled continental Mediterranean conditions. *Options Méditerranéennes* 45, 265-270.
- Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R. y Riffaldi R. 2001. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils. *Plant and Soil* 233, 251-259.
- Shand C.A., Williams B.L., Dawson L.A., Smith S. y Young, M.E. 2002. Sheep urine affects soil solution nutrient composition and roots: differences between field and sward box soils and the effects of synthetic and natural sheep urine. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 163-171.
- Silva J. 1987. Evaluación de los recursos alimenticios de la zona árida del ámbito del proyecto LUCDEME en ganado caprino. Tesis Doctoral. Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Six J., Bossuyt H., Degryze S y Denef K. 2004. A history of research on the link between micro aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research* 79, 7-31.
- Tisdall J.M. y Oades J.M. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33, 141-163.
- van Wesemael B., Cammeraat E., Mulligan M. y Burke S. 2003. The impact of soil properties and topography on drought vulnerability of rainfed cropping systems in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 94, 1-15.
- Vance E.D. 2000. Agricultural site productivity: principles derived from long-term experiments and their implications for intensively managed forests. *Forest Ecology Management* 138, 369-396.

Weil R.R., Islam K.R., Stine M.A. Gruver J.B. y Samson-Liebig S.E. 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *American Journal of Alternative Agriculture* 18, 4-17.

Wheeler M.A., Trlica M.J., Frasier G.W. y Reeder, J.D., 2002. Seasonal grazing affects soil physical properties of a montane riparian community. *Journal of Range Management* 55, 49-56.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. ZONA DE ESTUDIO

El cortijo de Los Morales es una finca mixta agrícola y ganadera que pertenece al Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada). Está situada a 990 m sobre el nivel del mar, en el término municipal de Huéscar, al noroeste de la población, en la carretera que va hacia Santiago de la Espada (Coordenadas UTM 30S 535799 4192415), al pie de la Sierra de la Sagra (Fig. 1).

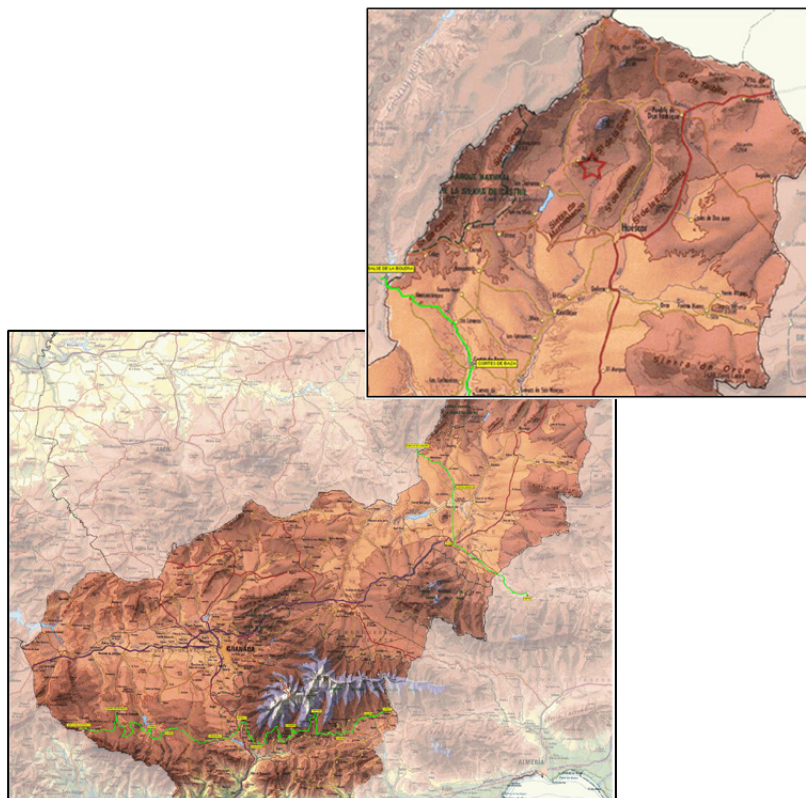


Figura 1. Localización de la Finca Los Morales (Huéscar, Granada)

Esta área se caracteriza por tener un clima Mediterráneo continental semiárido con una precipitación media anual de 481 mm y temperatura media de 13,8° C (Romero, 1989). La precipitación anual (septiembre-agosto) fue de 578, 219, 503 y 389 mm para los años 2003/2004, 2004/2005, 2005/2006 y 2006/2007, respectivamente y las temperaturas medias oscilaron entre 14,5 y 15° C (Fig. 2, Datos de la estación meteorológica del Pantano de San Clemente, Confederación Hidrográfica del Guadalquivir). Durante el estudio se registraron temperaturas extremas de -17 °C en el mes de enero de 2005 y de 40° C en agosto de 2005.

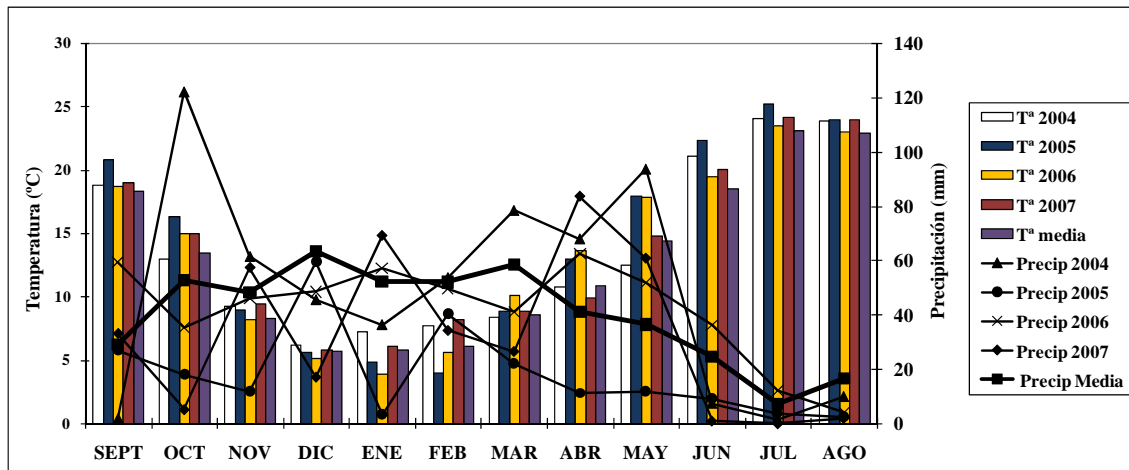


Figura 2. Datos de precipitación y temperatura media durante los 4 años de experimento y media de 30 años.

1.1. USOS DEL SUELO

La finca tiene 359 ha que están repartidas según los siguientes usos (datos del año 2004):

- Monte: 58,57 ha.
- Almendro en subvención (suelo desnudo): 88,1 ha.
- Almendro sin subvención: 88,7 ha.
 - Almendro con cobertura natural: 51,52 ha.
 - Almendro con avena: 34,9 ha.
 - Almendro con triticale: 4,1 ha.
- Avena (secano): 34,9 ha.
- Avena (regadío): 55,9 ha.
- Alcachofa: 2 ha.
- Instalaciones: 6,5 ha.
- Viña: 4,5 ha.
- Pinar: 4,9 ha.
- Olivos: 2,7 ha.
- Triticale regadío: 1,8 ha.
- Triticale secano: 4,1 ha.
- Huerto: 1,6 ha.

Además, posee 400-500 ovejas en régimen extensivo o semiextensivo, 200-300 ovejas estabuladas (durante la paridera) y 60-70 sementales.

1.2. MANEJO AGRÍCOLA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS

1.2.1. Almendro

Los almendros fueron plantados en los primeros años de la década de los 70. El marco de plantación es bastante variable, aunque lo más frecuente es 7 x 7, 10 x 7 y 13 x 7. El abonado se realiza todos los años con 100-125 kg⁻¹ ha de abono mineral 15-15-15 (15% N, 15% P₂O₅, 15% K₂O).

El laboreo varía en función de si recibe o no subvención. Así tenemos:

- Almendro en subvención: desde 2001 hasta 2006, el técnico responsable de la inspección para conceder la subvención, exigía un laboreo de 3 y 4 veces al año, para evitar el establecimiento de malas hierbas, y poda 2 veces al año.
- Almendro sin subvención
 - Con cubierta natural: se labra una vez al año, normalmente al final del verano. Las ovejas hacen un aprovechamiento de la hierba que se establece espontáneamente.
 - Con avena (a veces, cebada o triticale): la siembra se realiza en noviembre o coincidiendo con la luna menguante de enero.

Los tratamientos fitosanitarios se aplican entre enero y febrero. Se aplica Salitrina C (insecticida), aceite emulsionable (para los huevos de insectos que se quedan en la madera) y sulfato de cobre.

La cosecha de la almendra se realiza entre finales de septiembre y mediados de octubre.

1.2.2. Avena de regadío

La avena se cultiva en regadío como parte de una rotación con hortícolas, y se hace un doble aprovechamiento: despunte invernal y siega para heno u obtención de grano y paja.

La siembra comienza la última semana de agosto y termina a finales de septiembre; esto varía en función de la disponibilidad de agua y de tierra. Ésta última depende a su vez de las fechas de cosecha de las hortícolas. El laboreo se realiza en agosto con vertedera a 50 cms de profundidad. A continuación se realiza un pase de cultivador y otro de grada para poder realizar la siembra. La dosis de siembra empleada es de 150 kg

ha⁻¹. El abonado consiste en una aplicación de estiércol de oveja (30.000 kg ha⁻¹) cada 3 años, 250 kg ha⁻¹ de abono mineral (NPK, 15-15-15) 15 días antes de la siembra, y una En el mes de febrero, una vez que las ovejas han terminado el aprovechamiento a diente, se realiza un abonado de cobertera con N al 33% para el rebrote. No se aplica ningún tratamiento fitosanitario.

La cosecha se realiza en el mes de mayo, si es para henificado, cuando ha alcanzado una altura de 1,25 m aproximadamente, o bien, hacia la mitad de julio, cuando es para grano y paja. Además, la rastrojera es aprovechada por las ovejas durante todo el verano.

1.2.3. Avena de secano

La avena de secano forma parte de una rotación “año y vez” y se suele sembrar a principios o mediados de noviembre o en la menguante de enero, a una dosis de 100-150 kg ha⁻¹.

La preparación del terreno comienza en el mes de febrero con un pase con vertedera al terreno que está en barbecho. En junio, se realiza un pase de cultivador. La preparación del suelo para la siembra de avena consiste en un pase de cultivador seguido de un pase de grada. La fertilización se basa en la aplicación de un abono mineral (NPK, 15:15:15) a una dosis de 250 kg ha⁻¹ antes de la siembra y un abono nitrogenado de cobertera al 33,5% en primavera. Se aplican herbicidas para el control de las malas hierbas.

Toda la avena de secano va destinada a grano, aunque en años de escasez de lluvia se puede hacer el aprovechamiento directamente a diente cuando las plantas no alcancen la altura mínima para ser cosechadas. La cosecha se realiza hacia la mitad de julio y la rastrojera es aprovechada por las ovejas durante todo el verano. Al año siguiente, durante el otoño y el invierno el ganado pastorea las “ricias”, también llamadas riciales, que están compuestos por avena, procedente de los granos que no han sido cosechados ni consumidos por el ganado, y por vegetación arvense.

Actualmente, desde el año 2008, no se hace uso de la vertedera ni se aplica ningún tipo de abono o fitosanitario sintético, ya que la finca se encuentra en conversión a la producción ecológica.

1.3. MANEJO DEL GANADO

La finca cuenta con 1 ó 2 pastores que acompañan al ganado un mínimo de 6 horas diarias. Sólo las ovejas preñadas se estabulan 15 días antes de parir y permanecen hasta 2 meses después del parto. Hay tres parideras al año (enero, mayo y septiembre) y la prolificidad es de 1,5 corderos por oveja y año.

1.3.1. Horario de pastoreo

Junio-Septiembre: salen de 7 a 11 de la mañana y de 17-21. Desde las 11 hasta las 17 permanecen en el sestero (corral al aire libre)

Octubre-Mayo: salen sobre las 10.30 (cuando se va la escarcha) y se encierran sobre las 17.

Normalmente, pastan en la zona de monte a primera hora de la mañana y más tarde aprovechan las rastrojeras, ricias y/o pastos bajo los almendros.

1.3.2. Alimentación y calendario de utilización de los recursos

La dieta diaria de una oveja estabulada consiste en 300 g de cebada o avena, 200 g de heno de alfalfa y ½ kg de paja. Las ovejas recién paridas reciben 200 g más de cebada o avena.

La oveja de campo se alimenta de los pastos y forrajes que hay en la finca, y, salvo en años excepcionalmente desfavorables, no recibe ningún otro suplemento alimenticio (Fig. 3). Los recursos forrajeros que ofrece la finca son los siguientes:

1. Avena a diente: septiembre-febrero
2. Rastrojera de avena: junio-julio (agosto)
3. Cubierta del almendro: octubre-mayo
4. Hoja de almendro: septiembre
5. Cáscara de almendra: septiembre-octubre
6. Tallos de brócoli: febrero-marzo
7. Subproductos de lechuga: junio, julio, agosto. No les aporta muchos nutrientes pero les aporta agua. La lechuga suele proceder de la propia finca, o de la cooperativa de Huéscar.

8. Monte: abril a noviembre. El aporte de los pastos del monte a la dieta de la oveja no es cuantitativo, pero sí cualitativo, ya que contribuye al mantenimiento de su salud. La oveja que pasta en el monte realiza un mayor ejercicio físico, se lima las pezuñas y complementa su dieta con plantas medicinales (frutos de sabina, romero, tomillo, mejorana, etc.) y plantas ricas en fibra (esparto).

Tabla 1. Esquema del calendario alimenticio de las ovejas en la finca “Los Morales”, Huéscar.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Avena a diente												
Rastrojera de avena												
Cubierta de almendro												
Hoja de almendro												
Cáscara de almendro												
Tallos y hojas de brócoli												
Subproductos de lechuga												
Monte												

2. ESTUDIO DE PASTOS

2.1. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

En los Capítulos 1, 2, 3 y 4 se utilizó una metodología común para cuantificar la producción de los pastos naturales y agrícolas de este trabajo.

Dentro de cada parcela (unidad de muestreo), se escogen seis puntos al azar. En cada punto se corta la vegetación de un cuadrado de 0.5 x 0.5 m, usando para ello un marco metálico y unas podadoras eléctricas de mano o una hoz (Fig. 3). Cada muestra se guarda en una bolsa cerrada herméticamente.

En el laboratorio se pesa cada muestra. A continuación, se secan en una estufa de aire forzado, a 60^o C, hasta conseguir un peso constante (48 h, en general). Se calcula el promedio de la producción en peso seco por cada cuadrado de 0.25 m² para cada parcela. Este dato se expresa en las unidades del sistema internacional (kg ha⁻¹ o kg ha⁻¹ año⁻¹).



Figura 3. Muestreo de la producción de los pastos: con hoz (izquierda) y podadoras eléctricas (derecha).

2.2. ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN FLORÍSTICA

Para el estudio de la composición botánica de los pastos estudiados, se utilizaron dos métodos:

- a) Método destructivo: Parcelas de corte.
- b) Método no destructivo: Método por puntos ("Point Quadrat Modificado").

2.2.1. Método destructivo

Este método se utilizó para determinar la composición florística y la proporción de especies en los cultivos de avena y avena-veza (Capítulos 3 y 4) y en las cubiertas sembradas (Capítulo 2).

Para cada parcela se tomaron 3 muestras frescas (0,25 m², cada una), procedentes del muestreo para la evaluación de la producción citado anteriormente (apartado 2.1). Se separan a mano y se determinan las distintas especies que componen la muestra. Se pesa la biomasa de cada especie. A continuación, las muestras separadas se secan en la estufa a 60^o C para estudiar el porcentaje de humedad de cada una de ellas. El resultado se expresa en porcentaje de peso seco por especie respecto al peso seco del total de la muestra.

2.2.2. Método no destructivo: Point Quadrat

El método por puntos "Point Quadrat" (Daget y Poisonet, 1971) consiste en establecer un determinado número de transectos por unidad de muestreo y, con la ayuda de una aguja, registrar secuencialmente la presencia o ausencia de las plantas en cada punto, anotando el número de contactos (Fig. 4).



Figura 4. Muestreo de los pastos bajo cultivos de almendros mediante el método de "Point Quadrat".

Para cada unidad de muestreo, utilizamos cuatro transectos de 5 m de longitud y secuencia de puntos cada 5 cm (100 puntos por transecto). En cada punto registramos los contactos con una aguja de 2 mm de diámetro.

En comunidades de baja cobertura se aconseja utilizar la contribución específica por contactos, que considera en cada punto del transecto el número de contactos para cada especie (método de Point Quadrat Modificado; Passera et al., 1983). Además, este parámetro es un buen estimador de la biomasa de las especies que componen este tipo de pastos (Passera et al., 1983; Robles, 1990). Para el cálculo de la contribución específica por contactos se utilizó la siguiente ecuación:

$$CSC_i = \frac{FSC_i}{\sum_{i=1}^n FSC_i} \cdot 100,$$

donde CSC_i es la contribución específica por contactos para la especie i , y FSC_i es la frecuencia específica de contacto para la especie i .

Esta misma metodología se puede utilizar para el estudio de la cobertura. En este caso se considera sólo la presencia o ausencia de plantas o su proyección vertical (Winworth et al., 1962), registrando el número de puntos que, al menos, presentaban un contacto con una especie como una estimación de la cobertura (%):

$$Cobertura = \frac{CS}{CT} \cdot 100$$

donde *CS*, es la contribución específica para cualquier especie (nº de contactos con plantas) y *CT* es el número de contactos totales, que en nuestro caso es 100.

2.3. ESTUDIO DE LA BIODIVERSIDAD

Para medir la biodiversidad en las distintas parcelas existen numerosos índices, aunque uno de los más usados es el índice de Shannon (Magurran, 2004). En nuestro caso, este índice se calculó usando la fórmula:

$$H' = - \sum P_i \log_{10} P_i,$$

donde P_i es el porcentaje en peso seco de la especie i , cuando se utilizó el método destructivo para evaluar la composición florística, o bien, el porcentaje de contactos para la especie i , cuando hemos seguido el método Point Quadrat.

2.4. ESTUDIO DE LA SIMILARIDAD ENTRE PASTOS

La similaridad entre distintos tipos de pastos o cubiertas vegetales fue estimada mediante el índice de similaridad de Jaccard (Legendre y Legendre, 1998; Magurran, 2004). Este índice usa la presencia y ausencia de especies de dos comunidades para medir la proporción de especies comunes a dichas comunidades basada en el número total de especies presentes al menos en una de las dos. El índice se define como:

$$J = \frac{a}{a+b+c},$$

donde J es el índice de Jaccard, a es el número de especies que están presentes en ambas comunidades, b es el número de especies que sólo están presentes en la primera comunidad, y c el número de especies que sólo está presente en la segunda comunidad. Los valores oscilan entre 0 (la composición es completamente distinta) a 1 (la composición es idéntica).

2.5. VALORACIÓN NUTRITIVA

Las determinaciones analíticas se realizaron según el protocolo habitual seguido por el Departamento de Nutrición Animal de la Estación Experimental del Zaidín. El protocolo que se expone a continuación forma parte de la tesis doctoral de Martín García (2001).

Todas las determinaciones se realizaron sobre muestras desecadas y molidas en molino de cuchillas (Retsch, Mod. SM-1) con tamiz de 1 mm de luz de malla.

2.5.1. Materia seca

Las muestras pesadas previamente, se introducen en una estufa de aire forzado a $103\pm 1^{\circ}\text{C}$ y se mantienen en ella hasta adquirir peso constante (generalmente, 24 a 48 horas). La materia seca se expresa como porcentaje.

2.5.2. Materia orgánica

Las cenizas totales se obtienen por calcinación de 1 a 2 g de una muestra durante 5 horas en horno mufla a 550°C . El contenido en materia orgánica se determina por diferencia entre 100 y el contenido porcentual de cenizas totales, referido a materia seca.

2.5.3. Fracción fibrosa

Se determinan según el esquema analítico de van Soest (Goering y van Soest, 1970), utilizando la tecnología de Ankom Corporation®. Para ello, se pesan 0,5 g de muestra y se introducen en sacos de poliéster (Ankom Corp. #F57), libres de nitrógeno y cenizas, previamente desecados en estufa de ventilación forzada a $103\pm 1^{\circ}\text{C}$ y pesados. Seguidamente, los sacos se sellan térmicamente y se agitan vigorosamente para conseguir que la muestra se distribuya homogéneamente en su interior. A continuación, se colocan un total de 24 sacos sobre un suspensor, que se introduce en la cubeta de digestión del analizador (Ankom200), que se rellena con 2 litros de la solución correspondiente (detergente neutro o detergente ácido). Una vez que la temperatura de la solución alcanza 100°C se mantiene la digestión durante una hora. Transcurrido este tiempo, se realiza el aclarado de los sacos, que consiste en tres lavados, de tres minutos de duración cada uno, con agua destilada a $90\text{-}100^{\circ}\text{C}$. A continuación, se retiran los sacos, se elimina el exceso de agua mediante presión y se sumergen en acetona durante tres minutos. Finalmente, se elimina el exceso de acetona y se dejan secar los sacos a temperatura ambiente durante 1 hora. La desecación se completa en estufa a 60°C hasta peso constante.

2.5.3.1. Fibra neutro detergente (FND)

El material celular soluble se extrae por ebullición en la cubeta de digestión, durante 1 hora en una solución de detergente neutro de lauril sulfato sódico que contiene EDTA (etilendiaminotetracetato) disódico. Este material soluble se considera que es fácilmente utilizable desde el punto de vista nutritivo, mientras que los componentes insolubles son aquellos que requieren una fermentación microbiana para su asimilación. El material insoluble en detergente neutro constituye la fibra neutro detergente (FND). Tras el proceso de digestión, se calcina la muestra a 550°C en horno mufla. Los resultados de FND se expresan como g kg⁻¹ de materia seca.

2.5.3.2. Fibra ácido detergente (FAD)

El residuo que se obtiene tras someter la muestra a digestión con solución de detergente ácido (bromuro de cetiltrimetilamonio) en medio sulfúrico está constituido fundamentalmente por lignocelulosa. Tras su calcinación a 550°C en horno mufla, constituye la fibra ácido detergente (FAD), que se expresa como g kg⁻¹ de materia seca.

2.5.3.3. Lignina ácido detergente (LAD)

La lignina es el principal constituyente de la pared celular. El saco que contiene el residuo obtenido tras la incubación de la muestra con detergente ácido, se sumerge en ácido sulfúrico al 72% durante 3 horas. A continuación, se lavan los sacos con agua destilada caliente hasta obtener un pH neutro en el agua de lavado, se aclaran con acetona para retirar el agua, se desecan al aire y se introduce en una estufa de ventilación forzada a 103±1°C. Los sacos se pesan y se incineran en un horno de mufla a 550°C para determinar el contenido en cenizas. El residuo libre de cenizas constituye la fracción denominada lignina ácido detergente.

2.5.4. Componentes nitrogenados

2.5.4.1. Proteína bruta

La proteína bruta se calcula a partir de los datos obtenidos en la determinación del nitrógeno total por el método Kjeldahl aplicando el factor multiplicador 6,25. Para ello, se mineralizan entre 1 y 2 g de muestra en ácido sulfúrico concentrado a 360°C, utilizándose un catalizador constituido por 100 partes de sulfato potásico, 6 de sulfato de cobre y 1 de selenio. Como resultado de este tratamiento el nitrógeno de la muestra se transforma en sulfato amónico. En presencia de un exceso de hidróxido sódico se destila el amoniaco de una alícuota del mineralizado en un destilador Buchi. El amoniaco producido

se recoge en agua destilada. La valoración potenciométrica de la solución se lleva a cabo con ácido clorhídrico 0,05 N en equipo automático provisto de un electrodo de pH, hasta punto final (pH=5,25).

2.5.4.2. Nitrógeno ligado a la FAD

Los residuos secos obtenidos tras los tratamientos de la muestra con solución de detergente ácido, es decir, la FAD, se somete al mismo proceso de determinación de nitrógeno total descrito en el apartado anterior. Se obtiene así la fracción de nitrógeno asociado a FAD (N-FAD). La cantidad de nitrógeno asociado a esta fracción de la pared celular se expresa como porcentaje del nitrógeno total (Nt) contenido en la muestra en relación a la materia seca ($\text{g N-FAD} \cdot (100 \text{ g Nt})^{-1}$).

2.5.5. Digestibilidad *in vitro*

Al igual que para las valoraciones nutritivas, las muestras utilizadas para determinar la digestibilidad *in vitro* fueron desecadas y trituradas en partículas filtrables a 1 mm. La técnica utilizada fue la descrita por Tilley y Terry (1963). El objeto es recrear *in vitro* el proceso digestivo al que se verían sometidas las muestras vegetales en el rumen de la cabra o la oveja. En este caso, se utilizó líquido ruminal de cabras canuladas de raza granadina, alimentadas con heno de alfalfa a nivel de mantenimiento.

Dos horas después del suministro del alimento de la mañana se realiza la extracción, a través de la cánula, con la ayuda de una sonda de PVC de 1,5 cm de diámetro, cuyo extremo distal se coloca en el saco ventral del rumen y al que se aplica una ligera succión. El líquido ruminal se almacena en vasos Dewar precalentados a 38°C y se filtra con una doble capa de gasa por separado a través de dos capas de gasa. El filtrado obtenido se mezcla con una solución tampón (saliva artificial) en la proporción 1:4 (v/v). La solución tampón se prepara de acuerdo con la fórmula propuesta por Mc Dougall (1948) y permite mantener el pH entre los límites que requiere el normal desarrollo de los procesos digestivos. Seguidamente, la solución tampón se satura con CO₂ hasta que queda totalmente incolora y se conserva en estufa a 39±1°C. El período máximo transcurrido desde que se extrae el líquido ruminal hasta que se prepara la mezcla ruminal no debe superar los 30 minutos.

Las incubaciones de las muestras se realizan según el procedimiento Daisy de Ankom Technology Corporation. Este método comprende dos etapas que simulan el proceso digestivo de la cabra o la oveja:

- a) En la primera etapa, la muestra es digerida por los microorganismos del rumen a 39^o C, en condiciones anaerobias y de oscuridad. Para ello, se colocan 0,5 g de muestra desecada y molida, en molino de cuchillas (Retsch, Mod. SM-1) con tamiz de 1 mm de luz, en sacos de poliéster previamente pesados, y libres de nitrógeno y cenizas (Ankom Corp. #F57). Los sacos sellado térmicamente y se agitan vigorosamente para conseguir un reparto homogéneo de la muestra en su interior. Los sacos que contienen las muestras se introducen en un recipiente de vidrio de 4 litros con cierre hermético y una válvula de escape. En cada recipiente se colocan 25 sacos y 2 litros de la mezcla ruminal antes descrita (líquido ruminal + solución tampón). El recipiente se purga con CO₂ antes de cerrarse y puede introducir hasta 4 recipientes en el incubador Daisy II. La temperatura del incubador se mantiene constante a 39^oC y los recipientes que contienen los sacos con las muestras se agitan continuamente. Transcurridas 48 h de incubación se detiene la actividad microbiana mediante la adición de 50 ml de Hg Cl₂ al 5% a cada recipiente, se extraen los sacos y se lavan con agua corriente fría y se elimina exceso de agua por presión sobre éstos. Comenzaría entonces la segunda etapa del proceso.
- b) En la segunda etapa se simula la fase de digestión gástrica en la que se hidrolizan las proteínas no digeridas en la etapa anterior. De este modo, se vuelven a colocar los sacos con la misma disposición en los recipientes de vidrio, que se rellenan con 2 litros de una solución de pepsina (Sigma P-7012) en medio ácido (2g de pepsina 1:10.000 por litro de HCl 0,1N), y se mantienen otras 48 h en agitación constante y a 39^oC en el incubador descrito anteriormente. Finalizado este tiempo, se centrifuga, se elimina el sobrenadante y se lava el residuo repetidas veces con agua. El contenido se deseca en estufa a 103±1^oC durante 24 horas y se pesa. Finalmente, se determinan las cenizas por calcinación a 550^o C.

Paralelamente a este proceso, en cada una de la series, se realizan “blancos” con el objeto de determinar la porción correspondiente a partículas de alimento no digeridas y microorganismos del líquido ruminal. A partir del valor medio de estos “blancos” se determina la digestibilidad in vitro de la materia seca y de la materia orgánica y se expresa como porcentaje del material digerido.

2.6. CAPACIDAD DE CARGA GANADERA

La capacidad de carga ganadera se define como la cantidad de unidades animales (UA) que puede alimentar una unidad de superficie de pasto durante un período de tiempo determinado, habitualmente se refiere a 12 meses (UA ha⁻¹ año⁻¹). En el caso de los pastos naturales la capacidad de carga ganadera se define como la máxima carga que puede mantener un pasto bajo un manejo conservador (Holechek, 1989).

La metodología desarrollada por nuestro grupo de investigación (Robles, 1990; Passera 1999, Robles et al. 2009) integra la producción (kg MS ha⁻¹ año⁻¹) y el valor nutritivo de las especies (MJ kg⁻¹ MS) que componen los pastos con las necesidades de los animales (MJ animal⁻¹ año⁻¹). Ambos componentes se comparan en términos energéticos como energía metabolizable: MJ ha⁻¹ año⁻¹ para los pastos y, MJ animal⁻¹ año⁻¹ para los animales.

El contenido energético de un forraje se expresa como energía metabolizable (EM, MJ kg⁻¹ MS). El cálculo de la EM se realizó, según las indicaciones de la ARC (1980), a partir de la materia orgánica digestible (MOD) y la digestibilidad in vitro de la materia orgánica (DIVMO).

Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$a) \text{ MOD} = \text{DMO} \cdot \text{MO} \cdot 100^{-1}$$

MOD (g kg⁻¹MS): materia orgánica digestible.

DMO (%): digestibilidad in vivo obtenida a partir de la regresión:

$$\text{DMO in vivo} = 9.70 + 0.839 \cdot \text{DMO in vitro}$$

MO: materia orgánica (g kg⁻¹MS)

$$b) \text{ ED} = 19 \cdot \text{MOD} \cdot 1000^{-1}$$

19 kJ: energía bruta g⁻¹ MOD

ED (MJ kg⁻¹MS): energía digestible

$$c) \text{ EM} = \text{ED} \cdot 0.82$$

EM (MJ kg⁻¹MS): energía metabolizable

0.82: factor de corrección que contempla las pérdidas energéticas correspondientes a orina y gases de fermentación (estimadas en 0.17%).

$$d) \text{ EMD} = \text{EM} \cdot \text{BF}$$

EMD ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): energía metabolizable disponible

BF ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): biomasa forrajera

Los requerimientos energéticos diarios medios (REDM) de una oveja están estimados en $13.26 \text{ MJ UA}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Robles *et al.*, 2009). Por lo tanto, la capacidad de carga anual de un cultivo o un pasto se calculará como,

$$e) \text{ CCA} = \text{EMD} \cdot \text{REDM}^{-1} \cdot 365^{-1}$$

CCA ($\text{UA ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): capacidad de carga annual

EMD ($\text{MJ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$): energía metabolizable disponible

REDM ($\text{MJ UA}^{-1} \text{ día}^{-1}$): requerimientos energéticos diarios medios

3. ESTUDIO DE SUELOS

3.1. METODOLOGÍA DE MUESTREO DE SUELOS

Dentro de cada parcela (unidad de muestreo), se escogen tres puntos que definen un triángulo cuyo centro se ubica, aproximadamente, en el centro de la parcela.

En cada punto, con la ayuda de una azada se toma una muestra de 1-1.5 kg de suelo de los primeros 25 cms, de forma que tome la misma cantidad de suelo a cada profundidad. Para realizar la toma de muestras con mayor precisión, se puede utilizar una barrena de muestreo de suelo, en lugar de una azada. Las tres muestras recogidas para cada unidad de muestreo se mezclan para formar una única muestra compuesta.

A continuación, se pasa la muestra por un tamiz de 2 mm. Se separan unos 100g de suelo para los análisis biológicos y se introducen en tarros herméticos y estériles que son guardados a 4° C para su análisis. El resto del suelo se seca a temperatura ambiente y se guarda en bolsas de plástico para posteriores análisis físicos o químicos.

3.2. DETERMINACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

3.2.1. Tamaño medio de los agregados y cambios en el tamaño medio de los agregados.

Se acopla un juego de tamices de suelo de luz 1, 0,5 y 0,1 mm. Se pesan 10 g de suelo, previamente tamizados a 2 mm, y se depositan sobre el tamiz superior. Se coloca el juego de tamices sobre un agitador de tamices mecánico de intensidad variable (Fig 5).



Figura 5 Agitador de tamices mecánico de intensidad variable.

Se selecciona un tiempo de agitación de 5 minutos y una intensidad media. Pasado este tiempo se retira el material que queda sobre los tamices y el rechazo y se pesa cada uno de ellos. A continuación se recupera toda la muestra analizada y se vuelve a colocar sobre el juego de tamices, y éste en el agitador, seleccionando la intensidad máxima y un tiempo de 20 minutos.

La distribución del tamaño de los agregados la expresamos a través del diámetro medio (*Meanweight diameter(MWD)*; Van Bavel, 1949), que es igual a la suma de los productos del diámetro medio, x_i , de cada fracción por el peso relativo de la fracción correspondiente, w_i ; donde la sumatoria se realiza sobre las n fracciones incluyendo la que pasa por el tamiz más fino:

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

El diámetro medio es calculado para las dos intensidades de tamizado (media y máxima). La resistencia de los agregados a la abrasión (por ejemplo, al efecto del viento, del laboreo, etc.) se estima calculando los cambios en el diámetro medio de los agregados (CMWD, del inglés, changes in mean weigh diameter):

$$CMWD = MWD_1 - MWD_2$$

Donde, MWD_1 es el diámetro medio obtenido para un tamizado de 5 minutos a una intensidad media y MWD_2 es el diámetro medio para un tamizado de 20 minutos a una intensidad máxima.

Cuanto menor sea esta diferencia, tanto más estables son los agregados a la abrasión.

3.2.2. Estabilidad estructural en húmedo

Se tamizan los suelos con tamices de 2 mm y 1 mm de luz, la fracción para el análisis será aquella menor de 2 mm y mayor de 1 mm.

De cada una de las muestras se pesan 4 réplicas de 4 gramos. Para cada réplica se prepara una cápsula metálica de 100 ml, previamente pesada y numerada, con 25 ml de agua destilada.

Cada muestra de suelo se coloca en el interior de pequeños contenedores numerados (tamices) cuya base es un tamiz de 250 μm de luz. Se colocan sobre arena humedecida con agua y cubierta con un papel de filtro para que se vayan humectando poco a poco.

El equipo de tamizado en húmedo consiste en una base circular sobre la que se colocan las cápsulas con agua destilada, una plataforma móvil, del mismo tamaño que la anterior, con agujeros sobre los que se colocan los tamices, y un motor que hace que la plataforma suba y baje con una frecuencia de 35 ciclos por minuto y que permite que el suelo depositado en el tamiz se sumerja y salga del agua tantas veces como ciclos (Fig. 6).



Figura 6. Aparato de tamizado en húmedo.

Los tamices se colocan en la plataforma móvil del equipo de tamizado en húmedo, y las cápsulas con el agua destilada, en la base del equipo de modo que cada tamiz se introduzca dentro de su cápsula correspondiente. Se pone en funcionamiento durante 3 minutos.

Pasado este tiempo se elevan los tamices y se colocan las cápsulas sobre una placa térmica para que se evapore toda el agua, sin llegar nunca al punto de ebullición

A continuación, se sustituyen dichas cápsulas por otras nuevas, previamente pesadas y numeradas, que contienen 25 ml de solución de hexametáfosfato de sodio (2 g l^{-1}). Dicha solución dispersa las arcillas, de forma que se disuelven todos los agregados que haya en la muestra.

Se vuelve a conectar el motor y transcurridos 3 minutos, se deja unos 30 minutos sumergido en la solución, pudiéndose realizar una agitación intermedia más. Tras este tiempo se observa si se han disuelto por completo todo los agregados, en caso de que no lo hayan hecho, se puede remover con algo suave (un trozo de goma) o se puede agitar durante unos minutos más.

Se colocan las cápsulas sobre la placa térmica hasta la evaporación total de la disolución. Una vez que se hayan enfriado las cápsulas, se pesan.

El porcentaje de agregados estables en húmedo se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$AEH(\%) = \left(1 - \frac{A_{H_2O}}{A_{H_2O} + A_s}\right) \cdot 100$$

Donde,

AEH : agregados estables en húmedo (%)

A_{H_2O} : agregados disueltos en agua (g)

A_s : agregados disueltos en la solución dispersante (g)

3.2.3. Humedad gravimétrica

Se pesan 5 g de suelo. Se introduce en una estufa a 105^o C hasta conseguir un peso constante. Se vuelve a pesar el suelo. El contenido en humedad del suelo vendrá dado por la expresión,

$$\theta_g(\%) = \frac{S_{húmedo} - S_{seco}}{S_{seco}} \cdot 100$$

Donde,

θ_g : humedad gravimétrica

$S_{húmedo}$: suelo húmedo

S_{seco} : suelo seco

3.2.4. Tasa de infiltración

La tasa de infiltración se midió mediante el método del doble anillo de Muntz (Mathieu y Pieltain, 1998) que consiste en el uso de dos cilindros de hierro de 25 cm de longitud y 10,5 y 20,7 cm de diámetro, respectivamente, con bordes biselados y cortantes en uno de sus extremos. Los anillos se instalan de forma concéntrica sobre el suelo y se nivelan sus bordes superiores. El anillo exterior evita la difusión lateral de agua. Este anillo produce un espacio anular formando una zona de amortiguación o “buffer” cuando se le agrega el agua (Fig. 7). Se debe mantener el nivel de agua a la misma altura en ambos receptáculos para no crear un gradiente hidráulico.



Figura 7. Medición de la tasa de infiltración usando el método del doble anillo de Muntz.

Una vez clavados los anillos (3-4 cm de profundidad), se coloca una cinta métrica en disposición vertical en el borde interno del anillo central. A continuación, se rellena con agua el espacio comprendido entre los dos anillos (espacio regulador o “buffer”) y, finalmente, se agrega agua al cilindro central (infiltrómetro) enrasando con el cero de la cinta métrica. Simultáneamente se comienza a cronometrar la velocidad de infiltración (tiempo que tarda en descender el nivel del cilindro interior 1cm). Para mantener las condiciones de presión, cada 4 cm de descenso de nivel se repone el volumen de agua infiltrada. El experimento se mantiene hasta que se estabiliza la velocidad de infiltración (tiempo de equilibrio), es decir, hasta que las medidas de tiempo requerido para descender 1 cm son constantes. Aproximadamente, se empleó una media de 75 minutos en cada experimento, habiendo sido necesario en algunos casos más de 120 (Tabla 2). Una vez estabilizada la velocidad de infiltración, se representa dicha velocidad (mm h^{-1}) en función del tiempo total del experimento.

Mientras se realiza el ensayo, se controlan también los descensos en el anillo exterior manteniendo constante el nivel de agua en este espacio anular para evitar la formación de un gradiente hidráulico, ya que el mismo produce una perturbación que conduce a la obtención de datos erróneos en las mediciones.

Esta medición sólo se realizó para el capítulo 5, donde se muestran los valores medios de infiltración.

Tabla 2. Ejemplo de medición de infiltración para la parcela 1 (Capítulo 5). Tiempo cm^{-1} : tiempo empleado para la infiltración de 1 cm de agua. Tiempo de ensayo: tiempo acumulado desde el comienzo del ensayo. K: infiltración, expresada en cm s^{-1} o en mm h^{-1} .

Tiempo cm^{-1}	Tiempo de ensayo	K (cm s^{-1})	K (mm h^{-1})
0,35	0,35	0,0476	1 710
0,3	0,65	0,0556	2 000
1,24	1,89	0,0134	484
2,18	4,07	0,0076	275
2,3	6,37	0,0072	261
2,45	8,82	0,0068	245
2,4	11,22	0,0069	250
2,5	13,72	0,0067	240
2,45	16,17	0,0068	245
3,2	19,37	0,0052	188
2,46	21,83	0,0068	244
2,44	24,27	0,0068	246
2,52	26,79	0,0066	238
3	29,79	0,0056	200
2,48	32,27	0,0067	242
2,48	34,75	0,0067	242
2,5	37,25	0,0067	240
2,25	39,5	0,0074	267
3	42,5	0,0056	200
2,33	44,83	0,0072	258
3,18	48,01	0,0052	189
3,15	51,16	0,0053	190
3,15	54,31	0,0053	190
3,09	57,4	0,0054	194
3,02	60,42	0,0055	199
3,05	63,47	0,0055	197
3,01	66,48	0,0055	199
Promedio		0,0099	357

La determinación de la textura (Anexo I) se realizó en el Laboratorio Agroalimentario de Atarfe siguiendo los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1994).

3.3. DETERMINACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

3.3.1. Determinación del pH del suelo.

Se pesan 10 g de suelo tamizados a 2 mm y se añaden 25 ml de agua destilada. Agitar durante 30 minutos y dejar reposar 10 minutos. Calibrar el pH-metro. Agitar la suspensión suavemente antes de entrar en contacto con los electrodos del pH-metro, pero no durante la medida. Introducir los electrodos en el líquido sobrenadante, evitando la formación de burbujas. Medir el pH.

3.3.2. Carbono hidrosoluble

Se pesan 2 g de suelo tamizados a 2 mm y se introducen en un tubo de plástico con tapón de rosca. Se agregan 10 ml de agua destilada y se incuban en un baño de agua a 50°C con agitación. Una vez concluida la incubación se centrifuga a 3000 r.p.m. durante 10 minutos, posteriormente se filtra con papel de filtro sin cenizas y se procede a su determinación por oxidación con K_2CrO_4 y H_2SO_4 . Para ello, se toman 2 ml del extracto en un tubo de pirex. Se añade 1 ml de solución de dicromato potásico 1N y 2 ml de H_2SO_4 (96%). Se cierran herméticamente los tubos y se introducen en un bloque digestor durante 30 minutos a 150°C. Transcurrido este tiempo se deja que se enfríen y se mide en el espectrofotómetro a 590 nm. Se deben de hacer 2 blancos con agua destilada.

Preparación de la recta de calibrado.

Se prepara una recta de calibrado con glucosa, midiendo la absorbancia (a 590 nm) de disoluciones de glucosa de distintas concentraciones (50, 80, 100, 200, 400, 800 ppm). Los resultados se dan en mg de carbono hidrosoluble por kg de suelo ($mg\ kg^{-1}$ suelo).

Las determinaciones de N, P, K, materia orgánica oxidable, Na, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn, $CaCO_3$, caliza activa, pH en KCl, capacidad de cambio catiónico y conductividad eléctrica, (Capítulos 5 y 6, y Anexo I), se realizaron en el Laboratorio Agroalimentario de Atarfe siguiendo los Métodos Oficiales de Análisis del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1994).

3.4. DETERMINACIÓN DE ALGUNAS ENZIMAS DEL SUELO

3.4.1. Actividad deshidrogenasa.

Para cada muestra se utilizan 4 tubos de vidrio 10 ml con tapón de rosca (3 muestras a las que se añadirá sustrato + 1 blanco). A todos los tubos se le añaden 1 g de suelo, 0,2 ml de agua destilada y 0,2 ml de cloruro de 2-*p*-iodofenil-3-*p*-nitrofenil-5-feniltetrazolio (INT) al 0,4%, excepto los blancos, a los cuales se les añaden 1 g de suelo y 0,4 ml de agua destilada. Se mezcla bien el suelo con el INT golpeando suavemente el tubo en posición vertical con la mesa, evitando que quede muestra adherida a las paredes del tubo. A continuación, se incuban durante 20 horas en oscuridad a 20° C (sin agitación). Pasado este tiempo se le añaden a todos los tubos 5 ml de la mezcla extractora (tetracloroetileno + acetona en una proporción 1:1.5). Se tapa y se agita vigorosamente con ayuda de un vortex durante 2 min.

Se centrifuga a 1000 rpm durante 10 minutos. Se toman 2 ml de sobrenadante y se agregan 2 ml de mezcla extractora. Se mide la absorbancia en espectrofotómetro a 490 nm, para lo cual se utilizan cubetas de cuarzo. El blanco se realiza con la mezcla extractora.

Preparación de la recta de calibrado.

Se prepara una curva con una solución patrón de INTF (iodo-nitrotetrazolio formazan) de 100 ppm y se preparan sucesivamente diluciones de 60, 40, 20, 10, 5 y 0 ppm. A continuación se miden cada una de ellas en el espectrofotómetro a 490 nm.

Los resultados se dan en $\mu\text{g INTF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

3.4.2. Actividad β -glucosidasa

Se pesan 0,5 g de suelo en tubos de plástico de 10 ml con tapón de rosca. Para cada muestra se utilizarán 6 tubos (3 muestras con sustrato + 3 blancos). Como sustrato de la reacción se utiliza *p*-nitrofenil- β -D-glucopiranosido (PNG) 50 mM. Para preparar la disolución se pesan 0.30125 g de PNG en 20 ml de agua destilada.

A cada muestra se le añade 0,5 ml de PNG y 2 ml de tampón maleato a pH 6,5. A los blancos sólo se les añade 2 ml de tampón.

Todos, tanto muestras como blancos, se incuban en un baño de agua con agitación durante 2 horas a 37° C. Una vez finalizada la incubación a los blancos le añadimos 0,5 ml de PNG.

Posteriormente a todos, tanto muestras como blancos, se les añade 0,5 ml de Ca Cl_2 0.5 M y 2 ml de NaOH 0,5 M. Se agita vigorosamente y se centrifuga a 3500 rpm durante 10 min. Finalmente, se hacen las diluciones necesarias para poder ser medidas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 398 nm.

Preparación de la recta de calibrado.

Se prepara una solución standard de 1000 ppm de *p*-nitrofenol (PNP), es decir, se disuelven 0,1 g de PNP en 100 ml de agua destilada. A partir de esta solución se preparan las siguientes diluciones 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 200 ppm, y a continuación se miden cada una de ellas en el espectrofotómetro a 398 nm.

Los resultados se expresan en μg de PNP $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Preparación del tampón maleato (0,1 M pH 6.5)

El tampón maleato se prepara agregando 50 ml de una solución de maleato sódico 0.1 M, 39 ml de solución de NaOH 0.1M y 111 ml de H_2O

Preparación del maleato sódico 0.1 M: añadir 4 g de NaOH + 11.6 g de ácido maléico y enrasar a 1000 ml con H_2O destilada.

Preparación de NaOH 0.1 M: agregar 4 g de NaOH y enrasar a 1000 ml de H_2O destilada.

3.4.3. Actividad fosfatasa

Se pesan 0,5 g de suelo en tubos de plástico de 10 ml con tapón de rosca. Para cada muestra se utilizan 6 tubos (3 muestras con sustrato + 3 blancos). Como sustrato de la reacción se utiliza *p*-nitrofenil fosfato (PNPP) 0.115 mM. Para preparar dicha disolución se pesan 2,1333 g y se enrasa hasta 50 ml con de agua destilada.

A cada muestra se le añade 0,5 ml de PNPP + 2 ml de tampón maleato a pH 6,5, mientras que a los blancos sólo se les añade el tampón.

Todos, las muestras y los blancos, se incuban en un baño de agua durante 2 horas a 37° C con agitación. Una vez finalizada la incubación a los blancos le añadimos 0,5 ml de PNPP.

Posteriormente, a todos, tanto muestras como blancos, se le añade 0,5 ml de Ca Cl_2 0.5 M y 2 ml de NaOH 0.5 M. Se agita vigorosamente y se centrifuga a 3500 rpm durante 10

min. Finalmente, se hacen las diluciones necesarias para poder ser medidas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 398nm.

Para elaborar la recta de calibrado se utiliza la misma metodología que para la actividad β -glucosidasa. Los resultados se expresan en μg de PNP $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

3.4.4. Actividad arilsulfatasa

Se pesan 0,5 g de suelo en tubos de plástico de 10 ml con tapón de rosca. Para cada muestra se utilizarán 6 tubos (3 muestras con sustrato + 3 blancos). Como sustrato de la reacción se utiliza *p*-nitrofenil sulfato (PNS) 20 mM. Dicha disolución se prepara agregando 0,5146 g y enrasando hasta 100 ml con agua destilada.

A cada muestra se le añade 1 ml de PNS+ 4 ml de tampón acetato 0,5 M a pH 5.8. A los blancos sólo se les agrega 4 ml de tampón acetato.

Las muestras y los blancos se incuban en baño de agua a 20 °C con agitación durante 2 horas. Una vez finalizada la incubación a los blancos le añadimos 1 ml de PNS. Posteriormente, a todos, tanto muestras como blancos, se les añade 1 ml de CaCl_2 0,5 M + 2 ml de NaOH 1 M. Se agita enérgicamente y se centrifuga a 3500 rpm durante 10 min. Se hacen las diluciones necesarias para poder ser medidas en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 398nm.

La recta de calibrado es la misma que la que se utiliza para la actividad β -glucosidasa y fosfatasa. Los resultados se expresan en μg de PNP $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Preparación del tampón acetato (0.5 M pH 5.8)

Se pesan 0,2457 g de ácido acético y 0,6248 g de acetato sódico trihidratado y se enrasa a 100 ml con agua destilada.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Daget P. y Poissonet J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Annales Agronomiques* 22, 5-41.
- Holechek J.L. 1989. Range Management. Principles and practices. New Jersey: Prentice Hall.
- Legendre P y Legendre L. 1998. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier.
- Magurran A.E. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science.
- Martín García A.I. 2001. Potencial de la hoja de olivo y del orujo de dos fases como alimento de ovino y caprino. Valoración nutritiva mediante técnicas de simulación. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Mathieu C. y Pieltai, F., 1998. Analyse physique des sols. Méthodes choisies. París: Lavoisier Technique & Documentation, cop.
- Mc Dougall E. I. 1948. Studies on ruminant saliva 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal* 43, 99-109.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Volumen III. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Passera C.B., Dalmaso A.D.Borsetto O. 1983. Método de "Point Quadrat Modificado" En: Candia R.J., Braun R.H., Passera C.B., Dalmaso A., Borsetto O. y González J., eds. Taller de arbustos forrajeros para zonas áridas y semiáridas. Buenos Aires: FAO/IADIZA, pp. 71-79.
- Passera C.B. 1999. Propuesta metodológica para la gestión de ambientes forrajeros naturales de zonas áridas y semiáridas. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Robles A.B. 1990. Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido del sureste ibérico. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Robles A.B., Ruiz-Mirazo J., Ramos M.E. y González-Rebollar J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J. y

- Mosquera-Losada M.R., eds. Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects. Holanda: Springer, pp. 211-231.
- Romero M.A. 1989. Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (Cabecera del Guadalquivir). Estudio hidrogeomorfológico. Excmo. Ayuntamiento de Huéscar y Universidad de Murcia.
- Tilley J. M. A. y Terry R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. Journal of British Grassland Society 18: 104-111.
- Van Soest P.J. 1970. Forage fiber analyses. Agriculture Handbook 379. U.S. Washington DC (USA): Government Printing Office,.
- Van Bavel C.H. 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. Soil Science Society of America. Proceedings 14, 20-23.
- Winworth R.E., Perry R.A. y Rossetti C.O. 1962. A comparison of methods of estimating plant cover in an arid grassland community. Journal of Range Management 15, 194-196.

CAPÍTULO 1. EFECTOS DEL MANEJO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN BOTÁNICA DE LOS PASTOS DE UNA “DEHESA DE ALMENDROS” EN EL SUDESTE IBÉRICO.

Autores: Ramos M.E.^{a*}, Robles A.B.^a and González-Rebollar J.L.^a

Estación Experimental del Zaidín (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

C/ Profesor Albareda, 1 E-18008 Granada, Spain.

Phone number: +34658487888

* eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: en preparación.

Revista: Pastos

RESUMEN

La vegetación espontánea que crece bajo los cultivos de almendros puede constituir una fuente de alimento importante para el ganado ovino en el sudeste ibérico. Este trabajo compara la producción y composición florística de los pastos naturales desarrollados bajo cultivos de almendros con distintos tipos de manejo: 1) sin labrar (durante 2 y 3 años) y pastoreado (Tratamiento A, años 2004 y 2005) y 2) labrado el otoño anterior y sin pastoreo (Tratamiento B, año 2006). Las producciones de pastos (rango: 1247-1899 kg ha⁻¹) y el porcentaje de cobertura vegetal (rango: 54-82%) no mostraron diferencias significativas, probablemente, debido a la heterogeneidad de las parcelas, aunque ambas fueron mayores en los años más lluviosos. Las precipitaciones y, el tipo de manejo del suelo determinaron la composición florística. El tratamiento B mostró una mayor diversidad específica y riqueza de familias, y se desarrollaron, principalmente, especies características de comunidades arvenses (*Veronica hederifolia* L., *Papaver rhoeas* L., *Roemeria hybrida* (L.) DC., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, entre otras); mientras que en el cultivo A, menos diverso y menos rico en familias, dominaron las especies de pastos terofíticos nitrófilos y subnitrófilos (*Lolium rigidum* Gaudin, *Hordeum murinum* L., *Trigonella polyceratia* L., *Medicago minima* (L.) L. y *Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers, entre otras.). Por otro lado, las diferencias de pluviometría entre los años 2004 (relativamente lluvioso) y 2005 (seco) se manifestaron en una notable disminución, en el segundo año, de la riqueza específica y de las especies de mayor valor pascícola, destacando las leguminosas. Por tanto, nuestros resultados indican que los pastos bajo los cultivo de almendros en el sudeste ibérico están compuestos por un gran número de especies de considerables aptitudes forrajeras, aunque la presencia de especies de mayor calidad nutritiva, como *L. rigidum* y las leguminosas, está condicionada por la pluviometría y por el tiempo transcurrido desde el último laboreo.

Palabras clave: ambientes semiáridos mediterráneos, cobertura; diversidad y riqueza florística; laboreo, pastoreo, producción.

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación del ganado extensivo en los ambientes semiáridos Mediterráneos está limitada por la escasa productividad y calidad de los pastos. A menudo, la ganadería en estas zonas ocupa áreas marginales, poco productivas, donde son capaces de aprovechar los recursos de tierras no aptas para el cultivo (González-Rebollar et al. 1998). Por otra parte, numerosas zonas tradicionalmente cerealistas y que constituían una parte muy importante de la alimentación del ganado están siendo reconvertidas en regadíos (MAPA, 2006), por lo que la disponibilidad de pastos se ve aún más limitada. Por este motivo, se hace necesaria la utilización de otros recursos que complementen las áreas de pastoreo tradicionales.

El norte de la provincia de Granada es una área semiárida en la cual, la actividad agrícola está basada en el almendro, el cereal y la oveja Segureña. La mayoría de los almendros son monocultivos de 25 años. A pesar de que es uno de los cultivos principales de la zona, casi cada año debido a las heladas primaverales, las flores o las almendras inmaduras se hielan. Por tanto, sólo uno de cada 4 ó 5 años se obtiene cosechas de almendra rentables. En este contexto, una transformación del monocultivo de almendro en un sistema adehesado, donde los árboles son pastoreados con ganado ovino, podría ser una alternativa sostenible para los agricultores en esta zona.

El pastoreo con pequeños rumiantes (cabra y oveja) en los cultivos leñosos durante el invierno y la primavera ha sido una práctica tradicionalmente utilizada en el sudeste ibérico, con una doble finalidad: alimentar al ganado y controlar la vegetación arvense que compite con el cultivo. Sin embargo, la desconexión entre agricultura y ganadería, debido a la intensificación, y la costumbre de mantener el suelo desnudo en la mayoría de los cultivos leñosos hacen que esta práctica haya caído en desuso. No obstante, actualmente, existen numerosos ejemplos de integración de la ganadería en los olivares y almendrales, principalmente, en el marco de la agricultura ecológica (García-Trujillo, 2001a, 2001b; Parra y Calatrava, 2002; Milgroom et al., 2007; Metzidakis, 2008). Robledo (1991) estudió las cubiertas herbáceas espontáneas (pastos) en los cultivos de almendros y comprobó que son similares a la de los barbechos en cuanto a composición específica y productividad, y que puede llegar a constituir una buena parte de la alimentación del ganado durante el invierno y la primavera. Sin embargo, en el área mediterránea, la variación intra e interanual de las precipitaciones condiciona no sólo la producción de

pastos sino, también, la composición específica de los mismos (Peco et al., 1998). Por tanto, el estudio de la composición botánica y de la productividad de los pastos a lo largo del tiempo aporta una valiosa información sobre el valor pascícola de los mismos lo que permitirá ajustar la carga ganadera a su capacidad de carga o capacidad sustentadora.

El objetivo de este trabajo es evaluar la producción y la composición florística de los pastos naturales desarrollados bajo cultivos de almendros con distintos tipos de manejo: 1) sin labrar (durante 2 y 3 años) y pastoreados, y 2) labrado el otoño anterior y sin pastoreo.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. ZONA DE ESTUDIO

El estudio fue realizado en la finca Los Morales en Huéscar, norte de la provincia de Granada (990 m s.n.m, coordenadas UTM: 30S 535799 4192415). Ésta es una finca mixta agrícola y ganadera, cuya actividad está basada en la cría de la oveja segureña, cultivo de almendro y el cultivo de avena, aunque también se obtienen beneficios de la producción de hortalizas (brócoli, tomate, pimiento, apio, calabacín) durante el verano. El almendro es un cultivo poco rentable en la zona, como se mencionó anteriormente, sin embargo, cumple otros papeles importantes: por un lado, la cubierta herbácea que se desarrolla bajo él es aprovechada por el ganado, y, por otro, aporta sombra a éste durante los meses de primavera y verano.

Esta área se caracteriza por tener un clima mediterráneo continental semiárido con una precipitación media anual de 481 mm y temperatura media de 13º C. En la Figura 1 se muestran los datos de temperatura y precipitaciones durante el experimento, junto con la media de 30 años. La pluviometría anual registrada, para cada año agrícola, fue de 578, 219 y 504 mm en 2004, 2005 y 2006, respectivamente.

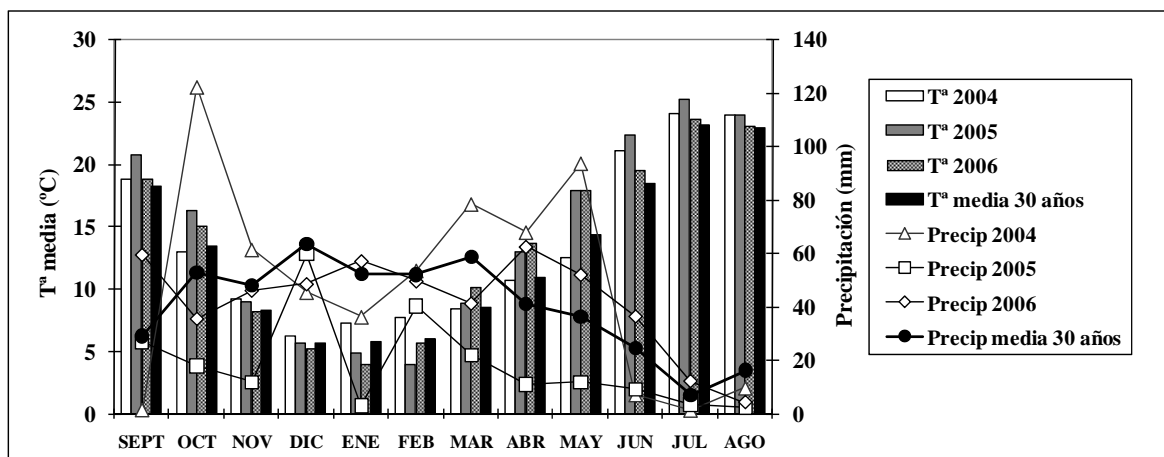


Figura 1. Datos de precipitación y temperatura media durante el experimento y media de 30 años.

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

El estudio se llevó a cabo en dos cultivos de almendros de la misma finca (marco de plantación 7 x 14 m), con dos tipos de manejo diferentes: 1) labrado 2 años antes y pastoreado desde entonces (tratamiento A, años 2004 y 2005) y 2) labrado recientemente, en otoño (tratamiento B, año 2006). Dentro de cada cultivo se seleccionaron 8 parcelas (tratamiento A) y 12 parcelas (tratamiento B), de dimensiones 5 x 5 m. En el tratamiento A, los almendros se labraron con cultivador en el año 2002 por última vez, y desde entonces la zona fue pastoreada periódicamente por el rebaño de ovejas de la finca. En el tratamiento B, entre las calles del cultivo de almendros se llevaba a cabo una rotación de cereal-barbecho, sembradas en 2004 y, posteriormente, labradas en octubre de 2005.

Los muestreos se realizaron en la primera semana de junio en todos los casos.

2.3. VARIABLES DE ESTUDIO

2.3.1. Producción

La producción de pastos se evaluó mediante el corte de 6 muestras de 0.25 m². Cada muestra fue secada en estufa a 60^o C hasta conseguir peso constante y, posteriormente, fue pesada. El valor promedio de las 6 muestras para cada parcela fue extrapolado a una hectárea.

2.3.2. Composición florística y cobertura

La composición florística y la cobertura de los pastos fueron evaluadas mediante el “Método Modificado del Point-Quadrat” (Daget y Poissonet, 1971). Para ello, se colocaron 4 transectos paralelos de 5 m cada uno dentro de cada parcela. Se anotó la especie y el número de contactos, cada 5 cm, con una aguja de 2 mm para cada transecto. Para el estudio de la composición florística se eligió el parámetro “contribución específica por contactos”, que considera el número de contactos registrado para cada especie en cada transecto, ya que este es un buen estimador de la biomasa de las especies que componen el pasto. La contribución específica por contactos se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CSC_i = \frac{FSC_i}{\sum_{i=1}^n FSC_i} \cdot 100,$$

donde CSC_i es la contribución específica de contacto para la especie i , y FSC_i , es la frecuencia específica de contacto para la especie i .

Para el estudio de la cobertura se consideró sólo la presencia o ausencia de plantas o su proyección vertical (Winworth et al., 1962), registrando el número de puntos que, al menos, presentaban un contacto con una especie como una estimación de la cobertura (%):

$$Cobertura = \frac{CS}{CT} \cdot 100$$

donde CS , es la contribución específica para cualquier especie (nº de contactos con plantas) y CT es el número de contactos totales, que en nuestro caso es 100.

2.3.3. Índice de Shannon

Para medir la biodiversidad en las distintas parcelas existen numerosos índices, aunque uno de los más usados es el índice de Shannon (Magurran, 2004). En nuestro caso, este índice se calculó usando la fórmula:

$$H' = - \sum P_i \log_{10} P_i,$$

donde P_i es el porcentaje de contactos para la especie i .

2.3.4. Índice de Jaccard

La similaridad entre los distintos años y tratamientos fue estimada mediante el índice de similaridad de Jaccard (Legendre y Legendre, 1998; Magurran, 2004). Este índice usa la presencia y ausencia de especies de dos comunidades para medir la proporción de especies comunes a dichas comunidades basada en el número total de especies presentes al menos en una de las dos. El índice se define como:

$$J = \frac{a}{a+b+c},$$

donde J es el índice de Jaccard, a es el número de especies que están presentes en ambas comunidades, b es el número de especies que sólo están presentes en la primera comunidad, y c el número de especies que sólo está presente en la segunda comunidad.

Los valores oscilan entre 0 (la composición es completamente distinta) a 1 (la composición es idéntica).

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las diferencias de producción y cobertura entre tratamientos se analizaron mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis ya que ninguna de las variables cumplía las asunciones de normalidad y homocedasticidad para poder realizar un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía. La contribución específica por contacto fue analizada mediante el test de Kruskal-Wallis para la mayoría de las especies, aunque varias de ellas fueron analizadas mediante un test de ANOVA de una vía puesto que cumplían las asunciones anteriormente mencionadas.

3. RESULTADOS

El análisis estadístico muestra que no existen diferencias significativas para las producciones (H -valor=2,0, g.l. = 2, p -valor= 0,37), ni para la cobertura (H -valor = 5,123, g.l. = 2, p -valor = 0,08) entre los tratamientos en los distintos años de muestreo (Tabla 1). Sin embargo, se detecta una tendencia en la cual las producciones fueron mayores en 2004 que en 2006 y éstas, mayores que en 2005. Asimismo, la cobertura registró la media más elevada para 2004, siendo similares en 2005 y 2006.

En cuanto a la diversidad, el índice de Shannon mostró que los pastos del tratamiento B fueron más diversos que los del tratamiento A (H -valor = 19,858, g.l. = 2, p -valor < 0.0001; Tabla 1).

Tabla 1. Producción ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) y cobertura vegetal (%) de los pastos bajo almendros para dos tipos de manejo de suelo (tratamientos) y tres años de muestreo. Las letras en superíndices indican diferencias significativas entre las distintas cubiertas. Trat: Tratamiento, ES: error estándar.

Trat.	Año	Producción		Cobertura		Índice de Shannon	
		Media \pm ES	Rango	Media \pm ES	Rango	Media \pm ES	Rango
A	2004	1899 \pm 477	996-2809	82 \pm 10	55-98	0,84 ^a	0,61-1,07
A	2005	1247 \pm 271	784-2017	54 \pm 8.7	36-72	0,74 ^a	0,65-0,83
B	2006	1645 \pm 93	1400-1946	54 \pm 1.7	48-59	1,17 ^b	1,04-1,30

El número de especies registradas a lo largo de los 3 años de estudio en los dos tratamientos fue de 61, repartidas en 16 familias. Mientras que las especies comunes a las tres fechas de muestreo sólo fueron 13 especies (21%), pertenecientes a las familias compuestas, crucíferas, fumariáceas, papaveráceas y, principalmente, a las gramíneas (Tabla 2). La riqueza específica fue de 37 especies (5 familias) en 2004, 22 en 2005 (8 familias) y 38 (13 familias) en 2006.

El estudio del porcentaje de familias calculado a partir de la contribución específica por contactos (Fig. 2) indica que en el tratamiento A dominaron las gramíneas (Poaceae), aunque en 2004, también contribuyeron notablemente las leguminosas (Leguminosae) y, en menor medida, las compuestas (Compositae), estando estas últimas también presentes en 2005. Sin embargo, en 2006 hubo una mayor riqueza de familias, predominando las papaveráceas, las gramíneas, las crucíferas y las escrofulariáceas.

En el tratamiento A, año 2004, las especies predominantes fueron *Lolium rigidum* Gaudin, principalmente, *Hordeum murinum* L., *Trigonella polyceratia* L., *Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers y *Medicago minima* (L.) L.), mientras que en el año 2005 las especies más abundantes fueron *H.murinum* principalmente, *Bromus tectorum* L. y *A. clavatus*. En el tratamiento B, año 2006, predominaron *L. rigidum*, *Veronica hederifolia* L., *Papaver rhoeas* L., *Vicia peregrina* L., *Gallium aparine* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, y *Roemeria hybrida* (L.) DC.).

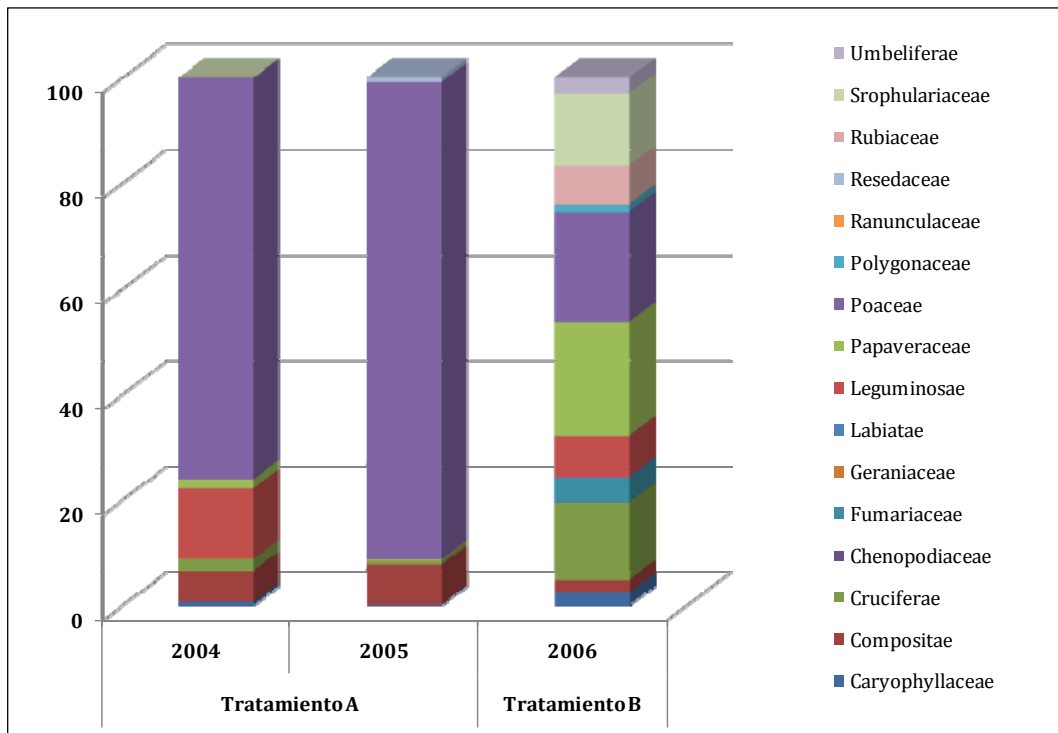


Figura 2. Porcentaje de familias en función de la contribución específica por contactos.

La contribución florística por contactos mostró diferencias significativas entre los dos tratamientos, pero también, entre las distintas fechas de muestreo. Así, tenemos que *A. clavatus* fue notablemente mayor en el tratamiento A (2004 y 2005) que en el B (2006), mientras que *D. sophia*, *N. paniculata*, *Fumaria pugsleyana* (Maire ex Pugsley) Lidén, *V. peregrina*, *P. rhoeas*, *R. hybrida*, *Gallium aparine* L., *V. hederifolia* y *Caucalis platycarpus* L. fueron más abundantes en el tratamiento B que en el A (Tabla 2). Por otro lado, numerosas especies que fueron más abundantes o, incluso, se encontraron exclusivamente en el año 2004, como, por ejemplo, *M. minima*, *Medicago truncatula* Gaertn., *Medicago rigidula* (L.) All., *T. polyceratia* y *L. rigidum*. Tan sólo *B. tectorum* y *H. murinum* predominaron en 2005 frente a 2004 y 2006 (Tabla 2).

Tabla 2. Contribución específica por contacto (CSC, %) de los pastos de 2 cultivos de almendros: A (años 2004 y 2005) y B (2006).

	Cultivo A		Cultivo B	H-valor
	2004	2005	2006	g.l. =3
CARYOPHYLLACEAE				
<i>Cerastium dichotomum</i> L.	0,04±0,04	0	0	2,500
<i>Herniaria cinerea</i> DC.in Lam. & DC.	0,53±0,19 ^a	0,15±0,15 ^b	0 ^c	13,526 ^{**}
<i>Minuartia hamata</i> (Hauskn. & Bornm.) Mattf.	0,02±0,02	0	0	2,500
<i>Stellaria alsine</i> Grimm	0,06±0,04	0	0	5,185
<i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) Rauschert	0	0	2,4±0,52	16,239 ^{***}
COMPOSITAE				
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	5,3±0,99 ^a	6,9±2,32 ^a	0,28±0,28 ^b	16,752 ^{***}
<i>Filago vulgaris</i> Lam.	0	0	0,15±0,15	0,649 ¹
<i>Picnomon acarna</i> (L.) Cass.	0,35±0,12 ^b	0,52±0,36 ^b	2,0±0,36 ^a	14,039 ^{***}
<i>Senecio vulgaris</i> L.	0,14±0,08	0	0	8,069 [*]
<i>Sonchus oleraceus</i> L.	0,05±0,05	0	0	2,500
CRUCIFERAE				
<i>Alyssum minutum</i> DC.	0,14±0,07	0,41±0,33	1,23±0,7	1,123 ¹
<i>Biscutella auriculata</i> L.	0	0	0,89±0,45	5,956
<i>Camelina microcarpa</i> Andr. ex DC.	0 ^b	0 ^b	1,29±0,48 ^a	13,880 ^{**}
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik.	0,08±0,06	0	0,03±0,03	2,630
<i>Conryngia orientalis</i> (L.) Dumort.	0	0	0,18±0,11	4,304
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	0,23±0,18 ^b	0,18±0,12 ^b	6,8±1,98 ^a	16,099 ^{***}
<i>Diplotaxis eruroides</i> (L.) DC.	0,31±0,31	0	0	2,500
<i>Malcomia africana</i> (L.) R. Br. in W.T. Aiton	0	0	0,09±0,09	0,649 ¹
<i>Neslia paniculata</i> (L.) Desv.	0 ^b	0 ^b	4,1±1,28 ^a	18,771 ^{***}
<i>Sisymbrium orientale</i> L.	1,49±1,16 ^a	0 ^b	0,06±0,06 ^b	11,026 ^{**}
CHENOPODIACEAE				
<i>Chenopodium album</i> L. var <i>album</i>	0	0	0,05±0,05	0,649 ¹

*p-valor< 0,05, **p-valor<0,01, ***p-valor<0,001

¹F-valor.

Tabla 2 (continuación). Contribución específica por contacto (CSC, %) de los pastos de 2 cultivos de almendros: A (años 2004 y 2005) y B (2006).

FUMARIACEAE				
<i>Fumaria pugsleyana</i> (Maire ex Pugsley) Lidén	0 ^b	0 ^b	4,4±1,09 ^a	21,488 ^{***}
<i>Hypocoum imberbe</i> Sm. in Sibth. & Sm	1,16±0,65 ^{ab}	0,25±0,16 ^c	5,1±1,53 ^a	9,409 ^{1**}
GERANIACEAE				
<i>Erodium ciconium</i> (L.) L'Hér.	0,07±0,04	0,09±0,09	0	4,908
LABIATAE				
<i>Lamium amplexicaule</i> L.	0	0	0,36±0,22 ^a	16,917 ^{***}
LEGUMINOSAE				
<i>Astragalus echinatus</i> Murray	0,1±0,07	0	0	5,385
<i>Medicago lupulina</i> L.	0,05±0,05	0	0	2,500
<i>Medicago minima</i> (L.) L.	4,25±0,7 ^a	0 ^b	0 ^b	26,024 ^{***}
<i>Medicago rigidula</i> (L.) All.	0,3±0,15 ^a	0 ^b	0 ^b	11,167 ^{**}
<i>Medicago truncatula</i> Gaertn.	1,01±0,46 ^a	0 ^b	0 ^b	18,067 ^{***}
<i>Melilotus sulcatus</i> Desf.	0	0	0,03±0,03	0,568 ¹
<i>Trigonella monspeliaca</i> L.	0,07±0,04 ^a	0 ^b	0 ^b	8,069 [*]
<i>Trigonella polyceratia</i> L.	7,6±2,26 ^a	0 ^b	0,13±0,11 ^b	22,261 ^{***}
<i>Vicia monantha</i> Retz.	0	0	0,11±0,08	2,765
<i>Vicia peregrina</i> L.	0 ^b	0,05±0,05 ^b	7,6±1,03 ^a	25,527 ^{***}
PAPAVERACEAE				
<i>Papaver hybrida</i> L.	0,05±0,03	0	0,7±0,4	3,441
<i>Papaver rhoeas</i> L.	0,58±0,26 ^b	0,07±0,07 ^b	10±2,39 ^a	21,854 ^{***}
<i>Roemeria hybrida</i> (L.) DC.	0 ^b	0 ^b	5,7±1,05 ^a	24,404 ^{***}

*p-valor < 0,05, **p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001
¹F-valor.

Tabla 2 (continuación). Contribución específica por contacto (CSC, %) de los pastos de 2 cultivos de almendros: A (años 2004 y 2005) y B (2006).

POACEAE				
<i>Aegilops geniculata</i> Roth.	0,26±0,22	1,57±0,91	0	5,507
<i>Avena sativa</i> L.	0,74±0,33	0,57±0,57	0,65±0,36	0,032 ¹
<i>Bromus diandrus</i> Roth.	0,54±0,24	7,3±4,8	0,52±0,25	3,333
<i>Bromus madritensis</i> L.	1,09±0,3	5,3±1,73	3,0±1,25	2,320 ¹
<i>Bromus tectorum</i> L.	7,5±1,61 ^b	22±5,9 ^a	0,62±0,48 ^c	19,760 ^{***}
<i>Desmazeria rigida</i> (L.) Tutin	0,76±0,48	0,14±0,14	0	7,661 [*]
<i>Hordeum murinum</i> L.	15±3,9 ^b	42,05±7,3 ^a	0,37±0,34 ^c	22,172 ^{***}
<i>Hordeum vulgare</i> L.	1,14±0,37 ^a	0,09±0,09 ^b	0 ^c	22,559
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	49±2,68	9,9±1,6	15,7±3,51	16,995 ^{***}
<i>Micropyrum tenellum</i> (L.) Link	0 ^b	0,77±0,34 ^a	0 ^b	11,167 ^{**}
<i>Poa annua</i> L.	0,18±0,13	0,16±0,16	0	4,908
<i>Poa bulbosa</i> L.	0,1±0,1	0	0	2,500
POLYGONACEAE				
<i>Polygonum aviculare</i> L.	0 ^b	0 ^b	1,4±0,57 ^a	21,488 ^{***}
RANUNCULACEAE				
<i>Adonis annua</i> L.	0	0	0,05±0,04	2,765
RESEDACEAE				
<i>Reseda phyteuma</i> L.	0	0,88±0,88	0	2,500
RUBIACEAE				
<i>Gallium aparine</i> L.	0 ^b	0 ^b	7,37±1,34 ^a	24,404 ^{***}
SCROPHULARIACEAE				
<i>Linaria hirta</i> (Loefl. ex L.) Moench	0	0	0,05±0,05	0,568 ¹
<i>Veronica hederifolia</i> L.	0,03±0,03 ^b	0 ^b	13±4,1 ^a	23,527 ^{***}
UMBELLIFERAE				
<i>Caucalis platycarpos</i> L.	0 ^b	0 ^b	2,9±0,83 ^a	21,488 ^{***}
<i>Scandix pecten-veneris</i> L.	0	0	0,1±0,1	0,568 ¹

*p-valor < 0,05, **p-valor < 0,01, ***p-valor < 0,001

¹F-valor.

Según el índice de Jaccard, la composición específica mostró mayores diferencias cuando se compararon los tratamientos: A (2004 o 2005) respecto a B (2006), que cuando se compararon los dos años de un mismo tratamiento (2004 respecto a 2005) (Figura 3).

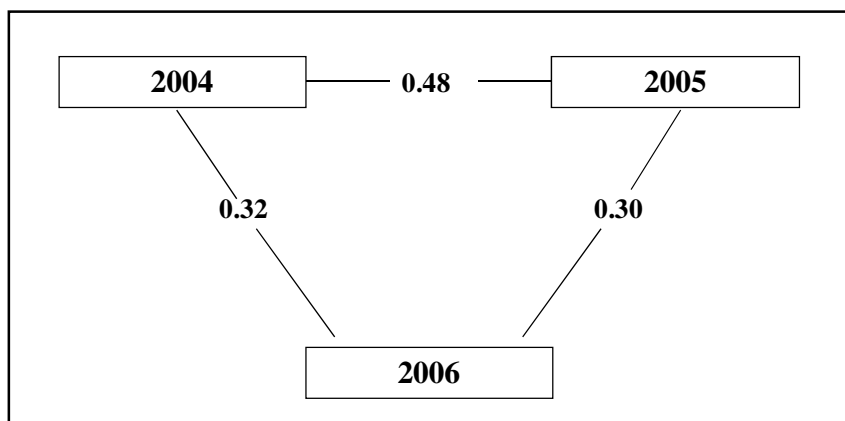


Figura 3. Valores del índice de similaridad de Jaccard de los pastos de dos cultivos de almendros: A (años 2004 y 2005) y B (año 2006).

4. DISCUSIÓN

Debido a la heterogeneidad de las parcelas, no se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos y años. Sin embargo, producción de biomasa siguió un patrón acorde con la pluviometría registrada en cada año, siendo 2004 (578 mm de lluvia) el más productivo y 2005 (219 mm) el menos productivo y 2006 (504 mm) el que obtuvo producciones intermedias. La producción parece estar determinada en mayor medida por las lluvias que por el tipo de manejo del suelo, como muestran las diferencias entre los distintos años estudiados para un mismo tratamiento (tratamiento A).

Las diferencias en la composición florística entre los distintos tratamientos y años se deben tanto al manejo del suelo como a las precipitaciones registradas para cada año. Los pastos con mayor riqueza específica fueron los de 2004 y 2006, mientras que los menos ricos fueron los de 2005. Algunos autores (Figuroa y Davy, 1991; Espigares y Peco, 1995) comprobaron que la sequía primaveral, como la sufrida en 2005, afecta de manera considerable a la riqueza de especies, provocando la desaparición de algunas de ellas. Por otro lado, el manejo del suelo también afectó a la composición florística, lo que queda reflejado en los mayores valores de los índices de Shannon y Jaccard para el tratamiento B, así como, su mayor riqueza de familias. De hecho, el grado de alteración del suelo y el tiempo transcurrido desde el último laboreo son factores que afectan

notablemente a la composición y diversidad de los pastos (Peco, 1989), entre otros motivos, por el efecto que tiene el laboreo (aireación del suelo, cambios en el potencial hídrico del suelo) en la emergencia de las plántulas.

El estudio del porcentaje de familias calculado a partir de la contribución específica por contactos es un buen indicador de la contribución en biomasa de cada una de las familias que componen en los pastos (Robles, 1990). La mayor riqueza y la contribución uniforme de las familias en el tratamiento B contribuyen a la diversificación de la alimentación del ganado, gracias a las diferencias en la composición química de las distintas familias (Talamucci y Pardini, 1999; Provenza *et al.*, 2003).

En el tratamiento B (año 2006) se observó una elevada presencia de especies arvenses asociadas al cultivo de cereal tales como *V. hederifolia*, *P. rhoeas*, *R. hybrida*, *G. aparine*, *D. sophia*. y *C. platycarpus*. No obstante, también se encontraron especies con grandes aptitudes forrajeras como *L. rigidum* (15%) o *V. peregrina* (7%) que en determinadas zonas son consideradas “malas hierbas”. *L. rigidum* es una gramínea característica de los pastos terofíticos subnitrófilos (San Miguel, 2001) y cuyo interés pastoral es ampliamente reconocido (Gramshaw y Stern, 1971; Molle *et al.*, 2003). *V. peregrina* es una leguminosa con un alto valor nutritivo y un contenido en proteína incluso mayor que *V. sativa* (Badrzadeh *et al.*, 2008). Las papaveráceas, como *P. rhoeas*, *R. hybrida*, y la fumariácea, *Hypecoum imberbe* Sm. in Sibth. & Sm, se desarrollan fácilmente en los suelos labrados y se ha visto que su presencia disminuye cuando se deja de labrar (McNaughton y Harper, 1964; Dorado *et al.*, 1999; Torra y Recasens, 2008). Muchas especies de esta familia contienen alcaloides, morfina y roedina (McNaughton y Harper, 1964), que pueden llegar tóxicos para los animales. Sin embargo, en la zona son altamente apetecibles por el ganado ovino, especialmente, *P. rhoeas*, que en primavera contiene elevadas concentraciones de proteína (198 g PB kg⁻¹ MS, Robles, 1990). *V. hederifolia*, *D. sophia*, y *C. platycarpus* son especies con escasas cualidades pascícolas. Las dos últimas sólo son consumidas por las ovejas cuando están en flor, ejerciendo un importante papel en el control de estas arvenses que pueden ser altamente invasoras (observación personal).

En el tratamiento A (años 2004 y 2005) la composición florística estaba dominada por gramíneas (*L. rigidum*, *H. murinum* y *B. tectorum*), leguminosas (*T. polyceratia*, *M. minima*; en 2004) y compuestas (*A. clavatus*) que son características de los pastos terofíticos nitrófilos y subnitrófilos (San Miguel, 2001). La gran mayoría de ellas son

especies propias de suelos poco alterados (Dorado et al., 1999; Rebollo et al., 2003) y son muy apetecidas por el ganado. Este hecho ha sido denominado “paradoja pastoral” (San Miguel, 2001): bajo un pastoreo no muy intenso, las especies más apetecidas tienden a aumentar de abundancia, mejorando, por tanto, la calidad del pasto. Un buen ejemplo de ello son las especies *L. rigidum*, *H. murinum*, *T. polyceratia* y *M. minima*, todas ellas bien representadas en el tratamiento A.

La ausencia de algunas especies o la diferencia de contribución específica por contactos en el año 2005 respecto a 2004 se deben, probablemente, a las bajas precipitaciones registradas en el primero. La especie más abundante en 2004 fue *L. rigidum* (49%) y, además, fue significativamente mayor en este año que en 2005 debido a la mayor pluviometría de este año (Robledo et al., 1991). Sin embargo, en 2005 *H. murinum* fue la especie dominante con más de un 40% de contribución específica por contactos. Ésta es una especie ruderal frecuente en lugares de paso de ganado y sensible a la competencia con otras especies (Davison, 1977). *H. murinum* es muy consumida por el ganado en estado vegetativo, aunque una vez que forma la espiga es poco pastoreada. *B. tectorum* puede constituir un buen pasto si es pastoreado en el período vegetativo ya que el contenido en nutrientes y la digestibilidad disminuye enormemente con la madurez (Cook y Harris, 1952). La mayor presencia de esta especie en el año 2005 puede deberse a su alta eficiencia de utilización de agua (Hull, 1963) y a que es capaz de germinar en distintas tandas entre otoño y primavera, con independencia de la pluviometría registrada (Peco et al. 1998). La presencia de leguminosas fue prácticamente nula en el año 2005 debido a las mayores exigencias de humedad, para la germinación y desarrollo, de éstas respecto a muchas gramíneas (Fairbourn, 1982). No obstante, las especies más abundantes en 2004, *T. polyceratia* y *M. minima*, están muy adaptadas a las condiciones xéricas de la zona de estudio. *T. polyceratia* es una especie frecuente en los barbechos y pastizales del sudeste ibérico (Robledo, 1991) y presenta una alta calidad nutritiva para el ganado (Robles et al., 2009). Asimismo, *M. minima* es una planta rica en proteína, muy adaptado al pastoreo y que debido a su crecimiento rastrero y tapizante protege al suelo de la erosión.

En el año 2005 el valor pascícola fue notablemente menor que en 2004, debido a la menor proporción de especies de alta calidad nutritiva como las leguminosas y la gramínea *L. rigidum*. Aunque, probablemente, dichas especies reaparecerán en años más favorables gracias a que permanecen en el banco de semillas (Figuerola y Davy, 1991).

5. CONCLUSIONES

Nuestros resultados ponen de manifiesto que las precipitaciones y el tipo de manejo del suelo determinan las características de los pastos que se desarrollan bajo los cultivos de almendros. Principalmente, las precipitaciones parecen afectar a la producción y a la riqueza florística mientras que el tipo de manejo influye en mayor medida en la composición florística, en la contribución de las familias y en la diversidad. El cultivo labrado recientemente y no pastoreado, compuesto por especies arvenses, mostró una mayor riqueza de familias y diversidad específica. Sin embargo, el cultivo que había estado, al menos, 2 años sin labrar y pastoreado, presentó menor diversidad y estuvo dominado por especies características de pastos terofíticos nitrófilos y subnitrófilos, principalmente, gramíneas. Por otra parte, cuando las precipitaciones son bajas se reducen el desarrollo de especies de mayor valor pascícola, como son las leguminosas y la gramínea, *L. rigidum*. Esto indica que en años secos no sólo disminuye la cantidad sino también la calidad de los pastos

6. BIBLIOGRAFÍA.

- Badrzadeh M., Zaragarzadeh F. y Esmailpour B. 2008. Chemical composition of some forage *Vicia* spp. in Iran. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6, 178-180
- Cook C.W. y Harris L.E. 1952. Nutritive value of cheatgrass and crested wheatgrass on spring ranges of Utah. *Journal of Range Management* 5, 331-337.
- Daget P. y Poissonet J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Annales Agronomiques* 22, 5-41.
- Davison A.W. 1977. The ecology of *Hordeum murinum* L.: III. Some effects of adverse climate. *Journal of Ecology* 65, 523-530.
- Dorado J., Del Monte J.P. y López-Fando C. 1999. Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystems. *Weed Science* 47, 67-73.
- Espigares T. y Peco B. 1995. Mediterranean annual pasture dynamics: impact of autumn drought. *Journal of Ecology* 83, 135-142.
- Fairbourne M.L. 1982. Water use by forage species. *Agronomy Journal* 74, 62-66.
- Figuerola M.E. y Davy A.J. 1991. Response of Mediterranean grassland species to changing rainfall. *Journal of Ecology* 79, 925-941.
- García-Trujillo R. 2001a. Producción ecológica de almendro en Chirivel: Almería. En: Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, ed. *La práctica de la agricultura y ganadería ecológicas*. Sevilla: CAAE, pp. 281-284.
- García-Trujillo R. 2001b. Integración entre olivar y ganadería: la finca ecológica Santa Casilda en Los Pedroches. En: Comité Andaluz de Agricultura Ecológica, ed. *La práctica de la agricultura y ganadería ecológicas*. Sevilla: CAAE, pp. 281-284.
- González-Rebollar J.L., Robles A.B. y Boza J. 1998. Sistemas pastorales. En: Jiménez Díaz R.M. y Lamo de Espinosa J., eds. *Agricultura Sostenible*. Madrid: Agrofuturo, LIFE y Mundiprensa, pp.555-574.

- Gramshaw D. y Stern W.R. 1971. Survival of annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaud.) in a Mediterranean type environment. Australian Journal of Agricultural Research 28, 81-91.
- Hull A.C. 1963. Competition and water requirements of cheatgrass and wheatgrasses in the greenhouse. Journal of Range Management 16, 199-203.
- Legendre P y Legendre L. 1998. Numerical ecology. Amsterdam: Elsevier.
- Magurran A.E. 2004. Measuring biological diversity. Oxford: Blackwell Science.
- MAPA, 2006. Anuario de estadística. Acceso web http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/Anu_06/indice.asp
- McNaughton I.H. y Harper J.L. 1964. *Papaver* L. Journal of Ecology 52, 767-793
- Metzidakis I., Martinez-Vilela A., Castro Nieto G. y Basso B. 2008. Intensive olive orchards on sloping land: Good water and pest management are essential Journal of Environmental Management 89, 120-128.
- Milgroom J., Gómez J.A., Soriano M.A. y Fereres, E. 2007. From experimental research to an on-farm tool for participatory monitoring and evaluation: an assessment of soil erosion risk in organic. Land Degradation and. Development 18, 397-411.
- Molle G., Decandia M., Fois N., Ligios S., Cabbidu A. y Sitzia M. 2003. The performance of Mediterranean dairy sheep given access to sulla (*Hedysarum coronarium* L.) and annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaudin) pastures in different time proportions. Small Ruminant Research 49, 319-328.
- Parra C. y Calatrava J. 2002. Estudio comparativo de las prácticas agronómicas utilizadas en la olivicultura ecológica y convencional del Sur de España. Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (Tomo I), pp. 589-598.
- Peco B. 1989. Modelling Mediterranean pasture dynamics. Vegetatio 83, 269-276.
- Peco B., Espigares T. y Levassor C. 1998. Trends and fluctuations in species abundance and richness in Mediterranean annual pastures. Applied vegetation science 1, 21-28.

- Provenza F.D., Pfister J.A., Cheney C.D. 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *Journal of Range Management* 45, 36-45.
- Robledo A. 1991. Las explotaciones de cereal-ovino en el N. O. de Murcia: balance de recursos forrajeros y perspectivas de futuro. *Actas de la XXXI Reunión Científica de la SEEP*, pp. 139-159.
- Robledo A., Ríos S. y Correal E. 1991. Las malas hierbas en los barbechos cerealistas del N.O. de Murcia: su importancia como recurso alimenticio para la ganadería ovina. I: Composición botánica. *Actas de la Reunión 1991 de la Sociedad Española de Malherbología*, pp. 70-73.
- Robles A.B. 1990. Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido del sureste ibérico. Tesis Doctoral. Granada: Universidad de Granada.
- Robles A.B., Ruiz-Mirazo J., Ramos M.E. y González-Rebollar J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J. y Mosquera-Losada M.R., eds. *Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects*. Holanda: Springer, pp. 211-231.
- Rebollo S., Pérez-Camacho L., Valencia J. y Gómez-Sal A. 2003. Vole mound effects and disturbance rate in a Mediterranean plant community under different grazing and irrigation regimes. *Plant Ecology* 169, 227-243.
- San Miguel A. 2001. Pastos naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundiprensa.
- Talamucci, P., Pardini, A., 1999. Pastoral systems dominated by fodder crops harvesting and grazing. *Options Mediterraneennes* 39, 29-44.
- Torra J. y Recasens J. 2008. Demography of corn poppy (*Papaver rhoeas* L.) in relation to emergence time and crop competition. *Weed Science* 56, 826-833.

Winworth R.E., Perry R.A. y Rossetti C.O. 1962. A comparison of methods of estimating plant cover in an arid grassland community. *Journal of Range Management* 15, 194-196.

CAPÍTULO 2: LEY-FARMING AND SEED DISPERSAL BY SHEEP: TWO METHODS FOR IMPROVING FALLOW PASTURES IN SEMIARID MEDITERRANEAN ENVIRONMENTS?

Autores: Ramos M.E.^{a*}, Robles A.B.^a and González-Rebollar J.L.^a

Estación Experimental del Zaidín (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

C/ Profesor Albareda, 1 E-18008 Granada, Spain.

Phone number: +34658487888

* eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: en revision

Revista: Agriculture, Ecosystems & Environments.

ABSTRACT

Fallows constitute an important grazing source for livestock in semiarid environments. This work proposes two methods to improve fallow pastures in SE Spain consisting of i) seeding a ley-fallow (LF) with a mixture of fodder species (*Moricandia arvensis* (L.) DC, *Vicia ervilia* L. Willd., *Medicago sativa* L. cv. Aragón, and *Paspalum notatum* Flüggé), and ii) using sheep for introducing these fodder species in a fallow while manuring (seed-manured fallow, SMF), this consisting of fencing sheep for 5 days, after seed ingestion, in a fallow plot. To evaluate the performance of these methods, we compared the yield, fodder quality, and botanical composition of the LF and SMF, with and without grazing, for two growing seasons (2006 and 2007). To quantify dispersal by sheep of the fodder seed species, seed recovery after gut passage and potential seedling establishment were also examined. Biomass yield in 2006 was greater in the SMF than in the LF, but similar in 2007. Moderate grazing in 2006 did not affect yield in 2007. Crude protein content and *in vitro* organic-matter digestibility was greater in LF whereas SMF had a higher lignin content. The botanical composition in LF was more than 50% of weeds in 2006, and around 25% in 2007. The most abundant species was *V. ervilia*, while *P. notatum* was not established at all due to the cold temperatures. In SMF, weeds constituted from 94 (2007) to 99% (2006), indicating low establishment success of the prescribed species from sheep dung, due to the low seed recovery, but also to low seedling germination. *P. notatum* and *M. arvensis* registered the highest values of seed recovery (9.3 and 2.7%, respectively), while *P. notatum* and *M. sativa* had the highest seedling-establishment percentages under greenhouse conditions (0.62 and 0.49%, respectively). In 2006, the floristic scope in the SMF plots was dominated by Papaveraceae, Cruciferae, and Graminae. However, in 2007, the predominant family was Graminae, followed by Cruciferae and Compositae. The Jaccard similarity index revealed pronounced differences in the specific composition between years, but not between grazing treatments.

This study suggests that LF and SMF may constitute high-quality pastures in semiarid environments. The nutritive value of LF proved richer in protein, while SMF had a diverse composition, and therefore adequate grazing rotation on both pastures may constitute a balanced diet for animals. Nevertheless, hardseeded species should be used when introducing new high fodder quality species into pastures by means of livestock dejections.

Key-words: botanical composition; endozoochorous seed dispersal; fodder quality; grass-legume-crucifer mixture; ley-fallow; “seed-manured” fallow.

1. INTRODUCTION

Small ruminant farming represents one of the most widespread agricultural activities in Mediterranean areas, such systems being traditionally characterized by the use of marginal lands, prevalence of pastoral systems, and low levels of mechanization (Ronchi and Nardone, 2003). Extensive livestock rearing is one of the best farming options in semiarid environments, especially when the orography, altitude and/or climate do not favour intensive agriculture. Additionally, there is an increasing demand for a new model of livestock production within the context of satisfying multiple objectives, such as production efficiency, animal welfare, and nutrient recycling (Ronchi and Nardone, 2003).

Feed availability is a major constraint for small ruminant systems in Mediterranean semiarid environments, due mainly to the low and irregular rainfalls, which result in unstable and low productivity on pastures (Francia *et al.*, 2006). Besides the climatic factors, the increasing use of marginal lands for crop production aggravates the feeding problems for extensive livestock by reducing the availability of grazing pastures (Ronchi and Nardone, 2003). The improvement of extensive grazing systems in Mediterranean areas should be based on the improvement of the botanical composition, adequate grazing management (optimal stocking rate, good ratio between grazing pressure and ungrazed period) and integration with agricultural resources (Talamucci and Pardini, 1999; Ronchi and Nardone, 2003). One of the most common practices of integration of livestock and agriculture in the Mediterranean basin is stubble and fallow grazing after cereal harvests. Fallows constitute a great part of the annual pastures in SE Spain (Correal *et al.*, 2006; Robledo *et al.*, 2007a) and have been demonstrated to provide high-quality feedstuff for small ruminants in that region (Robledo, 1991; Robledo *et al.*, 2007b). However, the replacement of this traditional practice by ley-farming systems has been proposed as a suitable alternative (Correal, 1983; Bosma *et al.*, 1999; Whitbread *et al.*, 2000) that may increase the fallow benefits for soil, i.e. soil resting, but also for livestock feeding (Howieson *et al.*, 2000).

In recent years, when making decisions on methods for improving pastures in these marginal lands, great emphasis has been put on the use of autochthonous species (Le Houerou, 2001; Porqueddu, 2001). Species selection to ensure successful establishment and minimize maintenance costs (Robledo, 1991), should follow three basic criteria: high feeding value, adaptation to pedoclimatic conditions, and self-reseeding

ability (Talamucci and Pardini, 1999). A varied pasture composition, including different families of species, has proved to fulfil the nutritional requirements of small ruminants (Talamucci and Pardini, 1999; Provenza *et al.*, 2003). Legume species are of great interest in Mediterranean semiarid environments for their high nutritive value, i.e. high protein content and high digestibility (Robles *et al.*, 2002), self-reseeding ability (Talamucci and Pardini, 1999), and nitrogenous improvement of soil fertility. Moreover, legumes are generally richer in macro-elements and several trace elements (Fe, Cu, Zn, Co, Ni) than are grasses (Tripathi and Karim, 2008). Cruciferae includes many species with high palatability (Avondo and Lutri, 2005), high nutrient concentrations, low fibre content (Belesky *et al.*, 2007) and high protein levels, similar to some legumes, although they are less digestible (Alibes and Tisserand, 1990; McInnis *et al.*, 1993; Avondo and Lutri, 2005). Nevertheless, glucosinolates and sulphur-containing amino acids in these plants may cause signs of poisoning when large quantities are fed (VanEtten and Tookey, 1978), but, these compounds and their metabolic products have also proven chemoprotective against chemical carcinogens (Das *et al.*, 2000). As with legumes, crucifer grazing must be handled with care, as they produce bloat (Mendel and Boda, 1961). Grasses (Poaceae) constitute the greatest part of small-ruminant diets. They are the main source of gross energy and also provide high quantities of fibre, which is necessary to stimulate rumination and salivation processes (Van Soest *et al.*, 1991).

Livestock management is of crucial importance to maintain and/or improve grassland pastures. Sheep faeces can provide nutrient enrichment of the underlying soil and enhanced phytomass production (Eichberg *et al.*, 2007), while also improving the seed bank with palatable species (Janzen, 1984; Russi *et al.*, 1992; Gardener *et al.*, 1993). In fact, livestock are key elements for seed dispersal and recruitment of new populations for many pasture species (Peinetti *et al.*, 1993, Malo and Suárez, 1995, Milton and Dean, 2001). Animals may scatter seeds after seed ingestion, but dispersal efficiency depends on other processes affecting the fate of seeds (e.g. establishment from dung). Germination may be enhanced by the softening of the seed coats during the digestive process (van der Pijl, 1982; Russi *et al.*, 1992; Baskin and Baskin, 1998; Traveset and Verdú, 2002; Robles *et al.*, 2002, 2005), but destruction and germination inhibition also occur (Traveset, 1998). Nevertheless, seeds surviving gut passage may be spread over a large area depending on livestock management, as seeds can be released over 5 days or more after ingestion (Russi

et al., 1992). Moreover, the scattered deposition of faeces diminishes the risk of seed-clumping and thus of seedling competition (Ramos *et al.*, 2006a).

This work proposes two methods for improving pastures: i) seeding a ley-fallow with mixture of fodder species (legumes, crucifers, and grasses), and ii) taking advantage of the endozoochorous seed-dispersal ability of sheep, by introducing these fodder species in a fallow while manuring (“seed-manured” fallow). To evaluate the performance of these methods, we compared the botanical composition, yield, and fodder quality of a ley-fallow (sod with a grass-legume-crucifer mixture) and of a “seed-manured” fallow, with and without grazing, for two growing seasons. Additionally, to assess accurately the ability of sheep to disperse the prescribed species, we analysed the percentage of seed recovery in dung and the potential seedling establishment from dung.

2. METHODS

2.1. STUDY AREA

The study was conducted in Huéscar, north of Granada Province, SE Spain (UTM-coordinates: 30S 535800 4192400 (ED1950), and 990 m a.s.l.). The soil at the experimental site was a hypercalcic Calcisol with a slope of 2% (FAO, 2006).

The climate in this area is a semiarid continental Mediterranean, with mean temperature of 13°C and rainfall of 481 mm. Figure 1 includes a monthly mean temperature and rainfall during the experiment and 30-year mean values.

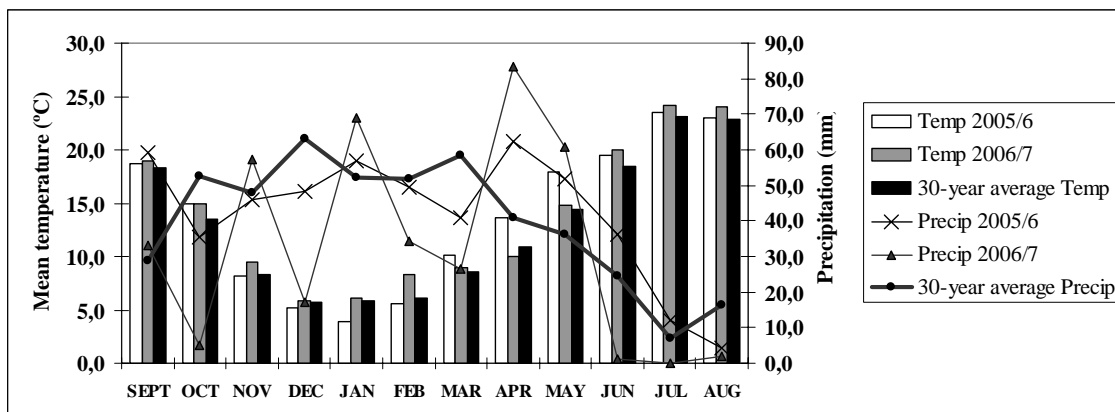


Figure 1. Mean temperatures and precipitation during the two years of the experiment, and a 30 year-average.

2.2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experiment was conducted during two growing seasons, 2005/06 and 2006/07, in a 30 year-old almond orchard (*Prunus dulcis* Miller cv Verdiere) where tree spacing was 10 x 14 m, and cereal is grown in alleys between the trees in a cereal-fallow rotation. The whole experimental site was ripped and chisel ploughed in October 2005.

The experimental design was a split-plot, in which the main plot (1.3 ha) was the kind of fallow while the subplot (0.21 ha) was the grazing regime (“grazing” or “no grazing”). The main plot treatments were: ley-fallow (LF) and “seed-manured” fallow (SMF). In March 2006, LF was sown by hand with a grass-legume-crucifer mixture composed by 18 kg ha⁻¹ (10.3·10⁶seeds) of Bahia grass (*Paspalum notatum* Flüggé), 24 kg ha⁻¹(12·10⁶ seeds) of alfalfa (*Medicago sativa* L. cv Aragón), 57 kg ha⁻¹ (1.14·10⁶ seeds) of bitter vetch (*Vicia ervilia* (L.) Willd.) and 0.7 kg ha⁻¹ (1.4·10⁶) seeds of moricandia (*Moricandia arvensis* (L.) DC). The SMF treatment began at the end of October 2005, when 400 sheep were fenced in a 1.3 ha plot and fed only once with 27 kg (15.4·10⁶) of Bahia grass, 40 kg (18·10⁶) of alfalfa, 100 kg (2.6·10⁶) of bitter vetch and 1.5 kg (4.8·10⁶) of moricandia. Seed quantities were according to the expected seed recovery percentage based on previous studies (Ramos and Robles, 2007). Additionally, each sheep was fed 500 g day⁻¹ of oats and barley, during the experimental period. Sheep remained fenced for 120 h after seed consumption and provided free access to water and straw. The amount of faeces released by the sheep during and after the fencing period has been estimated in 630 kg (air-dried faeces). Within each main plot, 6 subplots were established. Three of them were randomly assigned to be grazed during the first half of May 2006, while the others were not grazed. The grazing treatment consisted of a 3-h grazing period by a flock of 382 Segureña sheep. There was no grazing or seeding in 2006/07.

This study was divided into two experiments: 1) Study of the yield, nutritive value (chemical composition), and botanical composition of the pastures of the LF and the SMF; 2) Study of the ability of seed dispersal by sheep of the species compounding the grass-legume-crucifer mixture.

2.3. EXPERIMENT 1

Samplings were performed in mid-May for both years, being immediately after the grazing treatment in 2006. The following variables were determined:

2.3.1. Biomass yield

Pasture yield was estimated by hand-clipping plant forage biomass within 6 randomly assigned 0.25 m² quadrats in each subplot. Three homogenised sub-samples of forage from each plot were oven dried at 60°C to constant weight to determine dry weight. Averaged data were extrapolated to one hectare. These dry samples were used to determine the chemical composition and *in vitro* digestibility of the forage.

2.3.2. Chemical composition

Chemical composition was determined only for samples from the first year of the experiment, as samples from the second year were accidentally destroyed, and therefore, no analysis could be made.

Dry oven samples (one pooled sample per sub-subplot) were used to determine the chemical composition. The samples were ground with a Wiley mill to pass a 1-mm screen and analysed for quality components. The dry-matter (DM) content of the forage was determined by drying to a constant weight in a forced-air oven at 103 ±1°C, prior to milling. Organic matter (OM) was calculated from the ash content, determined by ashing in a muffle furnace for 3 h at 550°C. Total N was determined using the Kjeldahl method and crude protein (CP) was calculated by multiplying the N content by 6.25 (AOAC, 1995). Neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL) analyses were performed as ash-free fractions by the sequential procedure of van Soest *et al.* (1991) using the ANKOM200/220 fibre analyser (ANKOM corporation® Technology Fairport, NY).

2.3.3. In vitro digestibility

In vitro digestibility was determined only for samples from the first year of the experiment. As mentioned above, samples from the second year were destroyed.

A composite sample for each fallow treatment (3 subplot samples pooled) was used to determine the *in vitro* digestibility. The *in vitro* DM and OM digestibility (IVDMD and IVOMD, respectively) of the samples was determined according to the procedure described by Tilley and Terry (1963) using the Ankom (1998) technology (only data from IVOMD are shown). Rumen inoculum was drawn from goats ("Granadina breed") 2 h after feeding and strained through two layers of cheesecloth under anaerobic conditions. The animals were fed alfalfa hay at a maintenance energy level (Prieto *et al.*, 1990). Goats and

sheep show equal capacities of digestion of medium- to good-quality diets and therefore extrapolations of feed evaluations from goat to sheep are valid (Molina *et al.*, 2000).

The samples were ground to pass a 1mm screen. Approximately 0.5 g (± 0.05 g) were weighed in filter bags (Ankom® Corp. # F57), and sealed with a heat sealer. The bags were incubated in the bottles of a Daisy® digester with a buffer solution (McDougall, 1948) and inoculum filtered (4:1 (v/v)) for 48 h at $39 \pm 1^\circ\text{C}$ with stirring. The microbial activity was stopped after 48 h by the addition of 50 ml of a 5% HgCl₂ solution, and the bags were incubated again in a pepsin-HCl solution for 48 h at $39 \pm 1^\circ\text{C}$ with agitation (Martín *et al.*, 2003).

2.3.4. Carrying capacity

Carrying capacity was determined only for the first year of the experiment following the methodology proposed by Robles (1990) and Robles *et al.* (2009).

Metabolizable energy (ME) of fodder was estimated for each treatment combination by using the digestible organic matter (DOM) content and *in vitro* digestibility of the organic matter (IVOMD), as proposed by ARC (1980):

$$\text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} = \text{DOM (g kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{IVOMD (\%)} \cdot 19 \text{ (kJg}^{-1}\text{)} \cdot 0.82 \cdot 10^{-5}$$

Available metabolizable energy (AME) of each forage was calculated by multiplying ME by forage yield (FY):

$$\text{AME (MJ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)} = \text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{FY (kg DM ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)}$$

Average daily energy requirements (ADER) of sheep were 13.26 MJ AU⁻¹day⁻¹ (Robles *et al.*, 2009). Year carrying capacity (YCC) was estimated by dividing AME by ADER, and by 365,

$$\text{YCC (AU ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)} = \text{AME (MJ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)} \cdot \text{ADER}^{-1} \text{ (MJ AU}^{-1}\text{day}^{-1}\text{)} \cdot 365^{-1} \text{ (days year}^{-1}\text{)}.$$

2.3.5. Floristic composition

To determine the proportion of moricandia, bitter vetch, alfalfa and Bahia grass, three of the clipped forage samples from each subplot were examined by hand separation. Dry weight was determined for each species and for weeds.

The “Point Quadrat” method (Daget and Poissonet, 1971) was used to determine the floristic composition for the SMF plots. Four 5-m transects were laid out parallel within each subplot. The species and number of contacts with a 2- mm diameter needle were annotated every 5 cm, for each transect. The specific contribution of contact was calculated by the following formulae:

$$SCC_i = \frac{SFC_i}{\sum_{i=1}^n SFC_i} \cdot 100$$

Where SCC_i is the specific contribution of contact, and SFC_i , is the specific frequency of contact for the species i .

For the SMF plots, we also estimated similarity in species composition among years using the Jaccard similarity index (Legendre and Legendre, 1998; Magurran, 2004). This index uses species presence–absence information for two communities in order to measure the proportion of species present in both communities based on the total number of species present in at least one of the two assemblages. The index is defined as:

$$J = \frac{a}{a + b + c}$$

Where J is the Jaccard index, a is the number species shared by the two communities, b the number unique to the first community, and c the number unique to the second community. The values range from 0 (the composition is completely dissimilar) to 1 (the composition is identical).

2.3.6. Statistical analysis

For the biomass, the differences among each combination of treatments (kind of fallow by grazing treatment, and by year) were determined by Kruskal-Wallis test as the assumptions of homoscedasticity and normality of the ANOVA were not accomplished (Levene and Kolmogorov-Smirnov tests). Differences among treatments were detected by the Nemenyi test at a significance level of 0.05 (Zar, 2006). For the chemical composition, a Student’s T test was performed for each variable, after checking homoscedasticity and normality (Levene and Kolmogorov-Smirnov tests). For the botanical composition, a three-way ANOVA was performed for moricandia, bitter vetch, Bahia grass, and alfalfa, with factors being “fallow treatment”, “grazing treatment” and “year”. Differences among

treatments were discriminated by a Tukey-HSD test. For the species in the SMF treatment, a two way ANOVA and a Tukey-HSD test were performed to compare between years and grazing treatments. When the assumptions were not fulfilled, a Kruskal-Wallis test was applied instead with the *post hoc* Nemenyi test.

2.4. EXPERIMENT 2

This experiment assesses the ability of seed dispersal by sheep of alfalfa, moricandia, Bahia grass, and bitter vetch, examining seed recovery after gut passage and potential seedling establishment (under greenhouse conditions).

2.4.1. Seed recovery

The day after the 120-h period of sheep confinement in the fallow plots (see 2.2. Experimental design), a representative sample composed by 2 kg of faeces was collected and dried at room temperature. Then, the sample was homogenised, 20 subsamples of 10 g were taken, and the number of intact seeds per subsample was determined by the naked-eye, by gently crumbling the faeces. The total number of seed recovered (TNSR) was estimated by referring the mean number of seeds counted per 10 g sample to the total mass of the dung. The percentage of seed recovery was calculated independently for each plant species, and was determined by referring the mean number of seeds found in 10 g to the total mass of dung, and dividing by the number of seeds ingested.

$$SRP = \frac{\sum_{i=1}^{i=20} s_i \cdot TMD}{10 \cdot S} \cdot 100$$

Where *SRP* is the seed-recovery percentage, s_i is the number of seeds of a definite species found in the i sample (10 g), *TMD* is the total mass of dung, and *S* is the number of ingested seeds for that species. *TMD* was estimated by multiplying the number of sheep (400) by the mass of dung released by one sheep in one day, i.e., 316 g (Ramos, unpublished), and by 5 days (the amount of time during which the sheep were fenced). *S* was calculated by multiplying the number of seeds contained in one gram by the quantity of seeds (g).

2.4.2. Seedling establishment under greenhouse conditions

The ability of seeds encased in dung to emerge and become an established seedling was evaluated by a greenhouse experiment. Forty pots were filled with 1 litre of vermiculite and turf substrate (volume rate 1:8). Next, they were distributed among two treatments (20 replicates per treatment): 1) Crumbled pellets, 10 g of faeces gently disaggregated, simulating crumbling of pellets under natural conditions (i.e. from rainfall or from animals trampling the pellets), were set in the top of each pot; 2) Intact pellets: 10 g of intact pellets were set in the top of each pot.

The experiment started on the 23 February 2006 and ended 50 days later. The pots were set in a greenhouse with day/night temperature of 25/15° C and watered by imbibition as needed (around two-days interval) with tap water, providing the same amount of water to all the replicates. Emergence was used as the criterion for analysis, considering a seedling to be emerged by the appearance of cotyledons, this being recorded daily during the first two weeks and then every three days after the end of the experiment.

The total number of emerged seedlings (TNES) was estimated by referring the mean number of emerged seedlings per 10-g sample to the total dung mass .

The percentage of seedlings established at the end of the sampling period was estimated for each species by a similar procedure to seed recovery:

$$PSE = \frac{\sum_{i=1}^{i=20} se_i \cdot TMD}{10 \cdot S} \cdot 100$$

Where *PSE* is the percentage of seedlings established, *se_i* is the number of seedlings established of a definite species found in the *i* sample (10 g), *TMD* is the total mass of dung, and *S* is the number of ingested seeds for that species.

2.4.3. Statistical analysis

Seed recovery percentage and seedling-emergence percentage were compared with the non-parametric Kruskal-Wallis test, and differences among ranks were determined by the Nemenyi test, as assumptions of ANOVA were not fulfilled.

3. RESULTS

3.1 EXPERIMENT 1

3.1.1. Biomass yield

Comparisons among treatment combinations showed significant differences (H -value = 18.547; d.f.= 7; p -value = 0.0097), the biomass yield in 2006 being greater in SMF than in LF, with marginal statistical significance (Table 1). Differences in biomass yield among grazed and non-grazed plots demonstrated that sheep consumed about 42% of the forage biomass in the LF, and 31% in the SMF treatment (Table 1). Biomass yield increased in 2007 and no differences were detected either between fallow treatments or between grazing treatments (Table 1).

Table 1. Mean biomass yield \pm standard error of pastures under ley-fallow (LF) and "seed-manured" fallow (SMF) in two sampling periods and for two grazing treatments.

	LF	SMF
2006		
No grazing	1457 \pm 62 ^{bc}	1691 \pm 130 ^{ab}
Grazing	849 \pm 53 ^d	1159 \pm 36 ^{cd}
2007		
No grazing (in 2006)	1941 \pm 40 ^a	1946 \pm 151 ^a
Grazing (in 2006)	1960 \pm 149 ^a	1827 \pm 52 ^a

Different letters indicate significant differences among treatments (Nemenyi test, p -value < 0.05).

3.1.2. Nutritive value and carrying capacity

The chemical composition of the pasture was analysed only for samples from 2006 (see Materials and Methods).

DM was greater in SMF than in LF (Table 2). The LF pastures contained higher crude protein levels than did SMF pastures. OM, NDF, and ADF resulted in similar values between the two treatments. SMF had higher values of acid detergent lignin than did LF, with marginal significance (Table 2).

The values of *in vitro* organic-matter digestibility (IVOMD) given were analysed for one single composite sample per treatment combination and no statistical analysis was

possible. Nevertheless, IVOMD was, apparently, higher for LF than for SMF (Table 2). However, the carrying capacity seemed to be slightly higher in MF than in LF.

Table 2. Mean values + standard error of dry matter (DM, g 100g⁻¹ fresh matter), organic matter (OM, g kg⁻¹DM), crude protein (CP, g kg⁻¹DM), neutral detergent fibre (NDF, g kg⁻¹ DM), acid detergent fibre (ADF, g kg⁻¹ DM), acid detergent lignin (ADL, g kg⁻¹) for two kinds of cover with and without sheep grazing. SMF: "seed- manured" fallow, LF: ley-fallow.

	SMF	LF	t-value	p-value
DM	18±0.51 ^a	17±0.26 ^b	8.213	0.046
OM	800±1.7	794±5.3	1.040	0.36
CP	131±0.88 ^b	156±4.8 ^a	27.577	0.006
NDF	367±11	398±14	2.995	0.16
ADF	230±8.3	245±8.7	1.486	0.29
ADL	37±1.5	31±1.9	7.205	0.054
IVDOM	62	68	NA	NA
CC	2.71	2.51	NA	NA

Different letters indicate differences within one row.

3.1.3. Botanical composition

Table 3 shows the percentage of moricandia, alfalfa, bitter vetch, and Bahia grass for LF and SMF in 2006 and 2007. Significant differences were detected due to the year and kind of fallow for each species, while no differences due to grazing treatments were detected for any of the species. Moricandia weight percentage increased in 2007 with respect to 2006, but reaching significant only in the LF treatment (F -value = 12.889, p -value = 0.002, Table 3). Additionally, for this species LF showed greater values than SMF (F -value = 41.653, p -value < 0.0001, Table 3). Alfalfa and bitter vetch also showed a higher weight percentage in 2007 than in 2006 (F -value = 10.281, p -value = 0.005; and F -value = 4.718, p -value = 0.045, respectively), and higher values for LF than for MF (F -value = 41.071, p -value < 0.0001, and F -value = 131.99, p -value < 0.0001, respectively; Table 3) On the contrary, weed weight percentage was greater for SMF than for LF (F -value = 36.013, p -value < 0.0001), and LF values sharply decreased in 2007 with respect to 2006 (F -value = 36.013, p -value < 0.0001). Bahia grass was detected neither in the samples, nor in the field plots.

Table 3. Dry-weight percentage \pm standard error of four species and weeds of pastures under ley-fallow (LF) and "seed-manured" fallow (SMF) in two sampling periods and for two grazing treatments. Y: year, F: fallow, G: grazing, NS: not significant, M.a.: *Moricandia arvensis* (L.) DC., V.e.: *Vicia ervilia* (L.) Willd., M.s.: *Medicago sativa* L., P.n.: *Paspalum notatum* Flügge.

Treatments		M.a.	V.e.	M.s.	P.n.	Weeds	
LF	2006						
	No grazing	6.3 \pm 2.7 ^c	35 \pm 5.6 ^a	3.7 \pm 1.3 ^{bcd}	0	54 \pm 6.4 ^b	
	Grazing	6.4 \pm 2.6 ^c	26 \pm 1.9 ^a	9.2 \pm 2.6 ^{ab}	0	58 \pm 6.4 ^b	
	2007						
	No grazing (in 2006)	15 \pm 5.1 ^{bc}	46 \pm 6.7 ^a	12 \pm 2.1 ^a	0	27 \pm 3.9 ^c	
	Grazing (in 2006)	26 \pm 5.0 ^{ab}	39 \pm 8.6 ^a	12 \pm 3.5 ^{ab}	0	23 \pm 7.0 ^c	
	SMF	2006					
	No grazing	0.21 \pm 0.1 ^d	0 ^b	0 ^d	0	99.8 \pm 0.11 ^a	
Grazing	0.14 \pm 0.1 ^d	0 ^b	0 ^d	0	99.8 \pm 0.14 ^a		
	2007						
No grazing (in 2006)	0.21 \pm 0.2 ^d	1.2 \pm 0.68 ^b	2.0 \pm 1.01 ^{cd}	0	96.6 \pm 0.65 ^a		
Grazing (in 2006)	0.84 \pm 0.8 ^d	2.5 \pm 1.1 ^b	2.8 \pm 0.25 ^{cd}	0	93.8 \pm 0.64 ^a		
Interactions (p-value)	Y x F	0.004	NS	NS	NS	0.0004	
	Y x G	NS	NS	NS	NS	NS	
	F x G	NS	NS	NS	NS	NS	
	Y x F x G	NS	NS	NS	NS	NS	

Different letters indicate significant differences within one column (Tukey-HSD test, p-value < 0.05).

The species richness in SMF ranged between 32 and 34 (grazing and no grazing in 2007, respectively), being 33 in 2006 for both treatments.

In 2006, the floristic scope in the SMF plots was dominated by Papaveraceae (*Papaver rhoeas* L. and *Roemeria hybrida* (L.) DC.), Cruciferae (*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl and *Camelina microcarpa* Andr. ex DC.) and Graminae (*Lolium rigidum* Gaudin) (Table 4). However, in 2007, the predominant family was Graminae (*L. rigidum*), followed by Cruciferae (*Alyssum minutum* DC.) and Compositae (*Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers.) (Table 4). Additionally, the legume percentage (alfalfa, bitter vetch, and *Trigonella polyceratia* L.), which was null or almost null in 2006, increased in 2007 (Tables 3 and 4).

Table 4. Specific contribution of contact (SCC, %) for the most abundant species in the “seed-manured” fallow treatment in the two sampling periods and for the two grazing treatments.

Species	2006		2007	
	No grazing	Grazing	No grazing	Grazing
<i>Alyssum minutum</i> DC.	2.3±0.93 ^a	5.9±0.4 ^{ab}	13±1.49 ^{ab}	21±3.91 ^b
<i>Anacyclus clavatus</i> (Desf.) Pers.	0.29±0.29 ^a	0.15±0.15 ^a	10±1.39 ^b	10±3.13 ^b
<i>Camelina microcarpa</i> Andr. ex DC.	6.0±1.3 ^{ab}	14±6.4 ^a	1.5±0.29 ^b	3±0.44 ^{ab}
<i>Descurainia sophia</i> (L.) Webb ex Prantl	15±0.95	13±7.5	4.5±2.0	7.3±1.7
<i>Gallium aparine</i> L.	5.3±3.3	3.3±2.3	0.6±0.5	0±0
<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	17±5.3 ^a	12.7±7.2 ^a	36±4.8 ^b	31±7.2 ^b
<i>Papaver rhoeas</i> L.	23±8.3 ^b	13.5±5.4 ^b	3.5±0.63 ^a	5.3±2.9 ^a
<i>Roemeria hybrida</i> (L.) DC.	14.5±1.8 ^b	13±3.0 ^b	0.29±0.05 ^a	0.34±0.23 ^a
<i>Trigonella polyceratia</i> L.	0±0 ^a	0.35±0.35 ^a	3.5±1.4 ^b	2.6±1.7 ^b
Others	16±3.8	24±5.3	24±3.6	13±1.4

Different letters indicate significant differences within one row (Tukey-HSD test, p -value < 0.05).

The species that increased their specific contribution of contact (SCC) in 2007 were: *A. minutum* (H -value = 9.974, p -value = 0.019), which showed the highest values for the grazed plots in 2007; *A. clavatus* (H -value = 8.742, p -value = 0.032), *L. rigidum* (F -value = 8.689, p -value = 0.001), and *T. polyceratia* (H -value = 8.078, p -value = 0.044).

On the other hand, the species that decrease their SCC were: *C. microcarpa* (H -value = 9.974, p -value = 0.019), *P. rhoeas* (F -value = 7.179, p -value = 0.028), and *R. hybrida* (H -value = 8.333, p -value = 0.040).

No significant differences were detected due to the grazing treatment for any species.

The Jaccard similarity index corroborated the above mentioned results, values indicating that the differences in the floristic composition between 2006 and 2007, pooled across grazing treatments, were greater than between the grazing treatments, pooled across years (Fig. 2). However, comparisons between factor combinations revealed greater differences between years (Fig. 2). Furthermore, the Jaccard index was sensitive to the effect of 2006 grazing treatments in the following year as the differences between grazed and non-grazed plots in 2007 were greater than in 2006 (Fig 2).

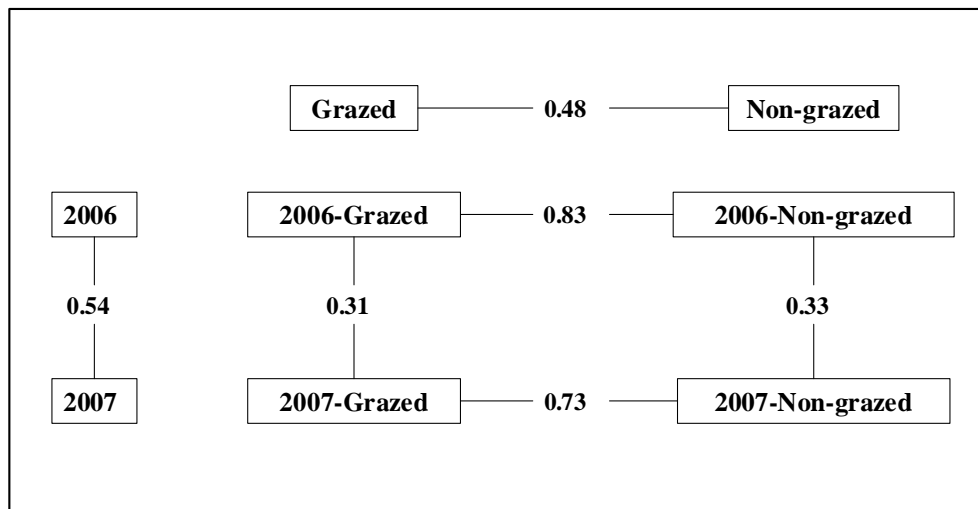


Figure 2. Jaccard similarity index values for the “seed-manured” fallow treatment, calculated between years (pooled across grazing treatments), grazing treatments (pooled across years) and the combination of both.

3.2. EXPERIMENT 2

3.2.1. Seed recovery

Depending on the species, the seed-recovery percentage was moderate (Bahia grass), low (moricondia) or very low (alfalfa and bitter vetch, Table 5), with significant differences among species (H -value = 54.102, p -value < 0.001).

Together with the prescribed species for this experiment, we found seeds of oats and barley, as they were the main feedstuff during the experiment, and seeds of the common weeds in the farm which were probably intermingled with the cereals. The most abundant weedy species was *Amaranthus blitoides* S. Watson, and *Camelina microcarpa* DC. the least (Table 5).

Table 5. Mean number of seeds recovered per 10-g sample (MNSR) + standard error, total number of seeds recovered (TNSR), and seed-recovery percentage (SRP) of forage species and weeds after seed ingestion.. NA: not available

Species	MNSR	TNSR	SRP
<i>P. notatum</i>	22±1.8	1 434 640	9.3±0.72 ^a
<i>M. arvensis</i>	2.1±0.29	129 560	2.7±0.37 ^b
<i>V. ervilia</i>	0.35±0.15	22120	0.83±0.36 ^c
<i>M. sativa</i>	2.1±0.38	129 560	0.72±0.13 ^c
<i>Amarantus blitoides</i> S. Watson	9.8±0.95	619 360	NA
<i>Hordeum vulgare</i> L.	6.6±0.51	413 960	NA
<i>Avena sativa</i> L.	4.8±0.38	303 360	NA
<i>Vaccaria hispanica</i> (Mill.) Rauschert	0.65±0.21	41 080	NA
<i>Trigonella polyceratal</i> L.	0.1±0.07	6 320	NA
<i>Camelina microcarpa</i> DC.	0.05±0.05	3 160	NA

Different letters indicate significant differences among species (Nemenyi test, p -value < 0.05)

3.2.2. Seedling emergence under greenhouse conditions.

As a whole, crumbled pellets showed a higher number of seedlings with respect to intact pellets. Bahia grass and alfalfa accounted for the greatest number of established seedlings, followed by *Avena sativa* L. and *Hordeum vulgare* L. A great number of weeds were also detected. However, no seedling of moricandia and only one seedling of bitter vetch, became established. Furthermore, for crumbled pellets, alfalfa and Bahia grass had the highest percentage of seedling emergence (H -value = 68.117, p -value < 0,0001; Table 6).

Data in Table 7 demonstrates that the vast majority of the seeds released from the dung did not emerge. Even in moricandia, which registered one of the highest seed-recovery percentages, no seedlings were detected. Only alfalfa showed a high emergence/germination percentage (Table 7).

Table 6. Mean number of emerged seedlings per 10 g sample (MNES) total number of emerged seedlings (TNES) and seed establishment percentage (SEP, %) + standard error, of forage species and weeds after seed ingestion. NA: not available.

Species	MNES		TNES		SEP	
	Intact	Crumbled	Intact	Crumbled	Intact	Crumbled
<i>P. notatum</i>	0.35±0.13	1.5±0.18	22120	94800	0.14±0.05 ^{abc}	0.62±0.12 ^a
<i>M. arvensis</i>	0	0	0	0	0 ^c	0 ^c
<i>V. ervilia</i>	0	0.05±0.05	0	3160	0 ^c	0.12±0.12 ^b
<i>M. sativa</i>	0.9±0.28	1.4±0.28	56880	88480	0.32±0.1 ^{abc}	0.49±0.1 ^a
<i>A. blitoides</i>	0	0.15±0.08	0	9480	NA	NA
<i>H. vulgare</i>	0.15±0.08	0.5±0.17	9480	31600	NA	NA
<i>A. sativa</i>	0.35±0.11	0.75±0.18	31600	79000	NA	NA
<i>Chenopodium</i> <i>sp.</i>	0	0.15±0.08	0	9480	NA	NA
Others	0.1±0.07	0.15±0.11	6320	9480	NA	NA

Different letters indicate significant differences among factor combinations (Nemenyi test, p-value < 0.05).

Table 7. Percentage of emerged seedlings with respect to the number of recovered seeds.

Species	Emergence/recovery (%)	
	Intact	Crumbled
<i>P. notatum</i>	1.5	6.6
<i>M. arvensis</i>	0	0
<i>V. ervilia</i>	0	14.3
<i>M. sativa</i>	43.9	68.3
<i>A. blitoides</i>	0	1.5
<i>H. vulgare</i>	2.3	7.6
<i>A. sativa</i>	10.4	26.0

4. DISCUSSION

4.1. EXPERIMENT 1

Despite that rainfalls were greater during the growing season 2005/06 (399 mm) than in 2006/07 (326 mm), biomass yield was greater in the latter. Two synergistic factors may have been acting: on the one hand, more favourable climatic conditions in spring in the second year with respect to the first one; on the other hand, the absence of soil disturbance (tillage) during the autumn in 2006. Some authors have detected that in Mediterranean climates rainfall distribution, rather than total annual rainfall, determines pasture yield (Rossiter, 1966). Also, high spring temperatures increase evapotranspiration and reduce water availability for plant growth. Despite that the literature reports autumn as the prime factor in yield (Rossiter, 1966; Murphy, 1970), in our study April and May rainfalls together with higher winter temperature and lower spring temperatures (see Fig. 1) may have determined higher pasture yield in 2006, as, the study site, cold temperatures usually delay the growing season until March. Moreover, the absence of soil disturbance (tillage) during the autumn 2006 and the presence of mulch, provided by the debris of the previous year, may have facilitated the establishment of vegetation. Finally, moderate grazing did not affect the biomass yield in the following season.

The nutritive value was greater for LF than for SMF. Although weeds constituted more than 50% of the pasture yield, the greatest proportion of legumes and the presence of moricandia provided a higher CP to LF pastures (Silva, 1987; Alibes and Tisserand, 1990), with respect to SMF. Nevertheless, the SMF treatment also had high CP, probably due to the contribution of species such as *P. rhoeas* (198 g CP kg⁻¹DM; Robles, 1990). The carbohydrate fractions were similar for both treatments, except for ADL, which was greater for SMF, probably because of the higher lignin content in Cruciferae (*D. sophia* and *C. microcarpa*) and Papaveraceae (*P. rhoeas* and *R. hybrida*), as they are more lignified than legumes due to the more advanced maturity stage (Caballero *et al.*, 1995; Assefa and Ledin, 2001). Legumes are known to be more digestible than other families (Alibes and Tisserand, 1990; Lithourgidis *et al.*, 2006), especially in spring, and, this is reflected by the higher digestibility in LF with respect to the SMF. However, the CC of SMF was slightly higher than that of LF, due mainly to the higher yields registered for SMF.

Unfortunately, as mentioned above, samples in 2007 were accidentally destroyed and, therefore, we could not perform the nutritional analyses. However, an increase in the

feeding value and carrying capacity would be expectable for both treatments. In the LF, a sharp decrease in the percentage of weeds and the increase in the proportion of legumes and moricandia would boost CP and IVOMD, and therefore, CC. In the SMF treatment, the greater proportion of *L. rigidum* and legumes would also augment CP and IVOMD. Furthermore, the increased pasture yield registered for both treatments would have a significant effect on CC.

Pastures were well accepted by the sheep, and grazing in spring 2006 led to a biomass consumption of almost 42% in the LF and 31% in the SMF treatment (grazing vs. no grazing, Table 1). In LF, contrary to expectations, moricandia was rejected by livestock, and grazing was not detected in 2006 either in field observation or in the laboratory study. However, in spring 2007 the same sheep flock showed a high preference for this species (personal observation). The grazing time in spring 2006 may have been insufficient to activate the mechanisms of learning in food selection (Provenza *et al.*, 1992), which were indeed activated the following year. Bitter vetch was consumed by sheep in spring 2006 (around 25%), although differences among grazing and no grazing were not significant. Alfalfa showed an unexpected performance, since it had a higher percentage, although not significant, in grazing than in no grazing in 2006. This must be due to uneven broadcast of seeds, as one of the grazing plots probably received more alfalfa seeds than others. In the field it was observed that this species was heavily consumed. Finally, weed grazing was undetectable in the lab, although field observation reflected heavy grazing on *P. rhoeas* and *Vaccaria hispanica* (Mill.) Rauschert. In SMF, only *P. rhoeas* showed a decrease in the grazed plots in 2006, although differences were not significant. *P. rhoeas* was highly preferred by sheep in this area (personal observation), despite being considered unpalatable to animal grazing, as it has alkaloids, morphine, and rhoeadine (McNaughton and Harper, 1964), which may be poisonous for livestock if not managed with care. *D. sophia* and *L. rigidum* were also consumed by livestock (personal observation), although the consumption was lower and statistically insignificant.

The botanical composition changed from 2006 to 2007 in both treatments. The sown species in LF showed a high adaptation and/or self-reseeding ability for every species (except for Bahia grass), and proved to be an effective method for weed control, as weeds constituted more than 50% of the total dry weight in 2006, while the percentage decreased as much as 23% in 2007. This indicates that the improvement in the pastures was greater the following year after seeding. Bahia grass was the only allochthonous

species (endemic to Mexico, Central and South America) but it has naturalized in Spain (Verloove, 2005). Despite that it is a drought-tolerant grass, it is not adapted to the cold temperatures of this area. Among the species that succeed in becoming established, bitter vetch was the most abundant species, probably due to its better adaptation to the pedoclimatic conditions. This is a traditional grain legume for livestock feeding of the Mediterranean region. It is highly resistant to drought and cold, and high yields may occur in favourable years (Navarro, 1992). It is also a multi-purpose crop as it can be grazed (spring, summer and/or autumn), or harvested for hay or for grain. Additionally, it has a high self-reseeding ability when grazed during maturity (Navarro, 1992). Moricandia, which increased in the second year with respect to the first one, is an annual or perennial ruderal species that is frequent in the south and east of Spain but also in the south of Europe and in NW of Africa. This species is highly palatable for sheep (Robledo *et al.*, 2007b), and, in winter and spring, has a high crude-protein content (23 and 17%, respectively) and low FND, FAD and LAD (Silva, 1987). Alfalfa cv Aragón is a variety that is well adapted to low temperatures and drought (Sánchez-Díaz *et al.*, 2000). Alfalfa has proved of great interest in dry-farming as a grazing resource for sheep, even more efficient than mowing (Ramón *et al.*, 1986; González *et al.*, 1989). Bloat problems may be reduced through a good management of the pasture and the previous ingestion of straw (González *et al.*, 1989).

The ability of moricandia, alfalfa and, bitter vetch to be established from sheep dung in the SMF treatment was low or very low, and even alfalfa and bitter vetch were detected only in the second year of the experiment. Further discussion will be given in the following section.

However, the floristic composition includes a great variety of weeds (e.g. *P. rhoeas*, *A. clavatus* and *D. sophia*) and common therophytes (e.g. *A. minutum*, *T. polyceratia*) from the semiarid grasslands of SE Spain. In our study a dramatic change in the species composition was detected in 2007 with respect to 2006, as revealed by the specific contact contribution and by the Jaccard similarity index. The studies of the dynamics in annual Mediterranean grasslands (Rossiter, 1966; Austin *et al.*, 1981; Peco, 1989; Espigares and Peco, 1995) have revealed large variations in the floristic composition due to fluctuations in total annual rainfall and its distribution during the year. An important determinant is the time of onset of the first effective rains (late summer, autumn, or early winter) (Peco, 1989) and the pattern rain after them, i.e., a drought after the first rains can affect the

floristic composition of annual grasslands, due mainly to its differential effect on seedling mortality among the different species (Espigares and Peco, 1995). Several studies (Rossiter, 1966; Peco, 1989; Dorado *et al.*, 1999) have reported that the timing since the last tillage or the improvement of soil fertility influenced species composition and successional processes. Additionally, Jaccard index values showed differences, although slight, in the species composition due to sheep grazing, coinciding with many other workers results (Austin *et al.*, 1981; Osem *et al.*, 2004; Alhamad, 2006; Pavlu *et al.*, 2006).

In our study, the dominant species in SMF in 2006 were, in descending order, *P. rhoeas*, *L. rigidum*, *D. sophia* and *R. hybrida*, while in 2007. *L. rigidum* became the most abundant species, followed by *A. minutum* and *A. clavatus*. *P. rhoeas*, a ubiquitous weed, is very common in cereal crops in the Mediterranean area. The literature reports that the emergence of Papaveraceae, such as *P. rhoeas*, is stimulated with soil cultivation and high nutrient content in soil (McNaughton and Harper, 1964; Torra and Recasens, 2008;), and if the habitat remains undisturbed its presence dramatically diminishes (McNaughton and Harper, 1964; Dorado *et al.*, 1999). Coinciding with these findings, our results reflect that *P. rhoeas* and *R. hybrida* were more abundant after ploughing and manuring. *D. sophia* may be a highly invasive weed that can be controlled by sheep grazing in spring (Ramos and Robles, personal observation), due to inflorescence removal (Qiang, 2005). The increased percentage of *D. sophia* in 2006 with respect to 2007 could be due to rainfall distribution during the first year, as annual winter weeds increased in density when adequate rainfall for germination is received in autumn (Blackshaw *et al.*, 2006). *L. rigidum* is considered a palatable and high-quality feedstuff (Molle *et al.*, 2003), which is easily established and frost resistant (Monaghan, 1980). In our study, a sharp increase of *L. rigidum* was detected in the second year, when no soil disturbance was applied. In fact, Dorado and López-Fando (2006) stated that the small seed size and adaptation to surface germination allows this species to spread in undisturbed habitats. *A. minutum* is a plant of low pastoral interest that can be found in the open shrublands of mountainous areas (from 1000-2000 m a.s.l.) and it is usually established in soils with low disturbance. *A. clavatus* is highly consumed by livestock in SE Spain and its presence in the second year of the experiment must be due to an advantageous plant establishment in less disturbed soils with respect to disturbed soils (Dorado *et al.*, 1999; Rebollo *et al.*, 2003). Additionally a significant increase in the proportion of legumes (*T. polyceratia*, alfalfa, and bitter vetch) occurred the second year. *T. polyceratia*, a frequent species in fallows and semiarid subnitrophyllous annual

grasslands in SE Spain (Robledo, 1991; Peñas, 1999), constitutes a high-quality feed resource for animals (Robles *et al.*, 2009). All the above suggests that, as for LF, pastures in SMF are improved in 2007, through the increase in higher-quality species (mainly *L. rigidum* and legumes).

In conclusion, LF showed a higher nutritive value although it should be managed with care due to bloat risk. On the other hand, SMF includes a high proportion of grass that would increase the fibre content. Therefore, the combination of the two treatments would balance the diet for sheep.

4.2. EXPERIMENT 2.

The low presence of moricandia, alfalfa, and bitter vetch, registered in SMF was explained by the lab study and the greenhouse experiment. Existing studies dealing with endozoochorous dispersal by sheep (Razanamandranto *et al.*, 2004; Manzano *et al.*, 2005) revealed low seed recovery and low seedling emergence for some species. Seed recovery depends mainly on seed size, seed shape, and hardseededness (Russi *et al.*, 1992; Gardener, 1993; Pakeman *et al.*, 2002), i.e., the smaller, the harder, and the rounder a seed is, the higher the probability is that it will survive chewing and rumination. Our results suggest that, according to Gardener *et al.* (1993), the main factor involved in seed survival for legumes is hardseededness, as bitter vetch (rounded, 4 mm diameter) and alfalfa (elongated, 1.5 x 2.5 mm), showed similarly low seed-recovery values. Ramos *et al.* (2005) also reported low seed-recovery results in cultivated varieties of alfalfa and vetch (*Vicia sativa* L.) (2,1% y 1,6%, respectively) in a cafeteria experiment. These data demonstrate that the loss of hardseededness in cultivated species permits the massive destruction of seeds by digestive processes. However, small seed size is also an important characteristic to survive ingestion and gut passage (Pakeman *et al.*, 2002) due to the decrease of the abrasive effect of chewing and rumination (Fredrickson *et al.*, 1997). In fact, moricandia seeds are very small (rounded, 0.5 mm in diameter), and had a higher seed recovery than alfalfa and vetch. Of all the species, Bahia grass had the highest seed recovery (9.3%). These seeds (elongated, 3 x 2 mm) are effectively protected against the digestive processes by the palea and lemma and, therefore, seed recovery was more than ten-fold higher than in alfalfa. Additionally, a great amount of weeds and cereal seeds were retrieved from sheep dung.

Seedling emergence was lower than expected according to seed recovery, as the vast majority of the seeds recovered did not emerge, and even for moricandia no establishment was detected. Several reasons may explain this fact. Firstly, some of the seeds may have been unviable due to damages to the embryo by dung fermentation (Ramos *et al.*, 2006b). Secondly, the phenolic compounds and fatty acids in the dung may act as germination inhibitors for some species (Traveset *et al.*, 2001). Finally, gut passage may be insufficient to soften seed coats and stimulate the germination of some species, or some species may even present a physiological dormancy that impedes germination despite water-permeable coats (Baskin and Baskin, 1998). Nonetheless, when establishment occurs, faecal material may confer great vigour to seedlings through nutrient release (Traveset *et al.*, 2001; Traveset and Verdú, 2002).

A differential seedling establishment among treatments and species was detected. Crumbled pellets had a positive effect in seedling establishment, perhaps due to the higher water-retention capacity of crumbled pellets and hydrophobic nature of the intact pellets (Malo and Suárez 1995, 1998; Ramos *et al.*, 2006a). The highest values were reached for crumbled pellets for Bahia grass and alfalfa. Bahia grass exhibited a percentage four-fold higher in intact pellets than in crumbled pellets, while alfalfa establishment was only 50% greater for crumbled than for intact pellets. According to these findings, Bradford (1995) indicated that species may differ in their ability to germinate at reduced water potential, highlighting that relatively small changes in this water potential can have large effects on germination percentage.

5. CONCLUSIONS

This study suggests that ley-fallow (LF) and seed-manured fallows (SMF) may constitute high-quality pastures in semiarid environments. The nutritive value of LF proved richer in protein, while SMF had a diverse composition, and therefore adequate grazing rotation on both pastures may constitute a balanced diet for animals. Moreover, moderate grazing did not affect either pasture yield or species composition in any treatment.

In LF, all the sown species, except Bahia grass, showed high adaptation and/or self-reseeding ability, reducing weed incidence. In SMF, despite high seed losses and low seedling establishment, sheep after ingestion might introduce seeds from cultivated

varieties into pastures, thereby increasing the nutritive value. However, the field study suggests that this process is not efficient for improving fallow pastures with these cultivated varieties, as the presence of the prescribed species after 2 years is very low. Therefore, hardseeded species should be used when introducing new high fodder quality species into pastures by means of livestock dejections. On the other hand, the floristic composition of the SMF varied greatly among years, increasing the presence of nutritive species, i.e. *L. rigidum* and legumes, due to the joint effect of favourable climatic conditions and lower degree of soil disturbance.

The introduction of ley-fallows, sowing adapted species, and manured fallows as grazing sources in rainfed farming may constitute a suitable practice for the improving the diet of small ruminants in semiarid Mediterranean environments.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the staff of the Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada) for lending us the experimental plots and for helping in the field work, Alicia Pérez Puente for the chemical analysis of the forage, Jabier Ruiz Mirazo and Elsa Varela Redondo for their assistance in field samplings and laboratory.

This study was funded by Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (IFAPA) and Consejería de Agricultura y Pesca (DAP) (Junta de Andalucía), and a FPU-MECD grant to M.E. Ramos.

7. REFERENCES

- Alibes, X., Tisserand, J.L., 1990. Tables of nutritive value for ruminants of Mediterranean forages and by-products. Options Méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches, No. 4. Zaragoza, Spain: CIHEAM.
- ANKOM, 1998. Procedures for fibre and *in vitro* analysis. Accessed at <http://www.ankom.com>
- AOAC., 1995. Official Methods of Analysis. Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, AOAC international.
- Assefa G., Ledin I., 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. Anim. Feed Sci. Tech. 92, 95-111.
- Alhamad, M.N., 2006. Ecological and species diversity of arid Mediterranean grazing land vegetation. J. Arid Environ 66, 698-715.
- Austin, M.P., Williams, O.B., Belbin, L., 1981. Grassland dynamics under sheep grazing in an Australian Mediterranean type climate. Vegetatio 47, 201-211.
- Avondo, M., Lutri, L., 2005. Feed intake. In: Pulina, G. (Ed.), Dairy sheep nutrition. CABI Publishing, pp. 65-78.
- Blackshaw, R.E., Thomas, A.G., Derksen, D.A., Moyer, J.R., Watson, P.R., Légère, A., Turnbull G.C., 2006. Examining tillage and crop rotation effects on weed populations in the Canadian Prairies. In: Singh H.P., Batis D.R. and Kohlí R.K (Eds.), Handbook of sustainable weed management. Harworth Press, pp. 179-208.
- Bradford, K.J., 1995. Water relations in seed germination. In: Kigel, J., Galili, G. (Eds.), Seed development and germination. Marcel Dekker, New York, pp. 351-398.
- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1998. Seeds. Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego.
- Belesky, D.P., Koch, D.W., Walker, J., 2007. Forbs and browse species. In: Barnes R.F., Nelson C.J., Moore K.J., Collins M (Eds.), Forages: the science of grassland agriculture. Blackwell publishing, Ames, Iowa and Oxford, pp. 257-273.

- Bosma, R.H., Bos, M., Kanté, S., Kébé D., Quak, W., 1999. The promising impact of ley introduction and herd expansion on soil organic matter content in southern Mali. *Agr. Syst.* 62, 1-15.
- Caballero, R., Goicoechea, E.L., Hernaiz, P.J., 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Res.* 41, 135-140.
- Correal, E., 1983. Nuevos alimentos en el secano. *ONE Actualidad Pecuaria*, 34: 72-82.
- Correal, E., Robledo, A., Ríos, S., Rivera, D., 2006. Mediterranean dryland sheep-cereal Systems. *Grassland Sci. Eur.* 11, 14-26.
- Daget, P., Poissonet, J., 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Ann. Agron.*, 22, 5-41.
- Das, S., Tyagi, A.K., Kaur, H. 2000. Cancer modulation by glucosinolates: A review. *Curr. Sci.* 79, 1665-1671.
- Dorado, J., Del Monte, J.P., López-Fando, C., 1999. Weed seedbank response to crop rotation and tillage in semiarid agroecosystems. *Weed Sci.* 47, 67-73.
- Dorado, J., López-Fando, C., 2006. The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. *Weed Res.* 46, 424-431.
- Eichberg, C., Storm, C., Schwabe, A., 2007. Endozoochorous dispersal, seedling emergence and fruiting success in disturbed and undisturbed successional stages of sheep-grazed inland sand ecosystems. *Flora* 202, 3-26.
- Espigares, T., Peco, B., 1995. Mediterranean annual pasture dynamics: impact of autumn drought. *J. Ecol.* 83: 135-142.
- FAO, 2006. Guidelines for soil description. 4th edition. FAO, Rome.
- Francia, E., Pecchioni, N., Li Destri Nicosia, O., Paoletta, G., Taibi, L., Franco, V., Odoardi, M., Stanca, A. M., Delogu, G., 2006. Dual-purpose barley and oat in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 99, 158-166.

- Fredrickson, E.L., Estell, R.E., Havstad, K.M., Ksiksi, T., van Tol, J., Remmenga, M.D., 1997. Effects of ruminant digestion on germination of Lehmann love-grass seed. *J. Range Manage.* 50, 20-26.
- Gardener, C.J., Mc Ivor, J.G., Jansen, A., 1993. Survival of seeds of tropical grassland species subjected to bovine ingestion. *J. App. Ecol.* 30, 75-85.
- González, T., Alegre, J., Martínez, B., García, B., García, A., 1989. Producción de corderos sobre praderas de secano compuestas principalmente por alfalfa en la zona centro de España. *Actas de la XXIX Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 399-405.
- Howieson, J.G., O'Hara, G.W., Carr, S.J., 2000. Changing roles for legumes in Mediterranean agriculture: developments from an Australian perspective. *Field Crops Res.* 65, 107-122.
- Janzen, D.H., 1984. Dispersal of small seeds by big herbivores: Foliage is the fruit. *Am. Nat.* 123, 338-353.
- Le Houérou, H.N., 2001. Unconventional forage legumes for rehabilitation of arid and semiarid lands in world isoclimatic Mediterranean zones. *Arid Land Res. Manage.* 15, 185-202.
- Legendre, P., Legendre, L., 1998. *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam
- Lithourgidis, A.S., Vasilakoglou, I.B., Dhima, K.V., Dordas, C.A., Yiakoulaki, M.D., 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seedings ratios. *Field Crops Res.* 99, 106-113.
- Magurran A.E. 2004. *Measuring biological diversity*. Blackwell Science, Oxford.
- Malo, J.E., Suárez, F., 1995. Cattle dung and the fate of *Biserrula pelecinus* L. (Leguminosae) in a Mediterranean pasture: seed dispersal, germination and recruitment. *Bot. J. Linn. Soc.* 118, 139-148.
- Malo, J.E., Suárez, F., 1998. The dispersal of a dry-fruited shrub by red deer in a Mediterranean ecosystem. *Ecography* 21, 204-211.
- Manzano, P., Malo, J.E., Peco, B., 2005. Sheep gut passage and survival of Mediterranean shrub seeds. *Seed Sci. Res.* 15, 21-28.

- Martín, A.I., Moumen, A., Yáñez, D.R., Molina, E., 2003. Chemical composition and nutrients availability for goats and sheep of two-stage olive cake and olive leaves. *Anim.Feed Sci. Tech* 107, 61-74.
- Mc Dougall, E.I., 1948. Studies on ruminant saliva 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochem. J.* 43, 99-109.
- McInnis, M.L., Larson, L.L., Miller, R.F., 1993. Nutrient composition of whitetop. *J. Range Manage.* 46, 227-231.
- McNaughton, I.H., Harper, J.L. 1964. Papaver L. *J. Ecol.* 52, 767-793.
- Mendel, V.E., Boda, J.M., 1961. Physiological studies of the rumen with emphasis on the animal factors associated with bloat. *J. Dairy Sci.* 44, 1881-1898.
- Milton, S.J., Dean, W.R.J., 2001. Seed dispersed in dung of insectivores and herbivores in semi-arid souther Africa. *J. Arid Environ.* 47, 465-483.
- Molina, E., Martín, A.I., Aguilera, J.F., 2000. A comparative study of nutrient digestibility, kinetics of degradation and passage and rumen fermentation pattern in goats and sheep offered good-quality diets. *Livest. Prod. Sci.* 64, 215-223.
- Molle, G., Decandia, M., Fois, N., Ligios, S., Cabbidu, A., Sitzia, M., 2003. The performance of Mediterranean dairy sheep given access to sulla (*Hedysarum coronarium* L.) and annual ryegrass (*Lolium rigidum* Gaudin) pastures in different time proportions. *Small Ruminant Res.* 49, 319-328.
- Monaghan, N.M., 1980. The biology and control of *Lolium rigidum* as a weed of wheat. *Weed Res.* 20, 117-121.
- Murphy, A.H. 1970. Predicted forage yield based of fall precipitation in California annual grasslands. *J. Range Manage.* 23, 363-365.
- Navarro, A. 1992. Autorresiembra de los yeros en condiciones del norte de Almería. *Revista Velezana* 11: 67-74.
- Osem, Y., Perevolotsky, A., Kigel, J., 2004. Site plant productivity and plant size explain the response of annual species to grazing exclusion in a Mediterranean semi-arid rangeland. *J. Ecol.* 92, 297-309.

- Pakeman, R.J., Digneffe, G., Small, J.L., 2002. Ecological correlates of endozoochory by herbivores. *Funct. Ecol.* 16, 296-304.
- Pavlu, V., Hejcman, M., Pavlu, L., Gaisler, J., Nezerkova, P., 2006. Effect of continuous grazing on forage quality, quantity and animal performance. *Agric., Ecosyst. Environ.* 113, 349-355.
- Peco, B., 1989. Modelling Mediterranean pasture dynamics. *Vegetatio* 83, 269-276.
- Peinetti, R., Peryra, M., Kin, A., Sosa, A., 1993. Effects of cattle ingestion on viability and germination rate of caldén (*Prosopis caldenia*) seeds. *J. Range Manage.* 46, 483-486.
- Peñas, J.; Cabello, J., Valle, F., Mota, J.F., 1999. Pastizales xerofíticos del SE Ibérico: Sierra de los Filabres (Andalucía Oriental, España). *Stud. Bot.* 18, 21-46.
- Porqueddu, C., 2001. Screening germplasm and varieties for forage quality: Constraints and potentials in annual medics. *Options Méditerranéennes*, 45, 89-98.
- Prieto, C., Aguilera, J. F., Lara, L., Fonollá, J., 1990. Protein and energy requirements for maintenance of indigenous granadina goats. *B. J. Nutr.* 63, 155-163.
- Provenza, F.D., Pfister, J.A., Cheney, C.D., 1992. Mechanisms of learning in diet selection with reference to phytotoxicosis in herbivores. *J. Range Manage.* 45, 36-45.
- Provenza, F.D., Villalba, J.J., Dziba, L.E., Atwood, S.B., Banner, R.E., 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Res.* 49, 257-274.
- Qiang, S., 2005. Multivariate analysis, description, and ecological interpretation of weed vegetation in the summer crop fields of Anhui province, China. *J. Integrative Plant Biol.* 47, 1193-1210.
- Ramón, J., Delgado, I., Valderrábano, J., 1986. Primeros resultados sobre la respuesta de la alfalfa al pastoreo ovino. *Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 99-106.
- Ramos, M.E., Robles, A.B., Cardoso, J.A., Ruiz-Mirazo, J., González-Rebollar, J.L., 2005. Dispersión endozoócora por ganado ovino de cuatro leguminosas de interés forrajero. In: de la Roza, B., Argamenteira, A., Martínez, A., Osoro, K (Eds.),

- Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural. SERIDA, Asturias (Spain), pp. 923-929.
- Ramos, M.E., Robles, A.B., Castro, J., 2006a. Efficiency of endozoochorous seed dispersal in six dry-fruited species (Cistaceae): from seed ingestion to early seedling establishment. *Plant Ecol.* 185, 97-106.
- Ramos, M.E., Robles, A.B., Ruiz-Mirazo, J., Cardoso, J.A, González-Rebollar, J.L., 2006b. Effect of gut pasaje on viability and seed germination of legumes adapted to semiarid environments. *Grassland Sci. Eur.*11, 315-317.
- Razanamandranto, S., Tigabu, M., Neya, S., Odén, P.C., 2004. Effects of gut treatment on recovery and germinability of bovine and ovine ingested seeds of four woody species from Sudanian savanna in West Africa. *Flora* 199, 389-397.
- Rebollo, S., Pérez-Camacho, L., Valencia, J., Gómez-Sal, A. 2003. Vole mound effects and disturbance rate in a Mediterranean plant community under different grazing and irrigation regimes. *Plant Ecol.* 169, 227-243.
- Robledo, A. 1991. Las explotaciones de cereal-ovino en el N. O. de Murcia: balance de recursos forrajeros y perspectivas de futuro. *Actas de la XXXI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos*, 139-159.
- Robledo, A., Ríos, S., Correal E., 1991. Las malas hierbas en los barbechos cerealistas del N.O. de Murcia: su importancia como recurso alimenticio para la ganadería ovina. I: Composición botánica. *Actas de la Reunión 1991 de la Sociedad Española de Malherbología*, 70-73.
- Robledo, A., Correal E., Martínez A., Megías, M.D., Alcaraz, F., 2007a. Pastos agrícolas. In: Correal, E., Robledo, A., Erena, M. (Eds.), *Tipificación, cartografía y evaluación de los recursos pastables de la región de Murcia*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Murcia (Spain), pp. 45-62.
- Robledo, A., Martínez, A., Megías, M.D., Robles, A.B., Erena, M., García, P., Ríos, S., Correal, E. 2007b. Productividad y valor nutritivo de los pastos. In: Correal, E., Robledo, A., Erena, M. (Eds.), *Tipificación, cartografía y evaluación de los recursos pastables de la región de Murcia*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, Murcia (Spain), pp. 63-88.

- Robles, A.B. 1990. Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido del sureste ibérico. PhD thesis, Universidad de Granada, Granada, Spain.
- Robles, A.B., Allegretti, L.I.; Passera, C.B., 2002. *Coronilla juncea* is both a nutritive fodder shrub and useful in the rehabilitation of abandoned Mediterranean marginal farmland. J. Arid Environ. 50, 381-392.
- Robles, A.B.; Castro, J.; González-Miras, E.; Ramos, M.E., 2005. Effects of ruminal incubation and goats ingestion on seed germination of two legume shrubs: *Adenocarpus decorticans* Boiss. and *Retama sphaerocarpa* (L.) Boiss. Options Méditerranéennes 67, 111-115.
- Robles, A.B., Ruiz-Mirazo, J., Ramos, M.E., González-Rebollar, J.L., 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam J., Mosquera-Losada, M.R. (Eds.), Advances in Agroforestry in Europe. Current status and future prospects. Springer.com. pp: 211-231.
- Ronchi, B., Nardone, A., 2003. Contribution of organic farming to increase sustainability of Mediterranean small ruminants livestock systems. Livest. Prod. Sci. 80, 17-31.
- Rossiter, R.C., 1966. Ecology of the Mediterranean annual-type pasture. Adv. Agron. 18, 1-56.
- Russi, L., Cocks, P.S., Roberts, E.H., 1992. The fate of legume seeds eaten by sheep from a Mediterranean grassland. J. Appl. Ecol. 29, 772-778.
- Sánchez-Díaz, M., Hekneby, M., Antolín, M.C., 2000. Cold tolerance of forage legumes growing in controlled continental Mediterranean conditions. Options mediterranneenes 45, 265-270.
- Silva, J., 1987. Evaluación de los recursos alimenticios de la zona árida del ámbito del proyecto LUCDEME en ganado caprino. PhD thesis, Universidad de Córdoba, Córdoba, Spain.
- Talamucci, P., Pardini, A., 1999. Pastoral systems dominated by fodder crops harvesting and grazing. Options Mediterraneennes 39, 29-44.

- Tilley, J.M.A., Terry, R.A., 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Brit. Grassland Soc. 18, 104-111.
- Torra, J., Recasens, J., 2008. Demography of corn poppy (*Papaver rhoeas*) in relation to emergence time and crop competition. Weed Sci. 56, 826-833.
- Traveset, A., 1998. Effect of seed passage through vertebrate frugivores' guts on germination: a review. Perspect. Plant Ecol. Evol. Systematics 1/2, 151-190.
- Traveset, A., Bermejo, T., Willson, M., 2001. Effect of manure composition on seedling emergence and growth of two common shrub species of Southeast Alaska. Plant Ecol. 155, 29-34.
- Traveset, A., Verdú, M., 2002. A meta-analysis of the effect of gut treatment on seed germination. In: Levey, D.J., Silva, W.R. (Eds.), Seed dispersal and frugivory: ecology, evolution and conservation. University of Florida, Gainesville, (USA) and Universidad Estadual Paulista, Sao Paulo (Brasil), pp. 339-350.
- Tripathi, M.K., Karim, S.A., 2008. Minerals requirement of small ruminants with special reference to their role in rumen fermentation – A review. Indian J. of Small Ruminants, 14. Accessed at <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijsr&volume=1&issue=1&article=001&type=pdf>.
- VanEtten, C.H., Tookey, H.L., 1978, Glucosinolates in cruciferous plants. In: Keeler, R.F., Van Kampen, K.R., James, L.F. (Eds.), Effects of poisonous plants on livestock. Academic Press, Inc., New York, pp. 507-520.
- van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74, 3583-3597.
- van der Pijl, L., 1982. Principles of dispersal in higher plants. Springer, Berlin.
- Verloove, F., 2005. New records of interesting xenophytes in Spain. Lazaroa 26, 141-148.
- Whitbread, A.M.; Blair, G. J.; Lefroy, R.D.B..2000. Managing legume leys, residues and fertilisers to enhance the sustainability of wheat cropping systems in

Australia:1.The effects on wheat yields and nutrient balances. Soil Till. Res. 54, 63-75.

Zar, J.H., 1996. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, New Jersey ,USA.

CAPÍTULO 3: ORGANIC VS. MINERAL FERTILIZATION IN RAINFED AND IRRIGATED OATS IN SEMIARID ENVIRONMENTS: A CASE STUDY OF THE EFFECTS ON FORAGE YIELD, SOIL BIOLOGICAL PROPERTIES, AND PROFITABILITY

Autores: Ramos M.E.^{a*}, Robles A.B.^a and González-Rebollar J.L.^a

^aEstación Experimental del Zaidín (Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

C/ Profesor Albareda, 1 E-18008 Granada, Spain.

Phone number: +34658487888

* eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: en revision

Revista: Journal of Sustainable Agriculture

ABSTRACT

We studied the effect of irrigation and of the type of fertilizer (organic and mineral) applied to an oat crop on yield, profitability, and soil enzyme activity. The study was performed in two extreme years: rainy and very dry. Yield was similar for all fertilizer treatments, it was two to three-fold greater in the rainy than in the dry year, and irrigation boosted yield in the latter. Profit and activity of soil enzymes were both greater for the organic fertilization. In conclusion, organic oats cropping in such semiarid areas may be a sustainable practice in terms of yield, soil quality and profitability, furthermore, irrigation in dry years may increase net incomes.

Key-words: forage yield; oats; organic and mineral fertilizer; profitability; semiarid environment; soil biological activity.

1. INTRODUCTION.

Oats are widely used as feedstuff for livestock in rainfed Mediterranean semiarid environments (Droushiotis, 1985; Caballero *et al.*, 1995). The Mediterranean climate is characterized by high interannual variability of rainfall (Connor & Loomis, 1991; Le Houérou, 1993), and this is responsible for the great variability in yield of oats, and of most of the rainfed crops. In semiarid regions, those crops that are sown from late autumn to winter, generally, obtain the necessary water for crop development from seedling emergence to anthesis. Nevertheless, scarce rainfall during the anthesis and grain filling, limits growth and oats yield. (Schrickel, 1986). Accordingly, irrigation makes it possible to increase yields and/or to make two cuttings: one for hay or grazing, and the other for grain and straw.

Soil fertility and maintenance of productivity require the replacement of soil nutrients that are lost due to harvest, volatilization or leaching (Domínguez-Vivancos, 1997; Gliessman, 1998). Organic or chemical fertilizers are applied in order to replace these nutrients. In the organic fertilizers, the nutrients are not readily available to plants, on the contrary, they must first be mineralized to be absorbed by them (Lampkin, 1998), while in mineral fertilizers nutrients are readily available. The use of chemical fertilizers has been demonstrated to be a profitable practice in many countries (Domínguez-Vivancos 1997) and, in fact, it has boosted crop yields during the past several decades (Gliessman, 1998). One of the main reasons for the higher profitability of chemical fertilizers with respect to organic fertilizers is that the production costs in developed countries are greater for organic fertilization than for mineral fertilization. This difference mainly lies in the great volume that must be managed under organic fertilization, which raise the costs of application through the increase in human labor and machinery (Araji *et al.*, 2001). Nevertheless, the synthesis of chemical fertilizers has been demonstrated to be highly fuel consuming and polluting (Pimentel *et al.*, 1995). In addition, abuse in their utilization may cause great environmental damage such as aquifer and surface water pollution and emissions of NO to the atmosphere (Matson *et al.*, 1998), and reduced soil microbial activity (Bolton *et al.*, 1985; Eivazi & Tatabai, 1990; Nannipieri *et al.*, 1990). Therefore, suitable fertilization is crucial for obtaining adequate yields and profit, as well as for minimizing the deleterious effects of agricultural activity.

Soil quality has been defined as “the capability of soil to produce safe and nutritious crops in a sustained manner over the long-run and to enhance human and animal health, without impairing the natural resource base or adversely affecting the environment” (Parr *et al.*, 1992). Soil quality depends on a large number of physical, chemical, biological and biochemical properties (Jiménez *et al.*, 2002). Among these, the activity of different soil enzymes have been proposed as key indicators of soil quality as they: i) integrate information about the state of the microbial population and about the physico-chemical conditions of soil (Aon *et al.*, 2001); ii) respond rapidly to changes in soil management (Dick *et al.*, 1996); and iii) are accurate, reproducible, and easy to measure (Riffaldi *et al.*, 2002). Numerous studies have detected biological activity response due to different types of amendments and fertilizers applied to the soil (Bolton *et al.*, 1985; Bandick & Dick, 1999; Caravaca *et al.*, 2002; Marinari *et al.*, 2006). Most of these proved that enzyme activity is stimulated by organic fertilizers, as they provide not only organic matter to be degraded by microorganisms, but also, new microbes that will remain in the soil (Marinari *et al.*, 2006).

The study of the effects of the kind of fertilizer on soil biochemical properties and on crop yield is, therefore, crucial in order to provide guidelines for achieving sustainable oats production. The amount of cereal grown organically in Spain has dramatically increased in the last decade (MAPA, 2008). However, little comparative research between organic and mineral fertilization has been published related to yield, economic costs, and soil response in semiarid Mediterranean environments.

The north of Granada province (SE Spain) is a semiarid region with low rainfall, extreme temperatures (high maximum temperatures and low minimum temperatures), where almonds, cereal, and sheep (Segureña breed) are the main types of farming. Most of the cereal, mainly oats and barley, is grown for sheep feeding, and lambs are sold for meat.

In this work we study the effect of irrigation and of the type of fertilizer (organic and mineral) applied to an oat crop on: 1) yield and weed incidence; 2) activity of soil enzymes, (in this case, only the effect of fertilizer was studied); and 3) production costs and profitability.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. STUDY SITE

The study was conducted on a farm in Huéscar, in the north of Granada province, SE Spain (990 m a. s. l., UTM coordinates: 30S 535799 4192415). The farm has 150 ha of cereals, and about 600 sheep (Segureña breed) for lamb production. The forage obtained is used for sheep feeding at the farm.

This area is characterized by a semiarid continental Mediterranean climate with mean annual rainfall of 481 mm and mean temperature of 13°C. Figure 1 shows rainfall and mean temperature during the study and the historical values. Rainfall during the study were high for 2004 (578 mm) and very low for 2005 (219 mm).

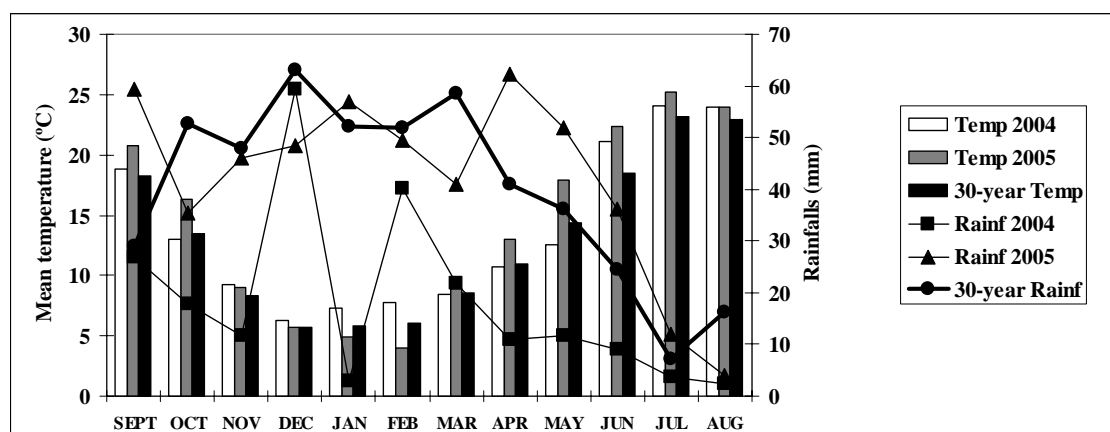


Figure 1. Mean temperature and rainfalls during 2004 and 2005. Temp: mean monthly temperature. Rainf: total monthly rainfall.

2.2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experiment was performed during two growing seasons, 2004 and 2005, in two different adjacent plots for each year with the same type of soil. The experimental plot used in 2004 had been fertilized in 2003 with 30 t ha⁻¹ of sheep manure. During that year it was left fallow and it was grazed weekly by a sheep flock. The plot used in 2005 was also treated with 30 t ha⁻¹ of sheep manure in autumn 2003 and was left fallow during 2004.

The experimental layout was a split-plot where the main plot and subplot treatments were irrigation and fertilization, respectively. Each subplot was 3 x 40 m, there

being four randomly distributed replicates per subplot treatment within each main plot. The experimental factor irrigation consisted of two different treatments:

- Rainfed: no irrigation was applied,
- Irrigated: one single sprinkling irrigation of $165 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ was applied on May 15.

The experimental factor fertilizer included the following treatments:

- NPK1: 125 kg ha^{-1} of mineral fertilizer.
- NPK2: 250 kg ha^{-1} of mineral fertilizer.
- FYM1: $15\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ of sheep manure after four weeks of maturation.
- FYM2: $30\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ of sheep manure after four weeks of maturation.
- Control: no fertilizer was applied.

Mineral fertilizer was a complex solid fertilizer including 15% NH_4NO_3 , 15% P_2O_5 and 15% K_2O . The sheep manure was collected from the sheep shelters at the farm. The composition was: 2.27% total N, 0.55% total P and 0.56% total K. NPK2 and FYM2 corresponded to the usual dose applied by farmers in the area, and, correspondingly, NPK1 and FYM1 were half of this usual dose. The manure and the fertilizers were applied before seeding. No pesticides or fungicides were applied for any treatment combination, as no pests or diseases affect oats crop in the area.

The seeding dates for oats were February 14 (first growing season) and October 4 (second growing season). The seeding date depended on the weather conditions and on the arrangement the schedule for the different activities of the farm. The seeding rate was 100 kg ha^{-1} .

2.3. STUDY VARIABLES

2.3.1. Oats yield and weed incidence

For both years, oats were harvested on around July 15 when the crop was completely dried.

Oats yield (grain and straw) was estimated by hand-clipping plant forage biomass within five randomly selected 0.25 m^2 quadrants. Each forage sample was oven dried at 60°C to constant weight to determine dry weight. Averaged data were extrapolated to one hectare.

Three of the clipped forage samples from each subplot were used to determine weed biomass and species composition, by hand separation.

2.3.2. Soil enzyme activities

On April 5, 2005, before irrigation application, soil sampling was carried out. Composite soil samples were randomly collected from the top 20 cm depth of soil on each plot. Soil samples were screened at field moisture through a 2 mm sieve and homogenized. One hundred grams of soil from each sample was kept in a hermetic jar at field moisture and stored at 4°C for the biochemical analysis. The activity of the following enzymes was measured: dehydrogenase, arylsulfatase, β -glucosidase and phosphatase.

Dehydrogenase activity was determined by the method proposed by García *et al.* (1997). One gram of soil with moisture content at 60% of the field water holding capacity was treated with 0.2 ml of 0.4% INT (2-*p*-iodophenyl-3-*p*-nitrophenyl-5 phenyltetrazolium chloride) in distilled water at 22°C for 20 h in darkness. The INTF (iodonitrotetrazolium formazan) formed was extracted with 10 ml of a mixture of 1:1.5 ethylene chloride/acetone by shaking vigorously. INTF was measured spectrophotometrically at 490 nm.

Phosphatase activity: 2 ml of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 ml of 0.115 M *p*-nitrophenyl phosphate (PNPP) were added to 0.5 g of soil and incubated at 37°C for 2 h. Afterwards, 0.5 ml of 0.5 M CaCl₂ and 2 ml of 0.5 M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. The amount of *p*-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm (Nannipieri *et al.*, 1982).

β -glucosidase activity: 2 ml of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 ml of 50 mM *p*-nitrophenyl- β -D-glucopyranoside (PNG) were added to 0.5 g of soil. Then, the same procedure for determining phosphatase activity was followed (Nannipieri *et al.*, 1982).

Arylsulfatase activity: 4 ml of 0.5 M (pH 5.8) and 1 ml 20 mM *p*-nitrophenyl sulfate were added to 2 g of soil and incubated at 20°C for 2 h. Then 1 ml of 0.5 M CaCl₂ and 2 ml of 1M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. Once again, the amount of *p*-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm (Elsgaard *et al.*, 2002).

2.3.3. Production costs

The production costs were divided between crop production and lamb production. The crop production costs of the different management systems, expressed as € ha⁻¹ were calculated by summing the cost of machinery, inputs (seeds, fuel, fertilizer, and irrigation) and human labor (Table 1). The total cost of machinery was calculated by considering the total hourly operating cost thereof, which was obtained by summing the fixed costs (depreciation, interest paid on loans for investment, cost of storage, insurance, taxes and management) and the variable costs (annual repair and maintenance operations, lubricant consumption), without considering fuel consumption. The costs for inputs was determined by recording their application rates and the hours of labor and pricing them according to the five-year average in the current market. The data are site-specific, yet are representative of this production system.

At the farm, the mean stocking rates for cereal crops are 2.1 sheep ha⁻¹, under rainfed conditions, and 6.6 under irrigation. The mean stocking rate is calculated according to the carrying capacity that the average yield (grain+straw) for rainfed and irrigated conditions at the farm (2000 kg ha⁻¹ and 5300 kg ha⁻¹, respectively) are able to maintain. Carrying capacity, i.e., the number of animals that could be fed per forage hectare, was determined following the methodology proposed by Robles (1990) and Robles *et al.* (2009).

Metabolizable energy (ME) of fodder was estimated for each treatment combination by using the digestible organic matter (DOM) content and *in vitro* digestibility of the organic matter (IVOMD), as proposed by ARC (1980):

$$\text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} = \text{DOM (g kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{IVOMD (\%)} \cdot 19 \text{ (kJ g}^{-1}\text{)} \cdot 0.82 \cdot 10^{-5}$$

Previous studies, showed that IVOMD was 40% for the same variety of oats on the same farm (Ramos *et al.*, unpublished).

Available metabolizable energy (AME) of each forage type was calculated by multiplying ME by forage yield (FY):

$$\text{AME (MJ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)} = \text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{FY (kg DM ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)}$$

Average daily energy requirements (ADER) of sheep are 13.26 MJ AU⁻¹day⁻¹ (Robles *et al.*, 2009). Year carrying capacity (YCC) was estimated by dividing AME by ADER, and by 365,

$YCC \text{ (AU ha}^{-1} \text{ year}^{-1}) = AME \text{ (MJ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}) \cdot ADER^{-1} \text{ (MJ AU}^{-1}\text{day}^{-1}) \cdot 365^{-1} \text{ (days year}^{-1}\text{)}.$

The number of lambs per hectare was calculated by multiplying the mean stocking rate by the offspring per ewe in this area (1.5 lambs year⁻¹). The lamb production costs were calculated by summing the sheep veterinary expenses, the cost of feed for lamb fattening and the costs of hauling manure from the sheep shelters (including machinery and human labor), calculated in € ha⁻¹, according to the mean stocking rate. The profit (net incomes) was calculated by summing the economic value of lambs (according to the mean stocking rate) and the economic value of the cereal derived surplus (CDS), corresponding to the average yield in rainfed and irrigated conditions, and subtracting the total production costs:

$$NI = LI \pm CDS - PC$$

where *NI* (€ ha⁻¹) represents net income, *LI* (€ ha⁻¹) lamb income, *CDS* (€ ha⁻¹) the cereal derived surplus and *PC* (€ ha⁻¹) the production costs.

Lambs incomes were 210 € ha⁻¹ and 660 € ha⁻¹ under rainfed and irrigated conditions respectively. In this area, the low demand and lack of price regulation, force organic farmers to sell organic lambs at the same price as conventional lambs. CDS is calculated by the following formula according to the economic value of organic and conventional cereal for farmyard manure (FYM) and mineral fertilizer respectively:

$$CDS = (EGY - AGY) \cdot GMP + (ESY - ASY) \cdot SMP$$

where *EGY* is the experiment grain yield for the specific year, *AGY* is the average grain yield at the farm, *GMP* is the grain market price, *ESY* is the experiment straw yield for the specific year, *ASY* is the average straw yield at the farm, *SMP* is the straw market price.

Subsidies are not included in this study.

Sistemas agrosilvopastorales en el sudeste ibérico: una alternativa sostenible a los monocultivos leñosos

Table 1. Production costs (€ ha⁻¹) of different management practices of oat crops. I: Irrigated; R: Rainfed; NPK : Mineral fertilizer (NPK2; 250 kg ha⁻¹, NPK1: 125 kg ha⁻¹); FYM: Farmyard Manure (FYM2: 30,000 kg ha⁻¹, FYM1: 15,000 kg ha⁻¹); C: Control (no fertilizer).

	R-NPK2	R-NPK1	R-FYM2	R-FYM1	R-C	I-NPK2	I-NPK1	I-FYM2	I-FYM1	I-C
CROP COSTS										
Machinery										
Chisel plough	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31	4.31
Disc plough	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9
Drill	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
Manure spreader	0	0	8.79	8.79	0	0	0	8.79	8.79	0
Fertilizer spreader	5.19	5.19	0	0	0	5.19	5.19	0	0	
Harvester	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Sprinklers	0	0	0	0	0	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Fuel (Diesel)	36.4	32.9	36.4	32.9	22.3	36.4	32.9	36.4	32.9	22.3
Seeds	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Fertilizer										
Mineral	60	30	0	0	0	60	30	0	0	0
Manure	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Irrigation										
Pump costs	0	0	0	0	0	16.91	16.91	16.91	16.91	16.91
Water costs	0	0	0	0	0	123.50	123.50	123.50	123.50	123.50
Human labor	59.0	59.0	81.2	81.2	55.0	95.7	95.7	118.0	118.0	91.8

Table 1. (continuation)

	R-NPK2	R-NPK1	R-FYM2	R-FYM1	R-C	I-NPK2	I-NPK1	I-FYM2	I-FYM1	I-C
LAMB COSTS										
Veterinary costs	21	21	21	21	21	66	66	66	66	66
Lamb fattening	42.5	42.5	42.5	42.5	42.5	133.7	133.7	133.7	133.7	133.7
Manure hauling										
Front loader	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7
Fuel (Diesel)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.56	1.56	1.56	1.56	1.56
Human labor	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	17.3	17.3	17.3	17.3	17.3
TOTAL COSTS	343	310	309	306	260	673	639	639	635	590

2.4. STATISTICAL ANALYSIS

A two-way ANOVA for repeated measures according to the split-plot design was performed to analyze the effects of irrigation and fertilizer on percentage of weeds and oats yield for the first year. For the second year, oats yield was analyzed with a Kruskal-Wallis test, by considering all the possible combinations of treatments, as the assumptions to perform an ANOVA were not met (Levene and Kolmogorov-Smirnov tests). The activity of each of the enzymes were analyzed by a one-way ANOVA. Tukey-HSD and Nemenyi tests were used as post hoc test for ANOVA and Kruskal-Wallis, respectively (Zar, 2006). All the analysis were performed by the statistical software SPSS v. 17.0.

3. RESULTS

3.1. OATS YIELD AND WEED INCIDENCE

In 2004, there were significant differences for the irrigation factor (F -value: 5.494, d.f.: 1, p -value: 0.03), all fertilizer treatments pooled together, oats yield being higher in irrigated than in the rainfed treatment (Table 2). Nevertheless, when comparing all treatment combinations, no significant differences were detected (p -value > 0.05, Tukey-HSD test). Despite no statistically significant differences being detected according to the kind of fertilizer (F -value: 0.6004, d.f.: 4, p -value: 0.66), both for irrigated and for rainfed, NPK2 had the highest values, while C had the lowest (Table 2). The interaction for these factors was not significant (F -value: 0.0933, d.f.: 4, p -value: 0.98).

In 2005, oats yield was much lower than for the previous year (Table 2) and it was notably higher for treatments under irrigation than treatments under rainfed conditions (H -value: 32.527, d.f.: 9, p -value: 0.0002), except for irrigated C, which showed similar values to rainfed NPK2. There were no significant differences between the types of fertilizer treatment either for irrigation or rainfed conditions, but oats yield showed the highest mean values for NPK2 and the lowest for control.

Table 2. Oats yield (grain+straw) \pm standard error in 2004 and 2005 under different kinds of fertilizer and irrigation regimes. NPK : Mineral fertilizer (NPK2; 250 kg ha⁻¹, NPK1: 125 kg ha⁻¹); FYM: Farmyard Manure (FYM2: 30,000 kg ha⁻¹, FYM1: 15,000 kg ha⁻¹); C: Control (no fertilizer). Different letters indicate significant differences among treatment combinations within one year (Nemenyi test, $p < 0.05$).

Fertilizer	2004		2005	
	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated
NPK2	8808 \pm 1785	9893 \pm 777	1880 \pm 206bc	4940 \pm 557a
NPK1	8103 \pm 849	9404 \pm 403	1650 \pm 200c	4630 \pm 326a
FYM2	8570 \pm 1049	9440 \pm 326	1358 \pm 147c	4410 \pm 1020a
FYM1	7660 \pm 619	9315 \pm 855	1270 \pm 105c	4630 \pm 374a
C	7135 \pm 682	8954 \pm 885	1160 \pm 244c	2950 \pm 168ab

The percentage of weeds ranged between 1.4 and 4.1%; and between 2.1 and 4.8% in 2004 and 2005 respectively, with no significant differences among treatments for either of the years (p -value $>$ 0.06 in every case).

3.2. SOIL ENZYME ACTIVITIES

The soil sampling was performed in 2005 and before irrigating (see Materials and Methods), therefore, the irrigation factor was not included in the analysis.

The results showed that FYM2 promoted the activity of every enzyme, except of the arylsulfatase, which did not exhibit differences between treatments (Table 3). FYM1 had intermediate values for dehydrogenase and phosphatase treatments (Table 3). The latter was notably lower in NPK1 and NPK2. Finally, NPK1 had intermediate values for β -glucosidase.

Table 3. Soil enzyme activities with oats crop under different kinds of fertilizer. NPK : Mineral fertilizer (NPK2; 250 kg ha⁻¹, NPK1: 125 kg ha⁻¹); FYM: Farmyard Manure (FYM2: 30,000 kg ha⁻¹, FYM1: 15,000 kg ha⁻¹); C: Control (no fertilizer).

Treatment	Dehydrogenase	β -glucosidase	Phosphatase	Arylsulfatase
NPK2	2.51±0.12 ^b	546±32 ^b	360±37 ^b	9.9±1.57
NPK1	2.38±0.05 ^b	574±29 ^{ab}	390±33 ^b	11±0.66
FYM2	3.07±0.15 ^a	660±28 ^a	532±27 ^a	12±1.41
FYM1	2.65±0.06 ^{ab}	513±14 ^b	437±32 ^{ab}	9.7±1.27
C	2.35±0.11 ^b	505±18 ^b	437±36 ^{ab}	8.2±1.35
F-value (d.f.:4)	7.213	6.114	3.8674	1.0724
p-value	0.0005	0.0014	0.014	0.39

Different letters indicate significant differences among treatments within each variable (Tukey-HSD test, $p < 0.05$).

3.3. PROFITABILITY

The cereal derived surplus (CDS) according to the average yield for irrigated or rainfed conditions is shown in Table 4. In 2004, CDS ranged from 480 to 1090.6 € ha⁻¹ (Table 4). Greater incomes were obtained for FYM treatments, and even for C, with respect to mineral fertilization. On the contrary, in 2005, the low yields obtained at the farm, resulted in a negative CDS for most treatments except for NPK2 rainfed (Table 4). In 2004, FYM2 showed the highest CDS and NPK1, the lowest; whereas in 2005, FYM1 or FYM2 had the most negative, i.e., the lowest CDS and NPK2 resulted in a small positive CDS. Irrigation decreased the CDS with respect to the rainfed conditions, in both years.

The net incomes from lamb production (Table 5) were positive and high in 2004, while they were negative in 2005 for every treatment. In 2004, the profits were greater under rainfed than under irrigated conditions, whereas in 2005 greater losses, about double, are registered under rainfed than under irrigation. In 2004, the profit decreased in the following order, under both rainfed and irrigated conditions: FYM2>FYM1>C>NPK2 >NPK1. In 2005 under rainfed conditions, NPK1 resulted in the lowest losses, while FYM1 had the highest losses; whereas under irrigation, NPK2 and FYM2 had the lowest and the highest losses respectively.

Table 4. Cereal derived surplus (positive, € ha⁻¹) and cereal derived deficit (negative, € ha⁻¹) in 2004 and 2005 under different kinds of fertilizer and irrigation regimes. NPK : Mineral fertilizer (NPK2; 250 kg ha⁻¹, NPK1: 125 kg ha⁻¹); FYM: Farmyard Manure (FYM2: 30,000 kg ha⁻¹, FYM1: 15,000 kg ha⁻¹); C: Control (no fertilizer).

Fertilizer	2004		2005	
	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated
NPK2	816.5	537.5	3.1	-49.5
NPK1	733.6	480.0	-27.4	-90.5
FYM2	1090.6	669.3	-89.2	-161.5
FYM1	942.7	649.0	-104.8	-122.4
C	857.4	590.3	-124.3	-421.2

Table 5. Net incomes (€ ha⁻¹) from lamb production in 2004 and 2005 under different kinds of fertilizer and irrigation regimes of oats. Mineral fertilizer (NPK2; 250 kg ha⁻¹, NPK1: 125 kg ha⁻¹); FYM: Farmyard Manure (FYM2: 30,000 kg ha⁻¹, FYM1: 15,000 kg ha⁻¹); C: Control (no fertilizer).

Fertilizer	2004		2005	
	Rainfed	Irrigated	Rainfed	Irrigated
NPK2	683.1	524.6	-130.3	-62.3
NPK1	633.7	500.7	-127.2	-69.8
FYM2	991.3	690.6	-188.5	-140.3
FYM1	847.0	673.9	-200.5	-97.6
C	807.3	660.7	-174.5	-350.8

4. DISCUSSION

4.1. OATS YIELD

Our results show that water stress is the main constraining factor for oats yield, coinciding with other authors' findings (Martin *et al.*, 2001; Araus *et al.*, 2003). The dramatic response in oats yield to precipitation is reflected, on the one hand by the great differences between 2004 (above average rainfall) and 2005 (below average rainfall); and on the other hand, by the response to a single irrigation, which proved especially effective in the driest year (2005). The greatest rainfall amount and the irrigation process occurred

during the anthesis and the filling of the grain, which is considered the stage of greatest susceptibility to drought for oats (Schrickel, 1986; Martin *et al.*, 2001). The kind of fertilizer did not result in significant differences among treatments, and similar yields were obtained even without any addition of fertilizer. Klepper *et al.* (1977) also found similar yields when comparing organically fertilized with minerally fertilized oats. Nevertheless, a trend in yield can be observed in which NPK2 obtained the highest yields while C resulted in the lowest yields. In 2004, yields in C plots were about 80% of NPK2 yields; while in 2005, yields in C plots were 60% of NPK2 yields. This suggests that soil fertility in 2004 plots was high, due to their previous management (frequent grazing, manuring and rotations).

4.2. SOIL ENZYME ACTIVITIES

Farmyard manure provides not only organic matter (OM) and most of the macro and micronutrients required by plants (Loveland & Webb, 2003) but also microbes and enzymes (Marinari *et al.*, 2006). Additionally, the increase in OM can influence many soil properties such as water retention and infiltration, microbial activity, soil bulk density, and aggregate stability (Tisdall & Oades, 1979; Cannell & Hawes, 1994; Gregorich *et al.*, 1994; García *et al.*, 2002; Loveland & Webb, 2003). Our results show that the soil enzyme activity was boosted when the organic fertilizer was applied, especially for the highest dose (FYM2). This is in agreement with the findings of many authors (Bolton *et al.*, 1985; Fauci & Dick, 1994; Benítez *et al.*, 2006), who detected that soils with organic amendments have greater and more active microbial populations than those of soils treated with mineral fertilizers.

Dehydrogenase plays an essential role in the initial oxidation of the organic matter (Ross, 1971; Dick *et al.*, 1998). In our study, FYM2 showed the greatest activity, while FYM1 had intermediate values, due to the greater OM input of these treatments with respect to C, NPK1 and NPK2 (Pascual *et al.*, 2000). Coinciding with these findings, Marinari *et al.* (2000) obtained greater values of dehydrogenase activity for a crop that was fertilized with manure, respect to another crop which was minerally fertilized.

β -glucosidase is an enzyme that acts in the last step of cellulose degradation by hydrolyzing low molecular weight carbohydrates into sugars (β -D-glucose), which are the energetic resource for microorganisms (Jiménez de Ridder & Bonmatí, 2003). Sheep manure favored β -glucosidase activity, probably through the greater cellulosic material

contribution. Many authors have, similarly, found a positive correlation between the soil organic C content and β -glucosidase activity (Eivazi & Tatabai, 1990; Jiménez *et al.*, 2002; Bastida *et al.*, 2006).

Phosphatase is involved in the hydrolysis of organic and inorganic phosphorus compounds so that they become available to plants (García *et al.*, 1994). This enzyme is regulated by feedback from the product; therefore, phosphate inhibits its synthesis (Bandick & Dick, 1999). Our results are in agreement with this statement, as the addition of mineral phosphorus inhibited phosphatase activity; it being lowest for NPK2 and NPK1, highest for FYM2, and intermediate for FYM1 and C. Various authors have demonstrated that, on the one hand, organic amendments increase phosphatase activity (Bolton *et al.*, 1985; Benítez *et al.*, 2006); and, on the other hand, mineral fertilizers inhibit its activity or even suppress the enzyme synthesis by the microorganisms (Bandick & Dick, 1999, Nannipieri *et al.*, 1990).

Arylsulfatase takes part in the S cycle, catalyzing the hydrolysis of aromatic esters of phenols and sulfates (Elsgaard *et al.*, 2002). In our study no differences in this enzyme were detected due to the different kinds of fertilizer.

4.3. PROFITABILITY

The total costs for an average year (see Materials and Methods, Table 1) differed between irrigated and rainfed conditions, and among fertilizer treatments. Irrigation almost doubled the production costs of rainfed crops, due to the water and pump costs and to the increased human labor. In the case of fertilizer regimes, C showed the lowest production costs, while NPK2 corresponded to the highest. In contrast, Araji *et al.* (2001) warned of the increment in costs when using animal manures as an alternative to mineral fertilizer, due to higher hauling and application costs (Fulhage, 1997), as manure is a bulky and low-grade fertilizer (nutrient contents are only 10–20% of those of most commercial fertilizers). However, as manure was produced on-farm, it was considered a by-product of lamb production, and therefore, hauling costs were incorporated into lamb production costs and the organic fertilizer was considered free. Overall, in our study, the cost of using the mineral fertilizer was higher than the increment in the application costs when using FYM. Furthermore, manure provides both macro and micronutrients to crops for several years (Eghball *et al.*, 2002), and probably, at least in one subsequent growing season advantageous yields would be obtained without any extra amendment or fertilizer,

resulting, therefore, in a decrease in production costs. Further studies would be necessary to prove this statement under our experimental conditions.

Additionally, according to the average stocking rate, revenues from lamb production are lower than production costs (see Materials and Methods) for almost every treatment under rainfed conditions, except C, and NPK2 under irrigation. This fact highlights the necessity of subsidies for agriculture in developed countries, especially, when low yields are frequent.

When considering the CDS and net incomes, high differences are found between years, and, also, among treatments. Firstly, the higher yields in 2004 resulted in large CDS, especially from the organically fertilized plots (FYM2 and FYM1) due to the advantageous prices of organic oats. However, the low yields in 2005 did not fulfill the sheep feeding requirements, except for rainfed NPK2, and therefore, cereal had to be bought in for on-farm use. In this case, the higher prices of organic oats increased the feeding costs with respect to the conventional oats (NPK1 and NPK2), shown in the higher deficits. Unfertilized plots (C) had a CDS intermediate between organic and mineral fertilizer, in 2004. However, in 2005 the C treatment resulted in the lowest CDS. The high surplus in the C treatment in this first year can be attributed to the probable higher fertility of plots in 2004 together with the favorable rainfall. Irrigation resulted in a relatively lower surplus in 2004 and a higher deficit in 2005. This is attributable to the fact that despite greater yields being obtained, the increment was not sufficient for the greater stocking rate that were expected to be supported by the irrigated plots.

Net incomes in 2004 were higher for rainfed than irrigated plots, and the organically fertilized plots exhibited the higher values than the minerally fertilized plots. The low production costs of FYM2 together with the high CDS are responsible for this advantageous net income. On the contrary, in 2005, net incomes were negative for every treatment, with organic fertilizer being lower than mineral fertilizer, mainly because of the negative CDS. Additionally, in this year, irrigation reduced the deficit with respect to rainfed conditions, due to the increased forage yield..

5. CONCLUSIONS

Our results confirm that in Mediterranean semiarid environments the main constraining factor for crop yields is water. Yield was not significantly different among fertilizer treatments, although crop yields were highest under NPK2 and lowest for the C. Nevertheless, the organic fertilizer (FYM1 and FYM2) showed greater soil biological activity than the mineral fertilizer.

Production costs are higher or very similar to lamb production profits for an average year, therefore, subsidies are required for the maintenance of agricultural activity. High profits were obtained in the rainy year through sale of forage, especially under the organic management, but low profitability and losses occurred in the dry year, which were relatively higher under the organic management. It is worth noting, however, that for the farmyard manure regime the increase in profits in the good year was of a greater magnitude than the extra losses in the dry year, with the implication that on average it could be beneficial to adopt organic management in this area and this merits investigation with longer studies. Irrigation reduced the losses in the dry year, but also reduced the profits in the rainy year.

In conclusion, organic oats cropping in this semiarid areas may be a sustainable practice in terms of yield, soil quality and profitability, furthermore, irrigation in dry years may increase net incomes.

6. ACKNOWLEDGMENTS

We thank the staff of the “Finca Los Morales”, Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada) for lending the experimental plots and helping with the field labor, Dr. Emilio Benítez and Dr. Rogelio Nogales for providing the laboratory materials for the enzyme activity analysis, and Juan Andrés Cardoso for his assistance in collecting field samples and in the laboratory.

This work has been financed by Desarrollo Agrario y Pesquero (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía) through the project 92.162, and a FPU-MECD grant to M.E. Ramos.

7. REFERENCES

- Agricultural Research Council (ARC). 1980. *The nutrient requirements of ruminants livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal.
- Aon, M. A., Cabello, M. N., Sarena, D. E., Colaneri, A. C., Franco, M. G., Burgos, J. L., & Cortassa, S. 2001. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *Applied Soil Ecology* 18: 239-254.
- Araji, A. A., Abdo, Z. O., & Joyce P. 2001. Efficient use of animal manure on cropland-economic analysis. *Bioresource Technology* 79: 179-191.
- Araus, J. L., Borti, J., Steduto, P., Villegas, D., & Royo, C. 2003. Breeding cereals for Mediterranean conditions: ecophysiological clues for biotechnology application. *Annals of Applied Biology* 142: 129-141.
- Bandick, A. K. & Dick, P. D. 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1471-1479.
- Bastida, F., Moreno, J. L., Hernández, T., & García C. 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 3463-3473.
- Benítez, E., Nogales, R., Campos, M., & Ruano, F. 2006. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. *Applied Soil Ecology* 32: 221-231.
- Bolton, H., Elliot, L. F., Papendick, R. I., & Bezdicek D. F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology an Biochemistry* 17: 297-302.
- Caballero, R., Goicoechea, E. L., & Hernaiz, P. J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research* 41: 135-140.
- Cannell, R. Q., & Hawes, J. D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil & Tillage Research* 30: 245-282.

- Caravaca, F., Garcia, C., Hernández, M. T., & Roldán, A. 2002. Aggregate stability changes after organic amendment and mycorrhizal inoculation in the afforestation of a semiarid site with *Pinus halepensis*. *Applied Soil Ecology* 19: 199-208.
- Connor, D. J. & Loomis, R. S. 1991. Strategies and tactics for water-limited agricultura in low rainfall Mediterranean climates. In: *Improvement and management of winter cereals under temperature, drought and salinity stresses.*, eds. E. Acevedo, E. Fereres, C. Giménez & J. P. Srivastava, 441-465. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- Dick, R. P. Breakwell, D. P., & Turco, R. F. 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: *Methods for assessing soil quality*, ed. J. W. Doran & A. J. Jones, 247-271. Madison, Winsconsin (USA): Soil Science Society of America.
- Dick, R. P., Myrold, D. D., & Kerle, E. A. 1998. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted rehabilitated skid trail soils. *Soil Science Society American Journal* 52: 512-516.
- Domínguez-Vivancos, A. 1997. *Tratado de fertilización*. Madrid: Mundiprensa.
- Droushiotis, D.N. 1985. Effect of variety and harvesting stage on forage production of vetch in a low rainfall environment. *Field Crops Research* 10: 49-55.
- Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E., & Eigenberg, R. A. 2002. Mineralization of manure nutrients. *Journal of Soil and Water Conservation* 57: 470-473.
- Eivazi, F. & Tatabai, M. A. 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biology & Biochemistry* 22: 891-897.
- Elsgaard, L., Andersen, G. H., & Eriksen, J. 2002. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 79-82.
- Fauci, M. F., & Dick R. P. 1994. Soil microbial dynamics: short and long-term effects of inorganic and organic nitrogen. *Soil Science Society American Journal* 58: 801-806.

- Fulhage C. D. 1997. Manure management considerations for expanding dairy herds. *Journal of Dairy Science* 80: 1872-1879.
- García, C., Hernández, T., & Costa, F. 1994. Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biology & Biochemistry* 26: 1185-1191.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., & Albadalejo, J. 1997. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced devegetation. *Journal of Environmental Quality* 26: 1116-1122.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., & Martín, A. 2002. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 635-642.
- Gliessman S. R. 1998. *Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture*. Chelsea (USA): Ann Arbor Press.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., & Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 74: 367-385.
- Jiménez de Ridder, P. & Bonmatí Pont, M., 2003. Determinación de la actividad β -glucosidasa del suelo. In: *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*, eds. C. García, F. Gil, T. Hernández, & C. Trasar. 172-183. Madrid: Mundiprensa.
- Jiménez, M. P., de la Horra, A. M., Pruzzo, L., & Palma, R. M. 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biology & Fertility in Soils* 35: 302-306.
- Klepper, R., Lockeretz, W., Commoner, B., Gertler, M., Fast, S., O'Leary, D., & Blobaum, R. 1977. Economic Performance and Energy Intensiveness on Organic and Conventional Farms in the Corn Belt: A Preliminary Comparison. *American Journal of Agricultural Economics* 59: 1-12.
- Lampkin, N. 1998. *Agricultura ecológica*. Madrid: Ediciones Mundiprensa.

- Le Houérou, H. N. 1993. Grazing lands of the Mediterranean Basin. In: *Natural grasslands: Eastern Hemisphere and resume*, ed. R. T. Coupland, 171-196. Amsterdam: Elsevier.
- Loveland, P. & Webb, J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil and Tillage Research* 70:1-18.
- MAPA, 2008. *Estadísticas 2008. Agricultura Ecológica- España*. Accessed at <http://www.mapa.es/alimentacion/pags/ecologica/pdf/2008.pdf>
- Martin, R.J., Jamieson, P. D., Gillespie R. N. & Maley, S. 2001. Effect of timing and intensity of drought on the yield of oats (*Avena sativa* L.). *Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference*. www.regional.org.au/au/asa/2001/1/b/martin.htm
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Conti, C. & Bianchi, D. 1982. Hydrolases extracted from soil: their properties and activities. *Soil Biology & Biochemistry* 14: 257-263.
- Nannipieri, P., Grego, S. & Ceccanti, B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: *Soil Biochemistry*, eds. J. M. Bollag, & G. Stotzky, 293-355. New York: Marel Dekker.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. 2000. Influence of organic and mineral fertilisers on soil biological and physical properties. *Bioresource Technology* 72: 9-17.
- Marinari, S., Masciandaro, G., Ceccanti, B., & Grego, S. 2006. Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: A comparison between organic and mineral fertilization. *Bioresource Technology* 98: 2495-2502.
- Matson, P. A., Naylor, R., & Ortiz-Monasterio I. 1998. Integration of environmental, agronomic, and economic aspects of fertilizer management. *Science* 280: 112-115.
- Parr, J.F., Papendick, R. I., Hornick, S. B., & Meyer, R.E. 1992. Soil quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agricultura. *American Journal of Alternative Agriculture* 7, 5-11.

- Pascual, J. A., García C., Hernández T., Moreno J. L., & Ros, M. 2000. Soil microbial activity as biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 1877-1883.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1123
- Riffaldi, R., Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., & Cardelli, R. 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil & Tillage Research* 67, 109-114.
- Robles, A. B. 1990. *Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido del sureste ibérico*. PhD thesis, Granada (Spain): Universidad de Granada.
- Robles, A. B., Ruiz-Mirazo, J., Ramos, M. E., & González-Rebollar, J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. In: *Advances in Agroforestry in Europe*. Current status and future prospects, eds. A. Rigueiro-Rodríguez, J. McAdam & M. R. Mosquera-Losada, 211-231. Amsterdam: Springer.
- Ross D. J. 1971. Some factors influencing the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture. *Soil Biology & Biochemistry* 3: 97-110.
- Schricket, D.J. 1986. Oats production, value, and use. In: *Oats. Chemistry and Technology*, ed. F. H. Webster, 1-11. Minnesota (USA): American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Tisdall, J.M. & Oades, J.M. 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research* 17, 429-441.
- Zar, J.H. 2006. *Biostatistical analysis*. New Jersey (USA): Prentice-Hall.

CAPÍTULO 4: OATS AND OAT-VETCH AS RAINFED FODDER-COVER CROPS IN SEMIARID ENVIRONMENTS. EFFECTS OF FERTILIZATION AND HARVEST TIME ON FORAGE YIELD AND QUALITY

Autores: Ramos M.E.^{a*}, Altieri M.A.^c, García P.A.^b, Robles A.B.^a

^aEstación Experimental del Zaidín (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) C/ Profesor Albareda, 1 E-18008 Granada, Spain.

Phone number: +34658487888

^bDpto. de Estadística e Investigación Operativa. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. C/ Fuentenueva, s/n. 18071. Granada, Spain

^cDepartment of Environmental Science, Policy and Management. University of California, 137 Mulford Hall, Berkeley (CA), USA

* eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: en revision

Revista: Journal of Sustainable Agriculture

ABSTRACT

We evaluated the forage yield and quality, species composition, and carrying capacity of oats and oat-vetch as fodder-cover crops, grown in almond orchards, under mineral or organic fertilizer and three harvesting regimes (“grazing”, “hay”, and “grain plus straw”). Also, we show preliminary results of almond yield. Differences in yield due to mineral and organic fertilization were only 9%. The carrying capacity was similar for all treatments. The almond yield was greater when the cover crop was removed early as “grazing”. Therefore, oats and oat-vetch could be used as cover-crops in almond orchards if removed early by livestock grazing.

Key words: almond orchard, carrying capacity, cereals, legumes, Mediterranean semiarid environments

Abbreviations used: ADER: average daily energy requirements, ADF: acid detergent fibre, ADFN: cell-wall-attached nitrogen, ADL: acid detergent lignin, AME: available metabolizable energy, CP: crude protein, DM: dry matter, DOM: digestible organic matter, FY: forage yield, G: grazing, GS: grain plus straw, H: hay, IVOMD: in vitro organic matter digestibility, ME: metabolizable energy, NDF: neutral detergent fibre, OM: organic matter, YCC: year carrying capacity.

1. INTRODUCTION

In south-eastern Spain, sheep husbandry together with almond, olive, and cereal cropping are the most important rain-fed agricultural practices. This area is characterized by a semiarid Mediterranean climate, in which rainfall is low and erratic. This constrains forage and pasture production for livestock feeding, and therefore farmers need to adopt management practices to take advantage of the winter rains, such as autumn sowing of annual forage species (Francia *et al.*, 2006). Traditionally, winter cereals and legumes have been used for forage production under rain-fed conditions throughout the entire Mediterranean region (Lithourgidis *et al.*, 2006; Francia *et al.*, 2006; Dhima *et al.*, 2007). Cereals, while usually more productive than legumes in this climate due to higher resistance to drought and cold (Droushiotis 1989), produce low-protein forage. On the other hand, legumes offer greater digestibility and protein content although they generally produce lower yields (Lithourgidis *et al.*, 2006).

The intercropping of cereals and legumes has been a common system in rain-fed areas (Dhima *et al.*, 2007). Cereal and legume mixtures present many advantages such as, increased feeding value, higher yields than pure stands of legumes (Droushiotis 1989), improved growth conditions and forage harvesting (Lithourgidis *et al.*, 2006), favoured weed control (Dhima *et al.*, 2007), greater soil fertility through nitrogen fixation and therefore lower fertilizer requirements (Assefa & Ledin 2001). Forage yield and quality of mixtures depends on the species composition and/or proportion and the phenology at harvesting time (Droushiotis 1985; Roberts *et al.*, 1989). Overyielding in mixtures of cereals and legumes may occur when competition between species is lower than between members of the same species (Osman & Nersoyan, 1986; Caballero *et al.*, 1995). Both yield and quality determine the number of livestock a specific crop can support, i.e. its carrying capacity. Therefore, for forage production a compromise between yield and quality must be achieved.

Fertilizers play an important role in maintaining and enhancing soil productivity (Yang *et al.*, 2006). Some studies have shown that long-term use of chemical fertilizers may degrade soil structure and the productive capacity of the soil, and cause serious environmental damage to water, air, and soil (Yang *et al.*, 2006). On the contrary, manure improves soil physical properties (Meek *et al.*, 1982) and provides a stable supply of both macro- and micronutrients (Yang *et al.*, 2006), that are slowly released. Although some

studies report a decrease in yield of some crops when using organic rather than mineral fertilization (Contreras *et al.*, 2002; Yang *et al.*, 2006), others show that organic fertilization provides similar or advantageous yields respect to mineral fertilization (Fabeiro *et al.*, 2002; Guzmán *et al.*, 2002; Pardo *et al.*, 2002).

Oats (*Avena sativa* L.) and common vetch (*Vicia sativa* L.) are rainfed crops widely used as feedstuff for livestock in semiarid regions of the Mediterranean basin (Droushiotis 1985; Caballero *et al.*, 1996). Both species are well adapted to dry and cold conditions, although their forage yield is highly dependent on rainfall. Common vetch is an annual legume with climbing growth habit and high protein levels (Caballero *et al.*, 1995), which is extensively used in intercropping with cereals. Oats provide support for the common vetch, improve light interception and facilitate mechanical harvesting (Caballero *et al.*, 1995). Either as pure stands or as mixtures, both species are also commonly used as cover crops or green manure in orchards for soil protection.

Many studies on fodder yield and quality of oats and vetches can be found in the literature (Alibes & Tisserand 1990; Assefa & Ledin 2001; Lithourgidis *et al.*, 2006; Tuna & Orak 2007). However, a few comparative studies are available on the effect of different harvesting times and different kinds of fertilizers on fodder yield and quality of oats and vetches in semiarid environments.

Soil losses from erosion in orchards in Andalusia (S Spain) have been estimated to average some 80 t ha⁻¹ year⁻¹ (López-Cuervo 1990), and therefore protective practices such as cover cropping are encouraged by the government. In the north of Granada province (SE Spain), most of the almond orchards are rainfed and frequently tilled to avoid weed competition. Despite that this is one of the main crops in the area, almost every year, spring frost damages blossoms and immature almonds. Therefore, only once every 4 or 5 years do farmers have a profitable almond yield. In this context, the introduction of oats and vetches into the almond orchards, as double purpose crops, i.e. fodder and cover crops, could be a sustainable alternative for farmers in this area.

In the present study, we compare oats and oat-vetch under organic and mineral fertilization regimes and three different harvesting times (grazing, mid-May; hay, early June; and grain plus straw, mid-July). The performance of the different management systems was determined by estimating: 1) forage yield, 2) species composition, 3) fodder quality: chemical composition, and *in vitro* digestibility, 4) carrying capacity, and 5) effects

of the different management regimes on almond yield (for this, we show preliminary results).

2. METHODS

2.1. STUDY SITE

The study was conducted in Huéscar (northern part of Granada province, SE Spain, UTM coordinates: 305-535799.04-4192415.19, and 990 m a.s.l.), where almond, cereal, and sheep (Segureña breed) are the main farming components. Trials were performed in a hypercalcic calcisol soil (FAO 2006), with a slope of roughly 2%.

The climate in this area is continental semiarid Mediterranean, with mean temperature of 13°C and rainfall of 481 mm. Figure 1 provides maximum and minimum temperatures and rainfall during the experiment.

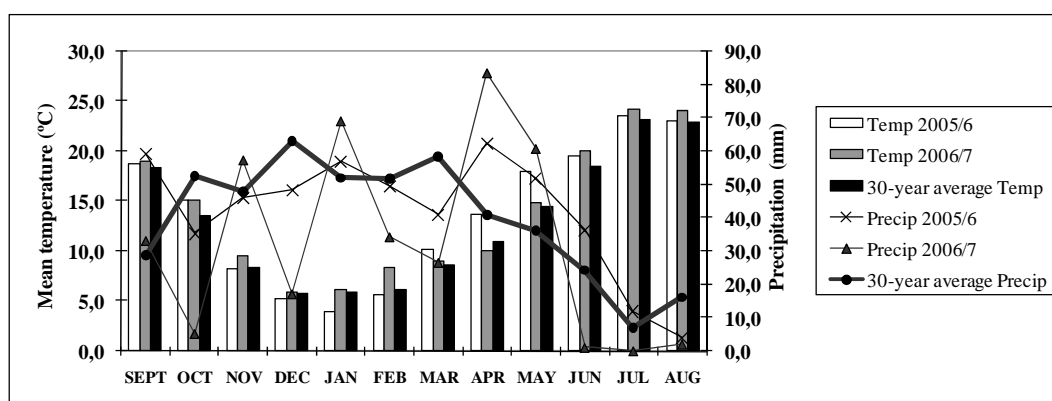


Figure 1. Mean temperatures and precipitation during the two years of the experiment, and 30 year-average.

2.2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experiment was performed over two growing seasons (2006 and 2007) in a 30-year-old almond orchard (*Prunus dulcis* (Miller) cv Verdiere) where tree spacing was 7 m x 14 m. The trials were conducted with two crops: pure oats and a mixture of oats and vetch. Two different fertilizers (organic and mineral) and three different harvesting times (grazing, hay, and grain-straw) were compared within each mixture.

Prior to the establishment of the plots, the entire experimental area was ploughed and disked to create a suitable seedbed. Soil samples from each experimental unit (sub-subplot) were analysed (OM, P, N, K, and biological parameters) in order to test their homogeneity.

The experimental layout was a split-split-plot design in which the main factor was the type of crop, the secondary factor was the harvest timing and the tertiary factor was the type of fertilizer, with three replicates of each sub-subplot treatment within each subplot.

For the first year of the experiment, each main plot covered 1.5 ha and crops were seeded on 24 January 2006, with oat (seeding rate: 150 kg ha⁻¹) and oat-vetch (seeding rate: 150 kg ha⁻¹, rate 3:1) in 10-m-wide rows leaving a 2 m space from the trunk. The main plots were divided into three subplots and randomly assigned to be “grazing” (G), “hay” (H) or “grain-straw” (GS). “Grazing” consisted of a 3-h grazing period for 2 days with 382 sheep in mid May, in early prebloom for oat and in early bloom in vetch. “Hay” consisted of mowing the crop 10 cm above ground in early June when vetch was in full bloom-early seed and oat grain was in the milky stage. “Grain-straw” consisted of the harvest of grain and straw (vetch and oat in seed) at 5 cm above ground mid July. Each subplot was divided into six sub-subplots of 196 m², which were randomly assigned to be organic or mineral (three for each treatment). Quantities of fertilizer for both years (1500 kg ha⁻¹ and 250 kg ha⁻¹, for organic and mineral, respectively) were chosen following the common practices applied by farmers in the region. The organic fertilizer was a commercial fertilizer (Ecomañán®) composed of a mixture of turf and ovine manure containing 4.62% N (total N), 1.24% P (total P), and 1.46% K (total K). The mineral fertilizer was composed of 8% N (NH₄NO₃), 24% P (P₂O₅), and 8% K (K₂O).

Every subplot contained four almond trees arranged in one row in the middle of the plot.

For the second year, the experiment was set in a similar adjacent almond orchard to the previous one with similar soil type and slope. The experimental lay out was the same as the one above, except for the sowing date, which was 10 March 2007 and the oat-vetch ratio was 1:3 instead of 3:1, due to owners decision, as a low vetch proportion was found in the first year.

2.3 MEASURED VARIABLES

2.3.1. Forage yield

Forage yield of oats and oat-vetch was estimated by hand-clipping plant forage biomass within 6 randomly selected 0.25 m² quadrats in each sub-subplot before applying the assigned harvesting treatments. Three homogenised sub-samples of forage of similar weight from each plot were oven dried at 60°C to constant weight to determine dry weight. Averaged data was extrapolated to one hectare. These dry samples were used to determine the chemical composition and *in vitro* digestibility of the forage.

2.3.2. Weed biomass and species composition

Three of the clipped forage samples from each sub-subplot were used to determine weed biomass and species composition, by hand separation. Dry weight was determined for each species.

2.3.3. Chemical composition

Chemical composition was determined only for samples from the first year of the experiment, as samples from the second year were destroyed by accident, and therefore, no analysis could be carried out.

Dry oven samples (one pooled sample per sub-subplot) were used to determine the chemical composition. The samples were ground with a Wiley mill to pass a 1-mm screen and analysed for quality components. The dry-matter (DM) content of the forage was determined by drying to a constant weight in a forced-air oven at 103 ±1°C, prior to milling. Organic matter (OM) was calculated from the ash content, determined by ashing in a muffle furnace for 3 h at 550°C. Total N was determined using the Kjeldahl method and crude protein (CP) was calculated by multiplying the N content by 6.25 (AOAC 1995). Cell-wall-attached N (ADFN) was determined from residues of acid-detergent extraction. Only for this parameter, one composite sample for each combination of treatments (3 sub-subplots samples pooled) was used; therefore, no statistical analysis could be made. Neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL) analyses were performed as ash-free fractions by the sequential procedure of van Soest *et al.* (1991) using the ANKOM200/220 fibre analyser (ANKOM corporation® Technology Fairport, NY).

2.3.4. *In vitro* digestibility

In vitro digestibility was determined only for samples from the first year of the experiment. As above, mentioned, samples from the second year were destroyed.

A composite sample for each combination of treatments (3 sub-subplot samples pooled) was used to determine the *in vitro* digestibility. The *in vitro* DM and OM digestibility (IVDMD and IVOMD, respectively) of the samples was determined according to the procedure described by Tilley and Terry (1963) using the Ankom (1998) technology (only data from IVOMD are shown). Rumen inoculum was drawn from goats ("Granadina breed") 2 h after feeding and strained through two layers of cheesecloth under anaerobic conditions. The animals were fed alfalfa hay at a maintenance energy level (Prieto *et al.*, 1990). Goats and sheep show equal capacities of digestion of medium- to good-quality diets and therefore extrapolations of feed evaluations from goat to sheep are valid (Molina *et al.*, 2000).

The samples were ground to pass a 1mm screen. Approximately 0.5 g (± 0.05 g) were weighed in filter bags (Ankom® Corp. # F57), and sealed with a heat sealer. The bags were incubated in the bottles of a Daisy® digester with a buffer solution (McDougall, 1948) and inoculum filtered (4:1 (v/v)) for 48 h at $39 \pm 1^\circ\text{C}$ with stirring. The microbial activity was stopped after 48 h by the addition of 50 ml of a 5% HgCl₂ solution, and the bags were incubated again in a pepsin-HCl solution for 48 h at $39 \pm 1^\circ\text{C}$ with agitation (Martín *et al.*, 2003).

2.3.5. Carrying capacity

Carrying capacity was determined only for the first year of the experiment following the methodology proposed by Robles (1990) and Robles *et al.* (2009).

Metabolizable energy (ME) of fodder was estimated for each treatment combination by using the digestible organic matter (DOM) content and *in vitro* digestibility of the organic matter (IVOMD), as proposed by ARC (1980):

$$\text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} = \text{DOM (g kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{IVOMD (\%)} \cdot 19 \text{ (kJg}^{-1}\text{)} \cdot 0.82 \cdot 10^{-5}$$

Available metabolizable energy (AME) of each forage was calculated by multiplying ME by forage yield (FY):

$$\text{AME (MJ ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)} = \text{ME (MJ kg}^{-1}\text{DM)} \cdot \text{FY (kg DM ha}^{-1}\text{ year}^{-1}\text{)}$$

Average daily energy requirements (ADER) of sheep are 13.26 MJ AU⁻¹day⁻¹ (Robles *et al.*, 2009). Year carrying capacity (YCC) was estimated by dividing AME by ADER, and by 365,

$$YCC \text{ (AU ha}^{-1} \text{ year}^{-1}) = \text{AME (MJ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}) \cdot \text{ADER}^{-1} \text{ (MJ AU}^{-1}\text{day}^{-1}) \cdot 365^{-1} \text{ (days year}^{-1}).$$

2.3.6. Almond yield

Almond yield for each treatment combination was estimated only for the second year by weighing almond production, after removal of pericarp, for every tree within a plot (four trees per plot). Averaged results for each plot were extrapolated to one hectare, according to tree spacing.

2.4. STATISTICAL ANALYSIS

Data were analysed using the GLM Repeated Measures procedure of SPSS v.12.0. Levene and Kolmogorov-Smirnov tests were applied to check homoscedasticity and normality, respectively, to ensure that assumptions of the model were met. No data transformation was needed for this study. Effects of the kind of crop, fertilizer treatment, and harvesting regimes for each variable were determined by a three-way ANOVA for the split-split-plot design. For “vetch proportion”, a two-way ANOVA was carried out, since this variable was measured only for the oat-vetch crop. Tukey-HSD test were performed for *post hoc* comparisons between levels within each factor considered and among treatment combinations.

3. RESULTS

3.1. FORAGE YIELD

In 2006, both the type of fertilizer and the harvest timing affected the forage yield (F -value = 15.282, d.f. = 1, p -value = 0.017; and F -value = 87.638, d.f. = 2, $p < 0.0001$, respectively), while no effects were detected due to the kind of crop (Fig. 2), and no interaction was found among factors. Mean forage yield was higher for mineral than for organic fertilizer. Forage yield was also higher for GS, than H, which was higher than G (Fig. 2).

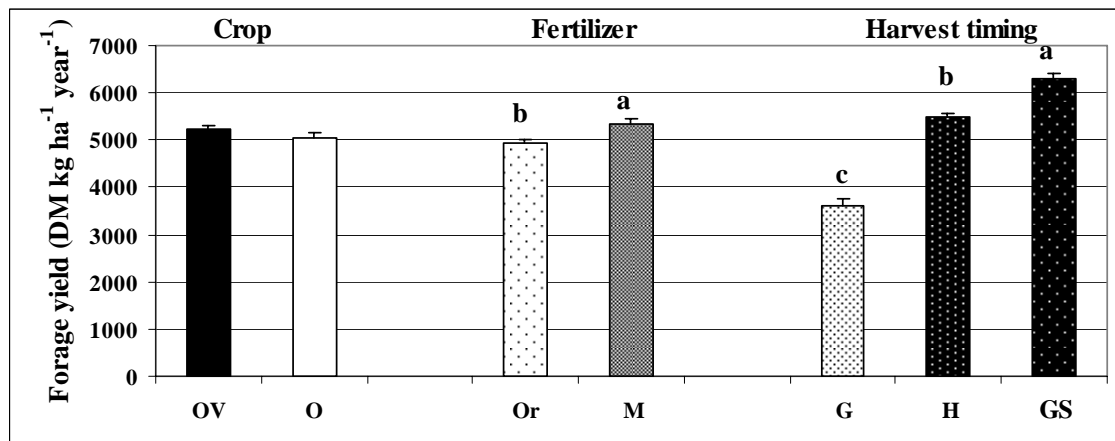


Figure 2. Mean forage yield + standard error for two cover crops under two different fertilizer and three different harvest times in 2006. O: oats, OV: oat-vetch, Or: organic, M: mineral, G: grazing, H: hay, GS: grain-straw. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ within each factor (Tukey-HSD test).

In 2007, the type of crop showed significant differences among treatments, but no interaction was found among factors (Fig. 3). Oat-vetch had higher forage yield than oats (F -value = 6.255, d.f. = 1, p -value = 0.02). GS was greater than H and G, but differences were not statistically significant (F -value = 3.329, d.f. = 2, p -value = 0.055) (Fig 3). Forage yield was similar for mineral and organic fertilizer.

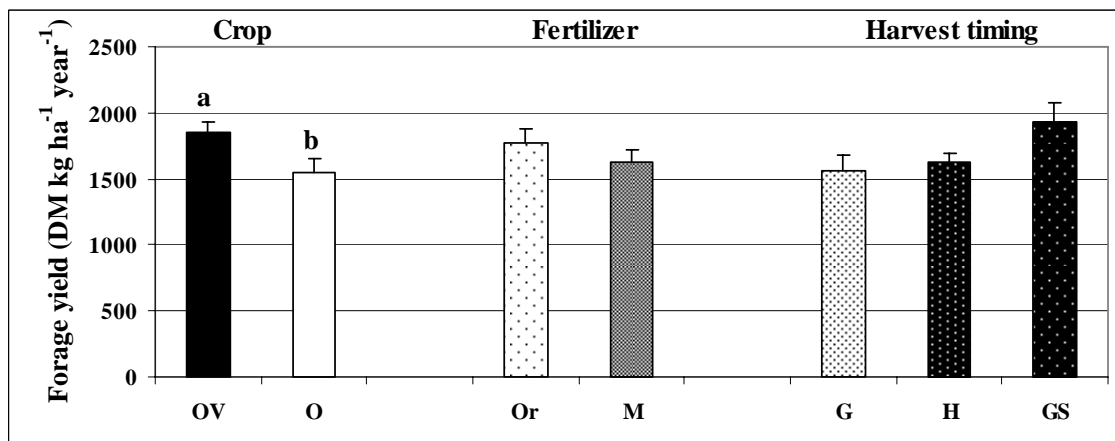


Figure 3. Mean forage yield + standard error for two cover crops under two different fertilizers and three different harvest times in 2007. O: oats, OV: oat-vetch, Or: organic, M: mineral, G: grazing, H: hay, GS: grain-straw. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ (Tukey-HSD test).

Table 1 lists the mean values for each treatment combination, for 2006 and 2007.

Table 1. Mean forage yield + standard error for two cover crops under two different fertilizers and three different harvest times in 2006 and 2007. G: grazing, H: hay, GS: grain-straw.

Year		Oats		Oat-vetch	
		Mineral	Organic	Mineral	Organic
2006	G	3772±46	3595±213	3298±235	3796±213
	H	5484±250	5060±111	6280±71	5149±227
	GS	6776±309	5649±216	6538±282	6271±11
2007	G	1178±51	1367±51	1633±196	1707±88
	H	1470±104	1412±118	1840±93	2023±156
	GS	1829±389	1953±376	1902±80	2045±274

3.2. DRY-WEIGHT PERCENTAGE OF VETCH

In 2006, significant differences were found among treatments for harvesting time (F -value = 33.079, d.f. = 2, p -value = 0.003), kind of fertilizer (F -value = 58.892, d.f. = 1, p -value = 0.017), and the interaction for both factors (F -value = 24.453, d.f. = 2, p = 0.006). The mean dry-weight percentage of vetch was much higher for G than for H and GS (Table 2). Mineral fertilizer produced a greater dry-weight percentage of vetch than organic, but only for the G harvesting time were significant differences (Table 2).

In 2007, harvesting time showed significant differences among treatments (F -value = 18.282, d.f. = 2, p -value < 0.001), while no effect due to the fertilizer was detected (F -value = 0.597, d.f. = 1, p -value = 0.46), neither the interaction between factors (F -value = 2.590, d.f. = 2, p -value = 0.12). For mineral fertilizer, G had a higher vetch proportion than GS (Table 2).

Table 2. Mean dry-weight percentage (%) + standard error of vetch in the oat- vetch crop under different fertilizers and harvest times. G: grazing, H: hay, GS: grain-straw.

	2006		2007	
	Mineral	Organic	Mineral	Organic
G	30±3.3 ^{a*}	15.6±1.8 ^a	80±2.4 ^a	69±2.1
H	9.8± 1.3 ^b	7.7±1.6 ^b	64±5.4 ^{ab}	61±3.6
GS	6.3± 0.67 ^b	6.7±0.90 ^b	45±6.2 ^b	53±4.6

Different letters indicate differences within one column, while asterisks (*) signify differences within one row (Tukey-HSD test, $p < 0.05$), in the same year.

3.3. WEED PERCENTAGE

In 2006, weed biomass varied between 0.49 and 5.8% of the total biomass with no significant differences among treatments for any factor. The floristic richness ranged from 0 to 4 species per sub-subplot with no statistical differences among treatments. The most abundant species was *Vaccaria pyramidata* Medik., followed by *Papaver rhoeas* L. and *Roemeria hybrida* (L.) DC.

In 2007, the weed percentage was between 0.6 and 4.6 % of the total biomass with small but significant differences (F -value = 18.543, d.f. = 1, p -value < 0.001) between oat-vetch and oats (3.04% and 1.30%, respectively). There were from 0 to 9 different species per sub-subplot with no significant differences among treatments. The predominant species were *Vaccaria pyramidata* Medik. and *Galium aparine* L. followed by *Vicia ervilia* (L.) Willd. (which was cultivated in the farm and was introduced by means of livestock grazing) and *Caucalis platycarpos* L. Shannon index did not show differences among treatments and it ranged from (0.18 to 0.65).

3.3. CHEMICAL COMPOSITION

The chemical composition was analysed only for samples from 2006 (see Materials and Methods), and therefore only data from this year are shown in this paper.

Mean results for dry matter (DM), organic matter (OM), and crude protein (CP) are given in Table 3. DM showed significant differences due to the kind of crop and harvest

timing but there was no interaction among factors (Table 3). No effect related to fertilizer was detected.

Also, OM showed moderate but significantly higher values for oats than oat-vetch and also higher values for mineral than for organic fertilizer (Table 3). In addition, OM increased in GS and H respect to G (Table 3).

With all isolated factors considered, oat-vetch gave higher CP levels than oat; mineral fertilizer showed a slight increase in CP, whereas G was the highest followed by H and then by GS (Table 3). However, all possible interactions were significant (Tables 3). Table 4 shows that the combination oat-vetch/mineral/G had the highest CP content, while any of the combinations including GS had the lowest values.

The cell-wall-attached N (ADFN) values were low but were apparently higher for oat-vetch than for oats (Table 3), except for the G treatment. GS seemed to be higher than H, which apparently was higher than G, except for the oat/mineral combination of treatments (Table 4).

The carbohydrate fractions, i.e., neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF) and acid detergent lignin (ADL) are shown in Table 3. All factors pooled, NDF showed a modest but significant increase when mineral fertilizer was applied. In addition, GS had a higher content in NDF than H, which was higher than G (Table 3). All the interactions for NDF were significant (Table 3) and the combination oat-vetch/mineral/GS had the highest NDF content (Table 4)

The harvest timing resulted in significant differences in the ADF, and G showed lower values than did H or GS (Table 3 and 4).

Oat-vetch had a higher acid detergent lignin (ADL) content than did oats, and G was greater than H and GS (Table 3).

Table 3. Mean values + standard error of dry matter (DM, g 100g⁻¹ fresh matter), organic matter (OM, g kg⁻¹DM), crude protein (CP, g kg⁻¹DM) and cell-wall-attached nitrogen (ADFN, g kg⁻¹ total N), neutral detergent fibre (NDF, g kg⁻¹ DM), acid detergent fibre (ADF, g kg⁻¹ DM), and acid detergent lignin (ADL, g kg⁻¹ DM) for oat and oat-vetch with two kinds of fertilizer and three different harvest times. G: grazing, H: hay, GS: grain-straw; N.A.: Not available; N.S.: Not significant.

Factor	DM	OM	CP	ADFN	NDF	ADF	ADL
Crop (C)							
Oats	50±7.2 ^a	852±4.3 ^a	75±2.4 ^b	5.08	512±18	266±12	21±2.4 ^b
Oat-vetch	49±7.3 ^b	828±5.3 ^b	94±6.8 ^a	5.66	502±22	263±12	26±2.2 ^a
F-value (d.f = 1)	11.519	200.726	479.058	N.A.	1.737	0.138	59.067
p-value	0.027	< 0.0001	< 0.0001	N.A.	0.258	0.729	0.002
Fertilizer (F)							
Organic	49±7.2	834±5.3 ^b	82±3.7 ^b	5.35	501±18 ^b	263±12	23±2.6
Mineral	49±7.2	846±5.5 ^a	88±6.9 ^a	5.83	512±22 ^a	266±12	24±2.1
F-value (d.f = 1)	0.264	107.503	26.917	N.A.	12.750	1.916	3.862
p-value	0.634	< 0.0001	0.007	N.A.	0.023	0.239	0.121
Harvesting (H)							
G	25±0.28 ^c	818±8.1 ^b	102±8.6 ^a	4.01	401±5.7 ^c	201±2.2 ^b	11±1.4 ^b
H	32±0.41 ^b	850±1.8 ^a	88±1.5 ^b	4.98	540±11 ^b	292±6.4 ^a	29±1.2 ^a
GS	91±0.38 ^a	851±3.7 ^a	64±1.2 ^c	7.12	580±10 ^a	301±5.6 ^a	30±0.82 ^a
F-value (d.f = 2)	4999.988	259.225	363.915	N.A.	406.183	194.256	275.547
p-value	< 0.0001	< 0.0001	< 0.0001	N.A.	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Interactions							
C x F	N.S.	N.S.	p = 0.005	N.A.	p = 0.023	N.S.	N.S.
C x H	N.S.	p = 0.011	p < 0.0001	N.A.	p = 0.005	N.S.	N.S.
F x H	N.S.	p = 0.004	p = 0.002	N.A.	p = 0.011	N.S.	p = 0.040
C x F x H	N.S.	p = 0.018	p = 0.002	N.A.	p = 0.015	p = 0.040	NS

Different letters indicate differences within one column and one factor (Tukey-HSD test, $p < 0.05$). No statistical analysis was made for ADFN (see Materials and Methods).

Table 4. Mean results±standard error for treatment combinations for crude protein (CP, g kg⁻¹ DM), cell-wall-attached nitrogen (ADFN, g kg⁻¹ total N), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), and acid detergent lignin (ADL) G: grazing, H: hay, GS: grain-straw.

		Oats		Oat-vetch	
		Mineral	Organic	Mineral	Organic
CP	G	77±1.2 ^b	78±0.61 ^b	147±1.5 ^{a**}	105±0.58 ^{a*}
	H	85±3.7 ^a	85±0.87 ^a	89±0.64 ^b	95±0.72 ^{b*}
	GS	62±4.2 ^c	63±1.1 ^c	66±2.4 ^c	64±1.6 ^c
ADFN	G	47.3	37.5	41.7	33.9
	H	42.8	51.8	50.2	54.3
	GS	67.8	57.5	71.2	88.3
NDF	G	426±3.5 ^{b**}	395±7.2 ^{b**/*}	376±3.6 ^{c*}	405±2.7 ^{c**/*}
	H	574±6.6 ^{a*}	570±12 ^{a*}	498±7.4 ^b	518±4.0 ^b
	GS	570±15 ^{a**/*}	536±9.0 ^{a*}	632±3.5 ^{a***}	583±14.8 ^{a**}
ADF	G	207±3.1 ^b	193±5.3 ^b	199±2.7 ^c	205±2.3 ^b
	H	306±3.6 ^{a**}	309±13 ^{a**}	263±6.7 ^{b*}	289±3.5 ^{a**/*}
	GS	295±9.6 ^{a**/*}	283±12 ^{a*}	326±2.3 ^{a**}	300±7.3 ^{a**}
ADL	G	7.5±1.0 ^b	6.2±0.82 ^b	18±0.60 ^{b*}	11±0.60 ^b
	H	28±2.0 ^{a**/*}	27±0.21 ^{a*}	28±1.09 ^{a*}	34±2.70 ^{a**}
	GS	29±0.32 ^a	28±0.86 ^a	34±0.49 ^a	32±1.4 ^a

Different letters indicate significant differences within one column and variable, while asterisks (*) show differences within a row (Tukey-HSD test, $p < 0.05$). No statistical analysis was made for ADFN (see Materials and Methods).

3.5. IN VITRO DIGESTIBILITY AND CARRYING CAPACITY

The values of *in vitro* organic matter digestibility (IVOMD) given were calculated for one single composite sample per treatment combination and no statistical analysis was possible. Nevertheless, IVOMD was highest for G, intermediate for H, and lowest for GS (Table 5). There were not apparent differences in digestibility between oats and oat-vetch, except for hay, which appeared to have higher digestibility for oat-vetch than for oats (Table 5). Fertilization had no effects on digestibility, except for H, and in both kind of crops was higher for mineral than for organic.

As the carrying capacity was calculated from IVOMD, no statistical analysis could be made. Although no clear differences were detected, oat-vetch/mineral/H, seemed to be higher than the rest of treatments (Table 5). On the other hand, mineral fertilizer seemed to provide higher carrying capacity in oats, especially for GS and H (Table 5), but these differences were not very clear.

Table 5. Values of IVOMD (%) and carrying capacity (sheep ha-1 year-1) for one pooled sample for oats and oat-vetch with two kinds of fertilizer and three different harvesting times. G: grazing, H: hay, GS: grain-straw.

		Oats		Oat-vetch	
		Mineral	Organic	Mineral	Organic
IVOMD	G	78.8	81.2	79.8	81.9
	H	59.9	50.4	68.7	57.8
	GS	41.0	39.9	42.5	43.5
CC	GS	7.8	6.2	7.6	7.3
	H	9.0	7.0	11.8	8.1
	G	8.2	7.6	6.8	7.7

3.6. ALMOND YIELD

Almond yield did not show differences due to the kind of crop or the kind of fertilizer (F -value = 0.8978, d.f.= 1, p -value = 0.35; and F -value = 1,1868, d.f.= 1, p -value = 0.28, respectively) , however, the harvesting time did affect almond yield (F -value = 4.8129, d.f. = 2, p -value = 0-018). G treatment was greater than H and GS (Figure 4). There were no interactions among treatments.

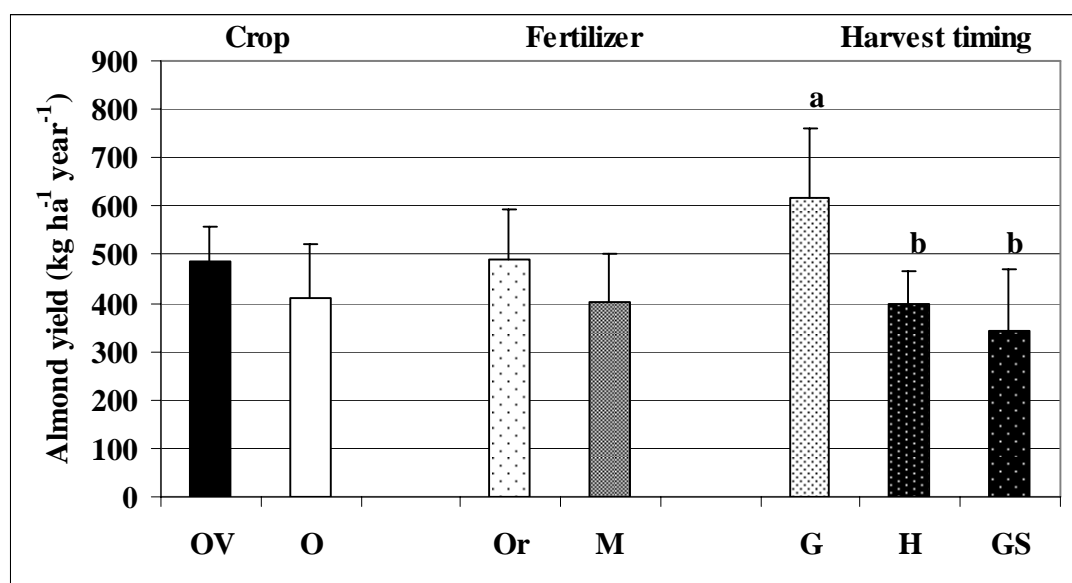


Figure 4. Mean values ($\text{kg ha}^{-1}\text{year}^{-1}$) + standard error of almond yield under two cover crops (oats and oat-vetch) with two kinds of fertilizer and three different harvest times. O: oats, OV: oat-vetch, Or: organic, M: mineral, G: grazing, H: hay, GS: grain-straw. Different letters indicate significant differences at $p < 0.05$ within each factor (Tukey-HSD test)

4. DISCUSSION

This study shows that yield and nutritive value are affected mainly by the forage maturity stages (harvesting time), but also by the kind of crop and by the type of fertilizer. High forage yield and good quality characteristics for animal nutrition can be achieved from the mixture of oat-vetch, which combines high forage yield and better quality characteristics than does the oat monoculture, especially when mineral fertilization was used and the crop was harvested as hay.

Our results demonstrate that the oat-vetch mixture, with a very low proportion of vetch, had similar yields to those of pure oats. Comparable results were found by Assefa & Ledin (2001) and Tuna & Orak (2007), who used the same oat: vetch ratio. Nevertheless, in the second year of the experiment, despite of the lower oat:vetch ratio the oat-vetch mixture outyielded the monocrop of oat, which contradicts most other studies (Droushiotis 1989; Caballero *et al.*, 1995; Lithourgidis *et al.*, 2006) where oat monocultures had a significant advantage over oat-vetch mixtures, but agrees with (Osman & Nersoyan 1986). In 2006, mineral fertilizer gave 8.7 % higher forage yield than the organic fertilizer, while in 2007, organic fertilizer resulted in a yield that was 9% higher than that of mineral fertilizer, although no significant differences were detected. In

2006, differences in harvest times and, therefore, in phenological states were clearly responsible for higher forage yields for GS, lower for G and intermediate for H. In 2007, forage yield was much lower than in 2006, probably due to the delayed seeding date in 2007, to the drier conditions during the seeding date, and to the lower temperatures in April (see Figure 1). Low rainfalls during June may also be responsible for the similarity among the yields for the three harvesting regimes, since the absence of rainfalls induced a slow, and almost null, development of the crop from mid May.

The low proportion of vetch in the oat-vetch treatment in 2006 was consistent with the low seeding rate of this species and the high competitive effect of oats over vetch (Willey & Rao 1980; Assefa & Ledin 2001; Lithourgidis *et al.*, 2006). A higher percentage of vetch was found for G than for the other harvesting times, this presumably due to the better performance of vetch when oats are still in the vegetative state and when competition for sunlight and nutrients is lower. Also, we found that mineral fertilizer favoured vetch biomass in the G treatment, probably due to the higher content in P provided by the mineral fertiliser, as legumes boost biomass production with increasing P levels (Barea *et al.*, 1989). In 2007, there was a greater proportion of vetch in the oat-vetch treatment due to the higher seeding rate. The vetch proportion declined with maturity, G being higher than GS, as found in 2006, although only for the mineral fertilizer was the result statistically significant.

Weed incidence, diversity and composition have been reported as a quality indicator of long-term agronomical practices (Bàrberi *et al.*, 1997). In our study, very low weed incidence for all treatments and years was found. Differences in 2007 among oats and oat-vetch in weed percentage were statistically, but not agriculturally, significant. Moreover, no differences in weed diversity were found among treatments, but, probably a much longer temporal framework is needed to detect the weed response.

Forage quality is determined mainly by the crude-protein content, fibre quality and content, and OM digestibility (Caballero *et al.*, 1995; Assefa & Ledin 2001; Lithourgidis *et al.*, 2006). Improvement of the quality of oat-vetch mixtures in terms of high CP and IVOMD and lower NDF in this study was attributed to the presence of vetch (Assefa & Ledin 2001).

In our study, different forage maturity stages resulted in different CP contents as suggested in the literature (Roberts *et al.*, 1989; Alibes & Tisserand 1990; George & Bell

2001). For oats, the lowest CP value corresponds to GS while the highest CP content is found at the milky stage (H). For oat-vetch, the higher vetch proportion in G treatment was probably responsible for higher CP contents than in the other treatments. Castro & Piñeiro (1998), Castro *et al.* (2000) and Lithourgidis *et al.* (2006) reported that the CP content increases with greater legume proportion in the mixtures. Also, we found that CP is strongly correlated with the vetch proportion ($R^2 = 0.841$). On the other hand, CP declines in legumes when they start to dry out (Papanastasis & Papachristou 2000), and this is shown by the similar values between oat and oat-vetch obtained for H and GS. The proportion of N attached to the acid detergent fibre (ADFN), which is undegradable and undigestible, was low, as expected for these kinds of forages (Fall-Toure & Michalet-Doreau 1995). On the other hand, ADFN increased with maturity, as reported by Sanderson and Wedin (1990) for high-quality forages.

Fibre content was related to fodder digestibility, that is, the lower the fibre content, the higher the digestibility. An increase in NDF, ADF and ADL was detected with the stage of maturity and GS was higher than G for all the carbohydrate fractions. NDF had a higher value for oats/H than for oat-vetch/H, in agreement with other studies (Caballero *et al.*, 1995; Castro *et al.*, 2000; Assefa & Ledin 2001). Mineral fertilizer also produced higher NDF for oat-vetch, coinciding with findings of Givens *et al.*, (2004). In addition, the lignin content (ADL) was higher in oat-vetch than in oats. These differences in the ADL concentration may be due to the composition of cell walls of dicots, such as vetch, which contain more lignin than do the cell walls of cereals (Carpita & McCann 2000).

The quality of most forage species progressively declines as plants mature from the vegetative stage through the reproductive stages, this being confirmed by the digestibility values (Dear *et al.*, 2005). Higher NDF, ADF and ADL content in GS may explain digestibility values more than two times higher (Assefa & Ledin 2001) for G (from 78.8 to 81.9) than for GS (from 39.9 to 43.5). We also found higher digestibility values for oat-vetch mixtures than for pure oats, as also reported by Dear *et al.* (2005).

Despite having the highest forage yield, GS registered a carrying capacity which was no higher than the other harvesting times (H and G). This was because GS had the lowest digestibility values, which counterbalanced the forage-yield contribution. Therefore, the decision of applying one kind of harvesting regime or another should be established by farmers, according to the forage requirements for each period. On the

other hand, oat-vetch/mineral/hay exhibited the highest carrying capacity values, due to the combination of a high yield (6280.03 kg ha⁻¹, see Table 1) and a high IVOMD (68.7%, see Table 7).

Although, it was not possible to determine forage quality for the second year, it is widely reported in the literature that an increase in the vetch proportion would provide an increase in forage quality through the increase of CP and digestibility and the decrease of NDF (Roberts *et al.*, 1989; Caballero *et al.*, 1995; Haddad & Huseim, 2001; Lithourgidis *et al.*, 2006).

Higher almond yields for G respect with to H and GS were probably due to lower competition of the cover crops over the almond trees. Many studies report a decrease in fruit yield in orchards under cover crops (authors in Haynes 1980), due to water and nutrient competition. In semiarid environments, water is one of the main constraints for fruit production; therefore, early removal of the cover crop seems to produce positive effects on almond yield. These are only preliminary results as no final conclusions can be drawn for one single study year of almond production.

5. CONCLUSIONS

Based on the results of this study, oats and oat-vetch are proposed as dual-purpose crops: fodder and cover crops. For fodder crops, high forage yields and high nutritional quality are necessary. Therefore, oat-vetch mixtures have proved as better fodder crops than oats alone, due to advantageous forage yield as well as a higher nutritive value. An increase in vetch proportion provided higher yields, but also higher protein content has been extensively demonstrated to occur.

Similar yields resulted with regard the two kinds of fertilizer. However, mineral fertilizer increased the proportion of vetch and resulted in higher crude protein for oat-vetch, but only in the early stages.

The carrying capacity of the fodder did not show great differences due to the harvest time, thus, decision of harvesting as grazing, hay or grain-straw may be determined by farmer's forage requirements in each period.

Finally, oats and oat-vetch could be used as cover-crops in almond orchards if removed early, for example, by livestock grazing, reducing competition between the crop

and the orchard. Nevertheless, for years with severe frosts and expectable low almond yield, farmers might benefit from storing fodder for feeding gaps during the year, and in this case harvesting as hay or as grain and straw would be a suitable choice.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

We thank the staff of the Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada) for lending us the experimental plots and for helping in the field work, Alicia Ortigosa for the chemical analysis of the forage, Jabier Ruiz Mirazo for his assistance in laboratory and Dr. José Luis González Rebollar for his supervision. Isabel Sánchez Prior helped with the statistical analysis.

This study was funded by Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa (IFAPA) and Consejería de Agricultura y Pesca (DAP) (Junta de Andalucía), and a FPU-MECD grant to M.E. Ramos.

7. REFERENCES

- Agricultural Research Council (ARC). 1980. *The nutrient requirements of ruminants livestock*. London: Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal.
- Alibes, X. & Tisserand, J. L. 1990. *Tables of nutritive value for ruminants of Mediterranean forages and by-products*. Options Méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches, No. 4. Zaragoza, Spain : CIHEAM.
- ANKOM. 1998. *Procedures for fibre and in vitro analysis*. Accessed at <http://www.ankom.com>
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. Arlington, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, AOAC international.
- Assefa, G., & Ledin, I. 2001. Effect of variety, soil type and fertilizer on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Science and Technology* 92: 95-111.
- Bàrbéri, P., Silvestri, N., & Bonari, E. 1997. Weed communities of winter wheat as influenced by input level and rotation. *Weed research* 37: 301-317.
- Barea, J. M., El-Atrach, F., & Azcón, R. 1989. Mycorrhiza and phosphate interactions as affecting plant development, N₂ fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume grass mixtures by using a N¹⁵ dilution technique. *Soil Biology and Biochemistry* 21: 581-589.
- Caballero, R., Goicoechea, E. L., & Hernaiz, P. J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research* 41: 135-140.
- Caballero, R., Rebolé, A., Barro, C., Alzueta, C., Treviño, J., & García, C. 1996. Farming practices and chemical bases for a proposed quality standard of vetch-cereal hays. *Field Crops Research* 47: 181-189.
- Carpita, N. & Mc Cann, M. (2000). The cell wall. In *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (Eds. B. B. Buchanan, W. Gruissem & R.L. Jones), pp. 52-108. Maryland, USA: American Society of Plant Biologists.

- Castro, P., & Piñeiro, J. 1998. Efecto de la dosis de siembra de avena (*Avena sativa* L.) y veza común (*Vicia sativa* L.) en la producción, composición botánica y valor nutritivo de la asociación. In: *Actas de la XXXVIII Reunión Científica de la SEEP*, 173-176. Soria, Spain: SEEP.
- Castro, M. P., Sau, F., & Piñeiro, J. 2000. Effect of seeding rates of oats (*Avena sativa* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) and common vetch (*Vicia sativa* L.) on yield, botanic composition and nutritive value of the mixture. *Cahiers Options Méditerranéennes* 45: 207-211.
- Contreras, J., Martínez, J. J., & Baños, M. J. 2002. Viabilidad del cultivo del almendro en agricultura convencional y ecológica en el campo de Cartagena (Murcia). In: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario. V Congreso de la SEAE. I Congreso iberoamericano de Agroecología. Tomo I*, Eds. E. Dapena, & J. L. Porcuna, 633-638. Asturias, Spain: SERIDA-SEAE.
- Dhima, K. V., Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., & Dordas C. A. 2007. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio. *Field Crops Research* 100: 249-256.
- Dear, B., Kaiser, A., & Piltz, J. 2005. Yield and digestibility of legume and oat forages. Accessed at http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/47680/yield_and_digestibility_of_legume_and_oat_forages_-_primefact_52-final.pdf
- Droushiotis, D.N. 1985. Effect of variety and harvesting stage on forage production of vetch in a low rainfall environment. *Field Crops Research* 10: 49-55.
- Droushiotis, D.N. 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *Journal of Agricultural Science* 113: 249-253.
- Fabeiro, C., Campos I., Guardado, R., Rubio, M., & Maire, N. 2002. Ensayos de rotaciones en agricultura ecológica y convencional en los llanos de Albacete. Resultados de cebada de la campaña 2000/01. In: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario. V Congreso de la SEAE. I Congreso*

- iberoamericano de Agroecología. Tomo I*, Eds. E. Dapena, & J. L. Porcuna), 711-723. Asturias, Spain: SERIDA-SEAE.
- Fall-Toure, S., & Michalet-Doreau, B. 1995. Nitrogen partition in cell structures of tropical browse plants compared with temperate forages: influence on their in situ degradation pattern. *Animal Feed Science and Technology* 51: 65-72.
- FAO. 2006. *Guidelines for soil description*. 4th edition. Rome, Italy: FAO.
- Francia, E., Pecchioni, N., Li Destri Nicosia, O., Paoletta, G., Taibi, L., Franco, V., Odoardi, M., Stanca, A. M., & Delogu, G. 2006. Dual-purpose barley and oat in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 99: 158-166.
- George, M. R. & Bell, M. E. (2001). Using stage of maturity to predict the quality of annual range forage. *Rangeland Management Series* 8019, 1-7.
- Givens, D. I., Davies, T. W., & Laverick, R. M. 2004. Effect of variety, nitrogen fertilizer and various agronomic factors on the nutritive value of husked and naked oats grain. *Animal Feed Science and Technology* 113: 169-181.
- Guzmán, G. I., Serrano, C., & Alonso, A. M. 2002. Productividad del olivar ecológico y convencional del municipio de Colomera (Granada). In: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario. V Congreso de la SEAE. I Congreso iberoamericano de Agroecología. Tomo I*, Eds. E. Dapena, & J. L. Porcuna), 623-632. Asturias, Spain: SERIDA-SEAE.
- Haddad, S. G., & Husein, M. Q. 2001. Nutritive value of lentil and vetch straws as compared with alfalfa hay and wheat straw for replacement ewe lambs. *Small Ruminant Research* 40: 255-260.
- Haynes R. J. 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6: 3-32.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seedings ratios. *Field Crops Research* 99: 106-113.
- López-Cuervo, S. 1990. La erosión en los suelos agrícolas y forestales de Andalucía. In: *El cultivo del olivo*, Eds. D. Barranco, D. Fernández-Escobar, & L. Rallo, 11-16. Madrid, Spain: Mundi Prensa.

- Martín, A. I., Moumen, A., Yáñez, D. R., & Molina, E. 2003. Chemical composition and nutrients availability for goats and sheep of two-stage olive cake and olive leaves. *Animal Feed Science and Technology* 107: 61-74.
- Mc Dougall, E. I. 1948. Studies on ruminant saliva 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal* 43: 99-109.
- Meek ,B., Graham, L., & Donovan, T. 1982. Long-term effects of manure on soil nitrogen, phosphorus, potassium, sodium, organic matter, and water infiltration rate. *Soil Science Society American Journal* 46: 1014-1019.
- Molina, E., Martín, A. I., & Aguilera, J. F. 2000. A comparative study of nutrient digestibility, kinetics of degradation and passage and rumen fermentation pattern in goats and sheep offered good-quality diets. *Livestock Production Science* 64: 215-223.
- Osman, A.E., & Nersoyan, N. 1986. Effect of the proportion of species on the yield and quality of forage mixtures, and on the yield of barley in the following year. *Experimental Agriculture* 22: 345-351.
- Papanastasis, V. P., & Papachristou T. G. 2000. Agronomic aspects of forage legumes: management and forage quality. In: *Legumes for Mediterranean forage crops, pastures and alternative uses = Légumineuses pour cultures fourragères, pâturages et autres usages en région méditerranéenne*, Ed. L. Sulas, 113-126. Zaragoza, Spain : CIHEAM-IAMZ.
- Pardo, G., Villa, F., Aibar, J., Lezaún, J. A., Lacasta, C., Meco, R., Ciria, P., & Zaragoza, C. 2002. Estudio de la fertilización y desherbado en el cultivo de cebada en seco. In: *La agricultura y ganadería ecológicas en un marco de diversificación y desarrollo solidario. V Congreso de la SEAE. I Congreso iberoamericano de Agroecología. Tomo I*, Eds. E. Dapena & J. L. Porcuna, 691-700. Asturias, Spain: SERIDA-SEAE.
- Prieto, C., Aguilera, J. F., Lara, L., & Fonollá, J. 1990. Protein and energy requirements for maintenance of indigenous granadina goats. *British Journal of Nutrition* 63: 155-163.

- Roberts, C. A., Moore, K. J., & Johnson, K. D. 1989. Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rates. *Agronomy Journal* 81: 57-60.
- Robles A. B. 1990. *Evaluación de la oferta forrajera y capacidad sustentadora de un agrosistema semiárido del sureste ibérico*. PhD thesis, Universidad de Granada, Granada, Spain.
- Robles, A. B., Ruiz-Mirazo, J., Ramos, M. E., & González-Rebollar, J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. In: *Advances in Agroforestry in Europe*. Current status and future prospects, eds. A. Rigueiro-Rodríguez, J. McAdam & M. R. Mosquera-Losada. Springer.com. pp: 211-231.
- Sanderson, M.A., & Wedin, W.F. 1990. *In situ* digestion of detergent fiber nitrogen in alfalfa stems. *Animal Feed Science and Technology* 30: 1-9.
- Tilley, J. M. A., & Terry, R. A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society* 18: 104-111.
- Tuna, C. & Orak, A. 2007. The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.)/oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stands and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science* 2: 14-19.
- van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Willey, R.W., & Rao, M.R. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture* 16: 117-125.
- Yang, S. M., Malhi, S. S., Song, J. R., Xiong, J. C., Yue, W. Y., Lu, L. L., Wang, J. G., & Guo, T. W. 2006. Crop yield, nitrogen uptake and nitrate-nitrogen accumulation in soil as affected by 23 annual applications of fertilizer and manure in the rainfed region of Northwestern China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 76: 81-84.

CAPÍTULO 5: SOIL RESPONSE TO DIFFERENT MANAGEMENT PRACTICES IN RAINFED ORCHARDS IN SEMIARID ENVIRONMENTS

Autores: María E. Ramos^{a*}, Ana B. Robles^a, Antonio Sánchez-Navarro^b, José L. González-Rebollar^a

^aEstación experimental del Zaidín (CSIC). C/ Profesor Albareda, 1. 18008 Granada, Spain. Phone: +34 958181600, Fax: +34 958129600

^bDepartamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Facultad de Química. Universidad de Murcia. 30100 Murcia, Spain

*eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: enviado

Revista: Applied Soil Ecology

ABSTRACT

Clean cultivation in rainfed orchards is a common practice; however, it may have detrimental effects on soil properties. This study examines the effect of different cover managements on soil physical, chemical, and biochemical properties in rainfed almond orchards in SE Spain. Four types of cover management with and without grazing were compared to a frequently tilled orchard system (FT: three or four tillages per year). The four types of cover management were: seed-manured fallow (SMF), a flock of 400 sheep was fenced in the plot (1.3 ha) for 5 days in October, and grass cover was kept throughout the growing season; native vegetation (NV), native grass was allowed to grow; ley-fallow (LF), composed by a mixture of legumes and crucifers; and reduced tillage (RT), autumn and spring chisel ploughing. Water stable aggregates (WSA), total organic carbon (TOC), total nitrogen, extractable potassium (K), and enzyme activities (dehydrogenase, arylsulfatase, β -glucosidase, and phosphatase) decreased in the FT treatment with respect to the rest of the treatments. RT showed the highest soil moisture but the lowest infiltration rate, probably due to surface crust created by summer rains. The SMF and LF treatments had the highest water soluble carbon (WSC) content, K, and dehydrogenase activity but the lowest moisture. For FT and RT, changes in mean weight diameter (CMWD) of aggregates were lower than for the rest of treatments, while pH was higher. NV showed the highest WSA and infiltration rate but the lowest WSC and phosphorus levels. Finally, the plots within the cover treatments that were grazed exhibited higher moisture, and greater arylsulfatase, β -glucosidase and phosphatase activities in late spring.

The soil behaviour suggested that, compared to frequent tillage, managements that included a grass cover at least until spring improved soil quality in semiarid environments through greater organic-matter content and better soil biochemical and physical fertility. The early removal of grass covers by grazing diminishes water competition and can offer an additional benefit by promoting enzyme activities.

The discriminant analysis proved especially effective to differentiate the different soil treatments, with 100% correct soils classification for all the treatments except for native vegetation (83.3%). Among the soil measurements considered, moisture, arylsulfatase, CMWD, phosphorus, WSA, TOC and dehydrogenase had the greatest discriminating power.

In terms of physico-chemical, and biochemical parameters, the soil response varied depending on the management system used, providing a method for assessing the level of sustainability of certain farming practices in semiarid environments.

Key words: almond orchard, cover management, enzyme activities, frequent tillage, soil chemical properties, soil physical properties.

1. INTRODUCTION

Soil preservation is one of the main environmental and agronomical challenges in rainfed orchards in Mediterranean semiarid agrosystems. Soils from semiarid regions are not resilient to the effects of inappropriate land use and management, which leads to permanent degradation and loss of productivity (Pascual et al., 2000). The most important problems that affect to soil in these environments are erosion, soil organic matter depletion, and associated nutrient loss (López-Bellido et al., 2000). Soil management in semiarid areas is constrained by the particular climatic characteristics of these environments, i.e. low rainfall and hot, dry summers. Therefore, agricultural practices in rainfed semiarid agrosystems focus on increasing water availability. Most farmers use frequent tillage to avoid weed competition and to facilitate water reposition in the soil profile. However, excessive tillage impedes vegetation establishment and leads to low soil organic matter (SOM) levels and the loss of structure, which are the main constraints to preserve soil quality in orchards in these environments (García and Hernández, 2003).

Reduced tillage and grassing down are practices that are frequently implemented in orchards in order to improve or maintain soil quality (Haynes, 1980). Soil organic matter, soil aggregation, and water infiltration can be increased by the use of cover crops and reduced tillage (Roberson et al., 1991; Folorunso et al. 1992; Greene et al., 1994). On the one hand, plant cover is an important soil quality factor, mainly by shielding the soil from raindrop impact (Folorunso et al., 1992), retaining soil particles by plant roots, maintaining and increasing SOM, and promoting the biological population in soil by supplying carbon and energy sources from root exudates and plant remains (García et al., 2005; Roberson et al., 1991). On the other hand, tillage induces accelerated SOM mineralization; therefore, when frequency is decreased, SOM levels increase (Vance, 2000). Nevertheless, in semiarid environments grassing down or cover cropping, if not carefully managed, may reduce yield because of water and nutrient competition (Milgroom et al., 2006).

Livestock grazing in orchards has been widely used (Tedders, 1983) and is now being reintroduced into Mediterranean organic orchards for weed control and also for soil fertilization (Staver, 2001; Milgroom et al., 2007). Livestock grazing has been demonstrated to reduce moisture stress and also improves soil fertility by accelerating nutrient cycling (Williams and Haynes, 1992a). Grassing down in orchards with livestock

integration could be a sustainable practice to preserve soil quality in semiarid agrosystems.

The study of the short-term soil response to different management approaches will provide valuable information concerning the practices that improve soil quality. The suitability of a soil for sustaining plant growth in agroecosystems depends on physical, chemical, and biological properties (Doran and Parkin, 1996). Aggregate stability is a good indicator of soil structure (Kemper and Rosenau, 1998) since it is one of the main factors controlling top soil hydrology, crustability, and erodibility (De Ploy and Poesen, 1985). SOM is a source of macro- and micronutrients for plants, and can influence many soil properties such as water retention and infiltration, microbial activity, soil bulk density, and aggregate stability (Cannell and Hawes, 1994; Gregorich et al., 1994; García et al., 2002; Loveland and Webb, 2003). WSC is a labile fraction of the SOM that acts as energy source for microorganisms and, therefore, has been correlated to the soil's microbial activity (Bastida et al., 2006; García et al., 2002). Enzyme activities have been demonstrated to be the most sensitive parameters in detecting the short-term soil response (Dick, 1994; Bandick and Dick, 1999; García et al., 2005). Because of their sensitivity, simplicity, rapid, accuracy and reproducibility (Dick et al., 1996; Gregorich et al., 1994), soil enzyme activities may be key variables for soil assessments related to sustainability (Bergstrom et al., 1998). Furthermore, enzymes integrate information from the microbial and soil physico-chemical status (Aon et al., 2001) and they are key elements for nutrient cycling in the soil (Bandick and Dick, 1999). The measurement of several enzyme activities may provide useful information when studying the level of microbial activity of a soil (Bastida et al., 2006) as they indicate the potential of the soil to permit the basic biochemical processes necessary for maintaining soil fertility (García et al., 1994).

Some agricultural practices have a detrimental effect on soil properties (Cannell and Hawes, 1994; Caravaca et al., 2002), and therefore knowledge of the short-term effects of soil management becomes essential when considering soil-conservation strategies, especially, in semiarid environments. Many studies related to soil biochemical properties in semiarid environments are available (Biederbeck et al., 2005; Bastida et al., 2006; Madejón et al., 2007) together with works related to physical properties (Boix-Fayos et al., 2001; Sarah, 2005; Francia Martínez et al., 2006). However, very few works have integrated physical, chemical, and biochemical parameters (García et al., 2005).

In this study, we analyse the effects of different management practices– including ground covers, sheep grazing, and tillage– in an almond orchard, on soil physical (aggregate stability, infiltration rate and moisture), chemical (pH, nitrogen, phosphorus, potassium, water soluble carbon, total organic carbon) and biochemical (enzyme activities) properties.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. STUDY SITE

The study was conducted in an almond orchard in Huéscar (northern Granada province, SE Spain, UTM coordinates: 305-535799.04-4192415.19, and 990 m a.s.l.). Trials were performed in a hypercalcic Calcisol soil (FAO, 2006), with a slope of roughly 2%. Chemical and physical soil properties are shown in Table 1.

Table 1. Characteristics of the soil profile at the study site.

	Horizons			
	Ap1	Ap2	Ck1	Ck2
Depth (cm)	0-1	10-43	43-67	>67
Sand (2-0.05) (%)	35	29	29	36
Silt (0.05-0.002) (%)	36	40	42	32
Clay (<0.002) (%)	29	31	30	32
TOC (g kg ⁻¹)	7.5	3.3	4.2	4.1
N (g kg ⁻¹)	1.2	1.1	0.5	0.4
C/N	6.3	3.0	8.4	10.3
P (mg kg ⁻¹)	2.2	0.8	0.1	0.8
K (g kg ⁻¹)	0.24	0.04	0.04	0.2
CaCO ₃ (g kg ⁻¹)	590	746	813	595
pH (H ₂ O 1:2.5)	8.3	8.6	8.5	8.4
pH (KCl 1:2.5)	7.7	7.9	7.9	7.7

The climate in this area is continental semiarid Mediterranean, with a mean temperature of 13°C and pluviometry of 481 mm.

Cropping history at the experimental site in the previous years was an oat-fallow rotation, except for the frequent-tillage treatment (see *Experimental design*) which was

chisel ploughed three or four times a year since 2001. Thirty t ha⁻¹ of sheep manure were applied in all the experimental plots in 2001, but no fertilizer or soil amendments were added to the site during the study.

2.2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experiment was carried out over one growing season (2005/2006) in a 30-year-old almond orchard (*Prunus dulcis* (Miller) cv Verdier) where tree spacing was 10 m x 14 m. The previous history at the experimental plot was a cereal/fallow rotation between the almond trees. In October 2005, the entire experimental area was ploughed and disked. Soil samples from each experimental unit were analysed (OM, P, N, K, and biological parameters) in order to test their homogeneity.

The experimental design was a split-plot, with cover management as the main-plot treatments and grazing regimes as the subplot treatments with three replications for each subplot. The whole-plot treatments were: 1) Reduced tillage (RT), 2) Native vegetation (NV), 3) Ley-fallow (LF), and 4) Seed-manured fallow (SMF). RT consisted of a single chisel ploughing in spring (mid-May). NV involved on a native grass cover composed, mainly, of *Papaver rhoeas* L., *Lolium rigidum* L., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl and *Trigonella polyceratia* L. LF was sown in March 2006 with a mixture composed by *Paspalum notatum* Flügge, *Medicago sativa* L. cv Aragón, *Vicia ervilia* (L.) Willd. and *Moricandia arvensis* (L.) DC in a seeding rate of 18 kg ha⁻¹, 24 kg ha⁻¹, 57 kg ha⁻¹ and 0,7 kg ha⁻¹, respectively. *P. notatum* was unable to grow, as this species was not adapted to the cold climate of the site. In the SMF plot 400 sheep were fenced in the plot (1.3 Ha) for 5 days, in late October. Sheep faeces remained on the soil and a grass cover was kept throughout the growing season.

Within each main plot, six subplots were established. Three were randomly assigned to be grazed in spring and the other three were not grazed. Each subplot had 0.21 ha. Grazing consisted of a 3-h grazing period by 283 sheep to reach the desired use level, which allowed the sheep to consume about 40% of the above biomass yield.

Additionally, three plots that had being subjected to frequent tillage (FT) of three or four chisel ploughings per year, since 2001, were used to compare the averaged results of the different covers for all the parameters measured.

2.3. SOIL SAMPLING

Composite soil samples were randomly collected from the top 20 cm in soil depth from each subplot. Sampling dates were: November, before treatments were applied (T0); early June (T1); and mid July (T2), at the end of the experiment. Physical and chemical parameters were analysed for T0 and T2, except for moisture, which was also analysed for T1. Biological parameters were analysed for the three sampling periods (T0, T1 and T2). Data from T0 were used only to check any abnormality within the plots, and the results are not shown in this paper.

Soil samples were sieved at field moisture through a 2-mm sieve and homogenized. From each sample, 100 gr of soil were kept in hermetically sealed jars at field moisture and stored at 4°C for the biochemical analysis, while the rest of the sample (approximately 1.5 kg) was air-dried and stored at room temperature for further analysis.

2.4. PHYSICAL PROPERTIES

Water stable aggregates (WSA) were estimated by using the procedure described by Kemper and Rosenau (1998).

Dry aggregates stability, i.e. resistance to abrasion, was determined by the evaluation of the changes in the mean weight diameter distribution (CMWD) of the fine-earth fraction, using 1, 0.5 and 0.1 mm sieves (Chepil, 1962). Mean weight diameter (MWD) was calculated as the sum of the products of (i) the mean diameter, x_i , of each size fraction and (ii) the proportion of the total sample weight, w_i , in the corresponding size fraction, where the summation was carried out over all n -size fractions (Van Bavel, 1949).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

Changes in the mean weight diameter (CMWD) were determined by pouring weighed aggregates back into the feed bin of the rotary-sieve machine, doubling the number of shakes per second, and weighing again to calculate the new MWD. CMWD was calculated by the following expression:

$$CMWD (\%) = (MWD - MWD') / MWD \cdot 100,$$

where, MWD is the mean weight diameter after the first sieving and MWD' is the mean weight diameter after the second sieving.

Only data from CMWD are shown in this paper.

Gravimetric moisture was estimated by weighing soil at field moisture and after oven drying at 105°C for 48 h.

For the measurement of the infiltration rate, a double-ring infiltrometer was used: Müntz Method (Mathieu and Pieltain, 1998). Infiltration measurements were performed in late July on one spot for each subplot.

2.5. CHEMICAL PROPERTIES

Total organic carbon (TOC), total N (N), available P (P) and extractable K (K) were estimated by using the official methods detailed in the Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1994).

The pH was determined in a 1/2.5 aqueous solution.

Water soluble carbon (WSC) was measured by oxidation with $K_2Cr_2O_7$ and measurements of absorbance at 590 nm (Sims and Haby, 1971) in an aqueous soil extract (1:5 solid-liquid ratio), obtained after 2 h of mechanical shaking, centrifugation, and filtration through a 100 μ m membrane (García et al., 2002).

2.6. ENZYME ACTIVITIES

Dehydrogenase activity was determined by the method proposed by García et al. (1997). One gram of soil at 60% of field water holding capacity was treated with 0.2 ml of 0.4% INT (2-p-iodophenyl-3-p-nitrophenyl-5 phenyltetrazolium chloride) in distilled water at 22°C for 20 h in darkness. The INTF (iodo-nitrotetrazolium formazan) formed was extracted with 10 ml of a mixture of 1:1.5 ethylene/chloride acetone by shaking vigorously. INTF was measured spectrophotometrically at 490 nm.

Phosphatase activity was determined by adding two ml of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 ml of 0.115 M *p*-nitrophenyl phosphate (PNPP) to 0.5 g of soil and incubating at 37°C for 2 h. Afterwards, 0.5 ml of 0.5 M $CaCl_2$ and 2 ml of 0.5 M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. The *p*-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm (Nannipieri et al. 1982).

β -glucosidase activity. Two ml of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 ml of 50 mM p-nitrophenyl- β -D-glucopyranoside (PNG) were added to 0.5 g of soil. Then, the same procedure for determining phosphatase activity was performed (Nannipieri et al. 1982).

Arylsulfatase activity was determined by the method proposed by Elsgaard et al. (2002). Four ml of 0.5 M (pH 5.8) and 1 ml 20 mM p-nitrophenyl sulfate were added to 2 g of soil and incubated at 20°C for two h. Then 1 ml of 0.5 M CaCl₂ and 2 ml of 1M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. The p-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm.

2.7. STATISTICAL ANALYSIS

Arithmetic means of three laboratory replicates from each field soil sample were analysed using a split-plot ANOVA model with factors. Two kinds of analyses were made. Firstly, one-way ANOVA comparisons were made between each cover management (averaged across grazing regime) and the frequent tilled treatment. Secondly, a two-way ANOVA was used to compare the different kinds of cover management, the grazing regime, and their interactions. Mean separations were performed using HSD-Tukey test at the 0.05 probability level. When assumptions of homoscedasticity and/or normality were not fulfilled, the Kruskal-Wallis test was performed instead of an ANOVA.

Discriminant function analysis was used to evaluate the variables with a higher contribution to differences between the five occurring groups. The method applies a stepwise procedure (Forward Stepwise Analysis) in which a discrimination model is built step-by-step. At each step, one variable is included and all variables are reviewed and evaluated to determine the contribution of each variable to discriminate between groups. The *F*-value for a variable indicates its statistical significance in the discrimination between groups.

A canonical correlation analysis was performed determining the four functions and canonical roots.

3. RESULTS

3.1. PHYSICAL PROPERTIES

All the physical parameters were sensitive to cover treatments; however, only moisture for the T1 was responsive to the grazing treatments. The interactions among factors were not significant for any of the parameters. Water stable aggregates (WSA) were highest for ley-fallow (LF) and native vegetation (NV) and lowest for seed-manured fallow (SMF) and frequent tillage (FT) (Table 2). Changes in mean weight diameter (CMWD) were greatest for SMF and LF, i.e. they underwent a more pronounced MWD decrease than for RT and FT (Table 2).

Meanwhile, SMF and NV showed the highest infiltration rate (IR) while RT had the lowest, with LF registering similar values to all of them (Table 2). However, it was not possible to carry out the IR assay in the FT plots.

For T1, RT showed the highest moisture content, whereas LF and SMF had the lowest values. For this period, grazed plots registered greater moisture than those which were not grazed. For T2, RT had also the highest moisture content while LF had the lowest (Table 2).

Table 2. Water stable aggregates (WSA, %), changes in mean weigh diameter (CMWD, %), infiltration rate (IR, mm h⁻¹), and moisture (g H₂O 100g soil⁻¹), for different types of soil management in an almond orchard. RT: reduced tillage, LF: ley-fallow, NV: native vegetation, FT: frequent tillage. NA: not available.

	WSA	CMWD	IR	Moisture	
	T2	T2	T2	T1	T2
Cover					
SMF	49±2.8 ^b	17±0.97 ^a	303±29 ^a	9.7±0.42 ^b	3.3±0.17 ^{bc}
RT	58±4.0 ^{ab}	12±0.52 ^c	191±18 ^b	13.4±0.67 ^a	8.5±0.56 ^a
LF	65±1.7 ^a	15±0.54 ^{ab}	280±18 ^{ab}	9.4±0.5 ^b	3.1±0.23 ^c
NV	63±2.8 ^a	15±0.70 ^{abc}	314±21 ^a	12±0.66 ^{ab}	4.1±0.23 ^{bc}
FT	44±6.1 ^b	13±0.26 ^{bc}	NA	10±1.2 ^{ab}	5.2±1.1 ^b
F-value (d.f.=4) ^t	6.545	6.880	6.867	7.464	30.828
p-value	0.001	0.001	0.006	0.001	<0.0001
Grazing					
No	61±2.39	15±0.87	263±21	9.4±0.51 ^a	4.8±0.61
Yes	57±2.94	14±0.39	280±22	10±0.39 ^b	4.8±0.77
F-value (d.f.=1)	1.107	1.273	0.0149	5.563	0.009
p-value	0.31	0.27	0.905	0.03	0.92
Interaction	0.96	0.09	0.199	0.38	0.22

Different letters signify differences between treatments within each factor. SMF: seed-manured fallow.
Note: d.f. = 4 for all parameters except for IR, where d.f.=3.

3.2. CHEMICAL PROPERTIES

Chemical parameters were not influenced by the grazing treatments; nevertheless, the cover treatment affected most of them. The interaction among factors was not significant for any of the variables.

Total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN) were lower for FT than for the rest of treatments (Table 3). The C:N ratio was not sensitive to the cover treatment. WSC was greater for SMF and LF than for the other treatments (Table 3).

Available phosphorus (P) was slightly, but significantly, higher for RT than for NV. Extractable potassium (K) was greatest for SMF, LF and NV, lowest for FT, and intermediate for RT. The pH was noticeably higher for RT and FT than for the rest of treatments (Table 3).

Table 3. Total organic carbon (TOC, g kg⁻¹), total nitrogen (TN, g kg⁻¹), carbon-nitrogen ratio (C:N), water-soluble carbon (WSC, µg g⁻¹soil), available phosphorus (P, mg kg⁻¹), extractable potassium (K, mg kg⁻¹), and pH for different types of soil management in an almond orchard. SMF: seed-manured fallow, RT: reduced tillage, LF: ley-fallow, NV: native vegetation, FT: frequent tillage.

	TOC	TN	C/N	WSC	P	K	pH
Cover							
SMF	11±0.58 ^a	1.3±0.06 ^a	8.1±0.21	1183±37 ^a	1.9±0.08 ^{ab}	372±36 ^a	8.26±0.02 ^a
RT	9.7±0.21 ^a	1.2±0.05 ^a	8.1±0.16	938±50 ^b	2.1±0.06 ^a	258±7.6 ^b	8.42±0.04 ^b
LF	10.6±0.21 ^a	1.4±0.02 ^a	7.7±0.15	1266±105 ^a	2.1±0.06 ^{ab}	363±29 ^a	8.18±0.02 ^a
NV	11±0.48 ^a	1.5±0.07 ^a	8.3±0.33	903±29 ^b	1.8±0.05 ^b	336±13 ^a	8.28±0.02 ^a
FT	5.4±1.36 ^b	0.83±0.07 ^b	6.5±1.42	902±31 ^b	2.1±0.17 ^{ab}	187±12 ^c	8.49±0.03 ^b
F-value (d.f.= 4)	13.317	10.136	5.694*	15.711*	3.281	15.907*	6.7
p-value	<0.0001	<0.0001	0.2232	0.034	0.03	0.003	0.001
Grazing							
Yes	11±0.38	1.3±0.05	8.09±0.16	1114±67	2.0±0.05	339.58±21.9	8.27±0.03
No	10±0.21	1.3±0.03	7.96±0.16	1031±56	2.1±0.11	324.58±20.17	8.30±0.03
F-value (d.f.=1)	0.834	0.180	1.041	1.634	0.75	0.33	0.7
p-value	0.37	0.68	0.40	0.21	0.40	0.57	0.42
Interaction	0.48	0.58	0.64	0.80	0.28	0.86	0.28

Different letters signify differences between treatments within each factor. An asterisk (*) indicates that the Kruskal-Wallis test was performed for that comparison; therefore, the value corresponds to H-value, instead of the F-value.

3.3. ENZYME ACTIVITIES

Enzyme activities were sensitive not only to the cover treatment, but also to the grazing treatment. Interaction among factors was significant only for arylsulfatase in T1.

For T1, SMF and LF showed greater dehydrogenase activity than RT, NV and FT; whereas for T2, SMF and LF were greater than FT (Table 4). Arylsulfatase activity, for T1, was lowest for FT, with no differences among the rest of treatments (Table 4). Additionally, it showed higher activity for the grazing treatment than without grazing. The positive interaction among factors is due to the fact that all treatments have higher arylsulfatase activity with than without grazing, except for LF, which showed opposite behaviour. For T2, FT had the lowest value for arylsulfatase and NV had the highest, with RT, SMF, and LF being intermediate (Table 4).

Phosphatase and β -glucosidase showed no significant differences due to cover treatment for T1, but both were greater with than without grazing (Table 4). For T2, both enzymes had lower activity for FT than for the rest of treatments (Table 4), but no significant differences were detected due to grazing.

Table 4. Dehydrogenase ($\mu\text{g INTF g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), arylsulfatase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), β -glucosidase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) and phosphatase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) activities for two sampling periods (T1 and T2) for different types of soil management in an almond orchard. SMF: seed-manured fallow, RT: reduced tillage, LF: ley-fallow, NV: native vegetation, FT: frequent tillage. The FT was not subjected to any grazing treatment and therefore was excluded from the interaction analysis.

	Dehydrogenase		Arylsulfatase		β -glucosidase		Phosphatase	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Cover								
SMF	3.7±0.26 ^a	2.7±0.15 ^a	11±0.64 ^a	12±0.87 ^b	574±48	570±40 ^a	352±18	340±29 ^a
RT	2.5±0.07 ^b	2.3±0.13 ^{ab}	12±1.05 ^a	11±0.69 ^b	602±58	504±17 ^a	400±29	352±9.3 ^a
LF	3.3±0.23 ^a	2.9±0.14 ^a	12±0.58 ^a	11±1.03 ^b	520±24	623±41 ^a	368±13	373±12 ^a
NV	2.5±0.09 ^b	2.61±0.22 ^{ab}	11±0.67 ^a	17±0.54 ^a	488±32	580±21 ^a	375±20	411±31 ^a
FT	2.3±0.13 ^b	1.9±0.07 ^b	6.9±0.86 ^b	6.5±0.71 ^c	391±65	300±43 ^b	270±22	220±22 ^b
F-value (d.f.= 4)	11.221	4.381	4.852	17.935	2.521	9.894	8.233*	10.964*
p-value	<0.0001	0.009	0.006	<0.0001	0.07	<0.0001	0.084	0.027
Grazing								
No	3.1±0.2	2.6±0.11	10.8±0.49 ^b	13±0.99	491±16 ^b	561±27	345±11 ^b	378±12
Yes	2.9±0.22	2.6±0.14	12±0.44 ^a	12±0.8	582±32.1 ^a	578±23	396±13 ^a	359±21
F-value (d.f.= 1)	0.901	0.002	6.000	0.887	9.888	0.236	12.090	0.680
p-value	0.36	0.97	0.027	0.36	0.007	0.63	0.003	0.42
Interaction	0.25	0.41	0.02	0.38	0.11	0.93	0.184	0.48

Different letters signify differences between treatments.

3.4. DISCRIMINANT ANALYSIS

For the discriminant analysis of the soils sampled, all the variables measured were used. Table 5 shows the results from applying the algorithm for selecting variables according to the type of management (reduced tillage, native vegetation, ley-fallow, seed-manured fallow and frequent tillage). The variables with the greatest discriminating power were moisture, arylsulfatase, CMWD, P, WSA, TOC, dehydrogenase, and finally, WSC, although the latter is not significant (Table 5).

Table 5. Discriminant function analysis summary of almond-orchard soils under different management systems. CMWD: changes in mean weight diameter, P: available phosphorus, WSA: water stable aggregates, TOC: total organic carbon, WSC: water soluble carbon.

N=27	Discriminant Function Analysis Summary, no. of vars in model: 8; Wilks' Lambda: 0.00108 approx. F (32,56)=9.5611 p< 0.0000					
	Wilks' Lambda	Partial Lambda	F-remove (4,15)	p-level	Tolerance	1-Tolerance (R ²)
Moisture	0.0081	0.1330	24.4391	0.0000	0.4604	0.5396
Arylsulfatase	0.0037	0.2928	9.0582	0.0006	0.2459	0.7541
CMWD	0.0035	0.3073	8.4548	0.0009	0.4058	0.5942
P	0.0032	0.3400	7.2779	0.0018	0.3442	0.6558
WSA	0.0030	0.3577	6.7325	0.0026	0.4564	0.5436
TOC	0.0028	0.3798	6.1226	0.0040	0.4083	0.5917
Dehydrogenase	0.0021	0.5075	3.6395	0.0290	0.4452	0.5548
WSC	0.0018	0.5894	2.6128	0.0774	0.7455	0.2545

Note: Variables are sorted according to their discriminating power

The classification matrix (Table 6) indicates that all of the soils considered *a priori* as soils under SMF, RT, LF, or FT were correctly classified. However, 16.67% of the soils belonging to the NV treatment showed characteristics similar to those of the LF group.

Table 6. Classification matrix after the discriminant analysis of almond orchard soil under different types of soil management. SMF: seed-manured fallow, RT: reduced tillage, LF: ley-fallow, NV: native vegetation, FT: frequent tillage.

Group	Predicted classifications					
	Percent correct	SMF	RT	LF	NV	SMF
SMF	100	6	0	0	0	0
RT	100	0	6	0	0	0
LF	100	0	0	6	0	0
NV	83.3	0	0	1	5	0
FT	100	0	0	0	0	0
Total	96.3	6	6	7	5	3

Second column (percentage correct) indicates the percentage of cases that were correctly classified, while third to fifth columns show the number of cases that were correctly and incorrectly classified by the discriminant analysis.

Each soil is represented according to the values of the variables acquired after the discriminant analysis, which gave rise to four canonical functions (Table 7). The representation of the canonical analysis (Fig. 1) shows the distribution of the soils according to two discriminant functions generated taking into account the type of soil management (SMF, RT, LF, NV and FT).

Table 7. Standardized coefficients of the canonical discriminant functions. TOC: total organic carbon, WSC: water soluble carbon, WSA: water stable aggregates, CMWD: changes in mean weight diameter, P: available phosphorus.

	Function 1	Function 2	Function 3	Function 4
Moisture	-1.288	0.401	0.214	-0.470
TOC	-0.889	0.802	-0.588	-0.245
WSC	-0.117	-0.023	-0.268	-0.909
WSA	0.629	0.127	0.898	-0.873
CMWD	1.299	-0.079	0.280	-0.170
Arylsulfatase	1.491	0.327	0.956	0.130
P	-1.203	-0.568	-0.559	0.324
Dehydrogenase	1.029	0.179	0.063	-0.309

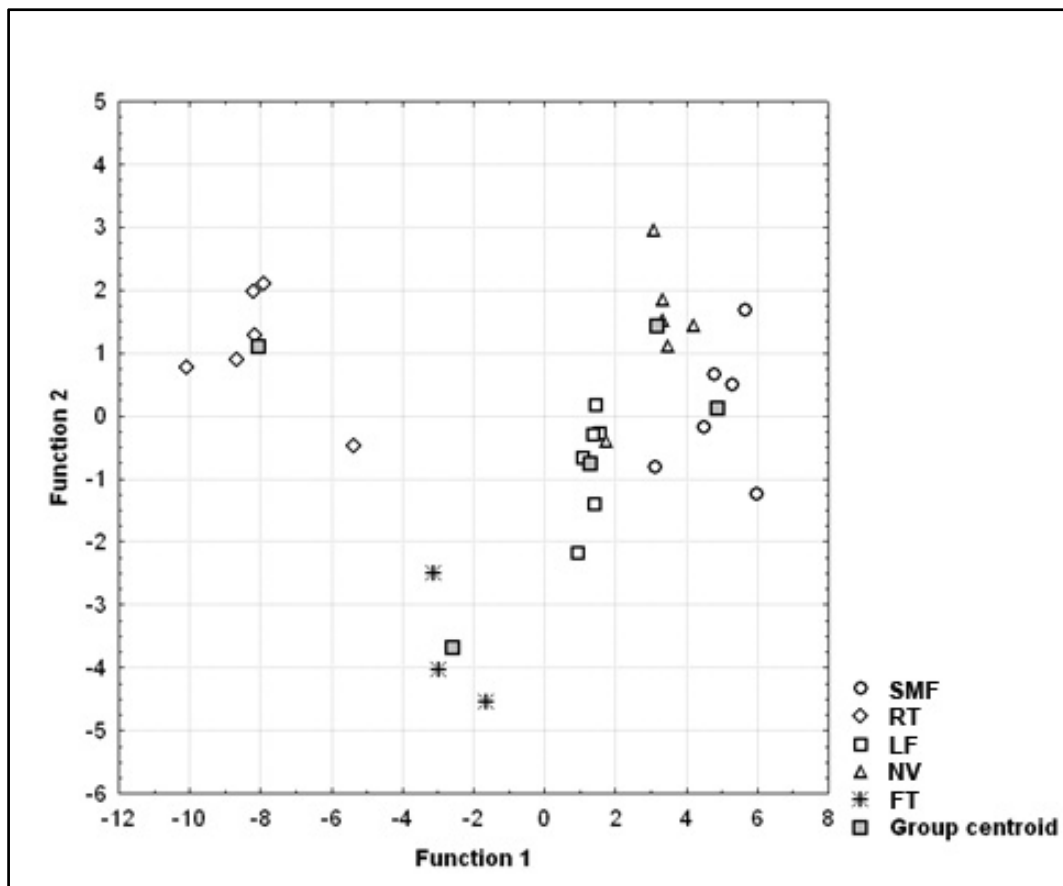


Figure 1. Canonical analysis of almond orchards under different soil managements.

4. DISCUSSION

4.1. PHYSICAL PROPERTIES

Aggregate stability is the ability of aggregates to remain intact when exposed to different stresses (Kay et al., 1988). Soil aggregates are important for maintaining soil porosity (Oades, 1993), providing stability against soil erosion (Hu et al., 2007) and providing physical protection of soil organic matter fractions (Yong-zhong et al., 2007). With wet sieving, the main force applied to the samples is due to slaking, while with dry sieving the only stress applied is from the sieving (Goaverts et al., 2008). Our study showed that when vegetation is present (LF and NV) wet aggregates stability increased with respect to tillage treatments (FT) or trampling (SMF). This agrees with other authors (Roberson et al., 1991, Denoia et al., 2000) who also reported rapid and significant increases in the stability of aggregates in soils with ground covers, in comparison to clean cultivated soils. Tillage causes physical disruption followed by less production of aggregate stabilizing materials (Bradford and Peterson, 2000). Crop roots influence

aggregate stability by maintaining soil particles together with hyphae (Tisdall and Oades, 1979, 1982) as well as through root exudates and microbial excretions into the soil, which act as cementing agents (Haynes and Francis, 1993; Oades, 1993). Furthermore, some authors (Tisdall and Oades, 1982; Haynes et al., 1991) have reported that a decline in organic matter is usually accompanied by a decrease in wet aggregates stability. Our results are consistent with these findings, since FT had a lower content in organic matter than the rest of treatments. Nevertheless, the low values of WSA in the SMF treatment can be explained only by the physical forces applied by the animal hooves on the bare soil. Many studies have shown that livestock trampling reduces soil aggregate stability (Greene et al., 1994; Denoia et al., 2000) and increases soil compaction (Warren et al., 1986; Ferrero, 1991).

CMWD has been used as an estimation of soil resistance to wind erosion (Kemper and Rosenau, 1998). In this study, RT and FT had the lowest values, indicating higher resistance. Several authors (Caron et al., 1992; Martínez-Mena et al., 1998) found that the water content of aggregates prior to the measurement of stability strongly influenced the values obtained for CMWD. Coinciding with these findings, our results show that those treatments having higher moisture content, i.e., RT and FT, had the lowest CMWD values.

The infiltration rate (IR) is a measure of the rate at which soil is able to absorb rainfall or irrigation. If the precipitation rate is higher than the infiltration rate, runoff may occur, which can also result in soil erosion. The low values of IR for RT may be due to the surface sealing caused by the action of rains (Baumhardt et al., 1992) in June. Soil surface crusting is a common problem in arid and semiarid soils (Helalia et al., 1988) and the bare soil surfaces are particularly susceptible to crusting during rain (Greene et al., 1994). Surface sealing blocks water infiltration, encouraging surface runoff and augmenting the risk of soil erosion (Milgroom et al., 2006). Contrary to expectations, the trampling in the seed-manured fallow (SMF) treatment and/or the grazing treatment did not reduce the IR. This was presumably due to the ability of soil to recover its hydrological properties by means of plant growth (Wheeler et al., 2002).

Soil moisture was highest for RT, probably due to the combination of higher SOM content and absence of plant transpiration, while LF resulted in lower moisture due to the higher water uptake by the crop. A positive effect of grazing was detected in soil moisture in T1 undoubtedly for the reduction of aerial biomass and, consequently, transpiration.

4.2. CHEMICAL PROPERTIES

Soil organic matter (SOM) plays a crucial role in maintaining soil structure and fertility, and in sustaining crop production in agriculture (Gregorich et al., 1994; Bending et al., 2000). Thus, enhancing SOM levels should be favourable to soil quality and productivity (Sikora and Stott, 1996). Tillage has been shown deplete SOM (Wyland et al., 1996, Riffaldi et al., 2002), apparently because it produces fractures and opens the soil, allowing an accelerated mineralization of SOM (Alvear et al., 2005) while impeding inputs of plant residues (Vance, 2000, Kuo et al., 1997). Although many authors have reported that changes in the amounts of SOM occur very slowly (Bending et al., 2000; Vance, 2000; Weil et al., 2003), in our study, 4 years of frequent tillage in an orchard were enough to show a significant decrease respect to a grazed fallow-cover crop rotation. In fact, FT had the lowest values for TOC and TN, while no differences were found among the rest of treatments. Therefore, tilled soils need a higher organic matter supply, such as manure, than those under any kind of vegetation cover. The

C:N ratio provides information on the capacity of the soil to store and recycle energy and nutrients (Gregorich et al., 1994). In our study the values are lower than the usual range for agricultural soils (10-12); however, they are consistent with semiarid conditions.

Water soluble carbon (WSC) is a fraction of the organic carbon that is a readily available source of energy for microorganisms and a short-term reservoir of plant nutrients (Gregorich et al., 1994). This fraction has been used as a soil quality indicator in semiarid regions (Caravaca et al., 2002, Bastida et al., 2006). In our study, the greatest values were obtained for SMF and LF. Plant root exudates are composed mainly of carbon-containing compounds (Bertin et al., 2003). Therefore, in the SMF treatment, livestock dejections together with root activity were responsible for the higher value, while in the LF treatment, greater root excretions due to high proportion of legumes (Rovira, 1956) may have boosted the WSC.

The pH was lower in treatments having any kind of cover as plant root excretions have an acidic nature that is reflected in a fall in the pH (Bertin et al., 2003, García et al., 2005). Coinciding with these findings, many authors reported a lower pH in uncultivated soils with respect to ploughed soils (authors in Cannell and Hawes, 1994)

4.3. ENZYME ACTIVITIES

Soil enzymes are biological catalysts synthesised by plants and soil microorganisms that can be used as indicators of their activities (Gregorich et al., 1994).

Dehydrogenase is an enzyme that is present only in living cells, and its activity may be a good predictor of the capability of oxidizing the first stages of the OM (Dick et al., 1998). Some authors (Masciandaro et al., 1998; Caravaca et al., 2002) have reported a positive correlation between WSC and dehydrogenase activity in semiarid environments. In our study, SMF and LF showed higher activity for both sampling periods, coinciding with a greater WSC content. Furthermore, tillage treatments resulted in lower dehydrogenase activity, as cultivation causes depletion of easily decomposable organic compounds (Vance, 2000).

β -glucosidase catalyses the hydrolysis of unreduced chains of β -D-glucoside to form β -D-glucose and indicates the potential for soil organic matter decomposition (Eivazi and Tatabai, 1988). Phosphatases are enzymes capable of hydrolysing various organic and inorganic phosphate esters and are involved in the P-cycle (Eivazi and Tatabai, 1976; Caravaca et al., 2002). Both enzymes had a similar behaviour, showing greater activity under the grazing treatment in T1. It is known that physiological disruption associated with the defoliation of grasses, for example, by grazing, results in a temporary enhancement of the release of root exudates into the rhizosphere (Macduff and Jackson, 1992). Furthermore, Bardgett and Leemans (1995) detected an increase in phosphatase activity in grazed plots in comparison to non-grazed plots. Additionally, sheep dung and urine also provide available nutrients for the soil environment that would increase phosphatase and β -glucosidase activities (Bol et al., 2003). In T2, both enzymes were significantly higher for all of the covered systems compared to the frequently tilled (FT) soils. García et al. (1994) reported that vegetation played an important role in increasing soil phosphatase activity in semiarid soils. Furthermore, Bergstrom et al. (1998) and Riffaldi et al. (2002) found higher phosphatase and β -glucosidase activities in soils with lower tillage disturbance than in soils with frequent cultivation.

Arylsulfatase is involved in the processes whereby sulphate esters are mineralized and made available for plant growth (Tatabai and Bremner, 1970). Grazing had a positive effect on the enzyme activity in the first sampling period (T1). In fact, approximately 80-90% of the herbage S ingested by grazing animals is returned to the soil in the form of

dung and urine, and the S excreted from urine is rapidly immobilized into organic forms (Williams and Haynes, 1992b), these being potential substrates for arylsulfatase activity. FT resulted in decreased enzyme activity for both sampling periods, probably due to the lower organic matter content (Bergstrom et al., 1998). No easy explanation can be found for the highest values for NV in T2.

4.4. DISCRIMINANT ANALYSIS

The discriminant analysis indicated a consistent pattern of soil properties, according to the different types of management. In fact, this analysis succeeded in discriminating among the five treatments: seed-manured fallow, native vegetation, ley-fallow, reduced tillage, and frequent tillage, with 100% correct soils classification for all the treatments except for native vegetation (83.3%). Moisture, arylsulfatase, CMWD, P, WSA, TOC and dehydrogenase were the variables with the greatest discriminating power (in descending order of that power).

This corroborates that for assessing the soil response to different types of management in semiarid environments, a set of physical, chemical, and biological properties are required.

5. CONCLUSIONS

This study suggests that vegetative covers in semiarid environments improve soil quality compared to frequently tilled management, by increasing the soil structure stability, the organic matter content, and soil microbial activity. However, water stress may occur due to higher water uptake by the plant cover; therefore, early vegetative cover removal by shallow tillage or by grazing would minimize possible yield losses.

Among the treatments, including vegetative covers, the ley-fallow and seed-manured fallow provided the greatest benefits to soil quality by increasing water soluble carbon and dehydrogenase activity respect to reduced tillage or native vegetation. Nevertheless, reduced tillage had the highest moisture content.

Moderate grazing increased soil moisture and boosted most enzyme activities, while no deleterious effects on soil structure were detected. Therefore, we suggest orchard grassing down, preferably, including legumes, with sheep integration as a good

management for the improvement of physical, chemical and biological properties in soils that are highly susceptible of degradation.

The discriminant analysis proved especially effective to differentiate the different soil treatments. Among the soil measurements considered, moisture, arylsulfatase, CMWD, P, WSA, TOC and dehydrogenase had the greatest discriminating power.

In terms of physico-chemical, and biochemical parameters, the soil response varied depending the management system used, providing a method for assessing the level of sustainability of certain farming practices in semiarid environments.

6. ACKNOWLEDGMENTS

We thank the staff of the “Finca Los Morales”, Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada) for lending the experimental plots and helping with the field labours, Dr. José Álvarez Rogel for helping with the infiltration rate study, Dr. Emilio Benítez for lending the laboratory materials for the enzyme activity analysis and for his comments to this work, Dr. Cecilio Oyonarte for lending the laboratory materials for the CMWD and Dr. Pedro García for his assessment in the statistical analysis and Dr. José Luis González Rebollar for his supervision. Isabel Sánchez Prior helped with the statistical analysis.

This work has been financed by Desarrollo Agrario y Pesquero (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía) through the project 92.162, and a FPU-MECD grant to M.E. Ramos.

7. REFERENCES

- Alvear, M., Rosas, A., Rouanet, J.L., Borie, F., 2005. Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile. *Soil Till. Res.* 82, 195-202.
- Aon, M.A., Cabello, M. N., Sarena, D.E., Colaneri, A.C., Franco, M.G., Burgos, J.L., Cortassa, S., 2001. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *App. Soil Ecol.* 18, 239-254.
- Bandick, A.K., Dick, P.D., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1471-1479.
- Bardgett, R.D., Leemans, D.K., 1995. The short term effects of cessation of fertiliser applications, liming, and grazing on microbial biomass and activity in reseeded upland grassland soil. *Biol. Fert. Soils* 19, 148-154.
- Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T., García C., 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3463-3473.
- Baumhardt, R.L., Wendt, C.W., Keeling, J.W., 1992. Chisel tillage, furrow diking and surface crust effects on infiltration. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1286-1291.
- Bending, G.D., Putland, C., Rayns, F., 2000. Changes in microbial community metabolism and labile organic matter fractions as early indicators of the impact of management on soil biological quality. *Biol. Fert. Soils* 31, 78-84.
- Bergstrom, D.W., Monreal, C.M., King D.J., 1998. Sensitivity of soil enzyme activities to conservation practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 1286-1295.
- Bertin, C., Yan, X., Weston, L.A., 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil* 256, 67-83.
- Biederbeck, V.O., Zentner, R.P., Campbell, C.A., 2005. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 37, 1775-1784.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44, 47-67.

- Bol, R., Kandeler, E., Amelung, W., Glaser, B., Marx, M.C., Preedy, N., Lorenz, K., 2003. Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1411-1421.
- Bradford, J.M., Peterson, G.A., 2000. Conservation tillage. In: Sumner, M.E. (Ed.), *Handbook of soil science*. CRC Press, Boca Raton, Florida (USA.), pp. 247-270.
- Cannell, R.Q., Hawes, J.D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30, 245-282.
- Caravaca, F., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 2002. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil Till. Res.* 68, 23-30.
- Caron, J., Kay, B.D., Stone, J.A., Kachanoski, R.G., 1992. Modeling temporal changes in structural stability of a clay loam soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 415-420.
- Chepil, W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 4-6.
- Cosentino, D., Chenu, C., Le Bissonnais, Y., 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under dry-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2053-2062.
- De Ploey, J., 1989. Erosional systems and perspectives for erosion control in European loess areas. In: Schwertmann, U., Rickson, R.J., Auerswald, K. (Eds.), *Soil Erosion Protection Measures in Europe*. Catena Verlag, Germany, pp. 93-102.
- Denoia, J., Sosa, O., Martín, B., 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos* 30, 129-141.
- Dick, R.P., 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 107-124.
- Dick, R.P., Breakwell, D.P., Turco R.F., 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W., Jones,

- A.J. (Eds.), *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 247-271.
- Dick, R.P., Myrold, D.D., Kerle, E.A., 1998. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted rehabilitated skid trail soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 512-516.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 3-21.
- Eivazi, F., Tatabai, M.A., 1976. Phosphatases in soil. *Soil Biol. Biochem.* 9, 167-172.
- Eivazi, F., Tatabai, M.A., 1988. Glucosidases and galactosidases in soils. *Soil Biol. Biochem.* 20, 601-606.
- Elsgaard, L., Andersen, G.H., Eriksen, J., 2002. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. *Soil Biol. Biochem.* 34, 79-82.
- Ferrero, A.F., 1991. Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. *Soil Till. Res.* 19, 319-329.
- Folorunso, O.A., Rolston, D.E., Prichard, T., Louie, D.T., 1992. Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter crops. *Soil Tech.* 5, 189-197.
- FAO, 2006. *Guidelines for soil description*. 4th edition. FAO, Rome.
- Francia Martínez, J.R., Durán Zuazo, V.H., Martínez Raya, A., 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Sci. Total Environ.* 358, 46-60.
- García, C., Hernández, T., 2003. Microbial activity in degraded soils under semiarid climate. Changes with their rehabilitation. In: Lobo, M.C., Ibáñez, J.J. (Eds.) *Preserving soil quality and soil diversity*. IMIA, Madrid, pp. 83-97.
- García, C., Hernández, T., Costa, F., 1994. Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1185-1191.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Albadalejo, J., 1997. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced revegetation. *J. Environ. Qual.* 26, 1116-1122.

- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Martín, A. 2002. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate. *Soil Biol. Biochem.* 34, 635-642.
- García, C., Roldan, A., Hernández, T., 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma* 124, 193-202.
- Govaerts, B., Sayre, K.D., Goudeseune, B., De Corte, P., Lichter, K., Dendooven, L., Deckers, J., 2008. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. *Soil Till. Res.* 103, 222-230.
- Greene, R.S.B., Kinnell, P.I.A., Wood, J.T., 1994. Role of plant cover and stock trampling on runoff and soil erosion from semi-arid wooded rangelands. *Aust. J. Soil Res.* 32, 953-973.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Soc.* 74, 367-385.
- Haynes, R.J., 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6, 3-32.
- Haynes, R.J., Francis, G.S., 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44, 665- 675.
- Haynes, R.J., Swift, R.S., Stephen R.C., 1991. Influence of mixed cropping rotations (pasture-arable) on organic matter content, water stable aggregation and clod porosity in a group of soils. *Soil Till. Res.* 19, 77-87.
- Helalia, A.M., Letey, J., Graham, R.C., 1988. Crust formation and clay migration effects on infiltration rate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 251-255.
- Hu, Z., Yi-zhong, L., Zhi-chen, Y., Bao-guo, L., 2007. Influence of conservation tillage on soil aggregates features in North China plain. *Agric. Sci. China* 6, 1099-1106.
- Kay, B.D., Angers, D.A., Baldock, J.A., Groenvelt, P.H., 1988. Quantifying of the influence of cropping history on soil structure. *Can. J. Soil Soc.* 18, 64-73.

- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1998. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 425-442.
- Kuo, S., Sainju, U.M., Jellum, E.J., 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 145-152.
- López-Bellido, L., López-Bellido, R.J., Castillo, J.E., López-Bellido, F.J., 2000. Effects of tillage, crop rotation, and nitrogen fertilization on wheat under rainfed mediterranean conditions. *Agron. J.* 92, 1054-1063.
- Loveland, P., Webb, J., 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil Till. Res.* 70, 1-18.
- Macduff, J.H., Jackson, S.B., 1992. Influx and efflux of nitrate and ammonium in Italian ryegrass and white clover roots: Comparisons between effects of darkness and defoliation. *J. Exp. Bot.* 43, 525-535.
- Madejón, E., Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F., 2006. Soil biochemical response to long term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.* 94, 345-352.
- Martínez-Mena, M., Williams, A.G., Ternan, J.L., Fitzjohn, C., 1998. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment. *Soil Till. Res.* 48, 71-80.
- Masciandaro, G., Ceccanti, B., Gallardo-Lancho, J.F., 1998. Organic matter properties in cultivated versus set-aside arable soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 67: 267-274
- Mathieu, C., Pieltain, F., 1998. *Analyse physique des sols. Méthodes choisies*. Lavoisier Technique & Documentation, cop, Paris, 275 pp.
- Milgroom, J., Soriano, M.A., Garrido, J.M., Gómez, J.A., Fereres, E., 2006. The influence of a shift from conventional to organic olive farming on soil management and erosion risk in southern Spain. *Renewable Agric. Food Syst.* 22, 1-10.
- Milgroom, J., Gómez, J.A., Soriano, M.A., Fereres, E., 2007. From experimental research to an on-farm tool for participatory monitoring and evaluation: an assessment of soil erosion risk in organic. *Land Degrad. Dev.* 18, 397-411.

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994. Métodos Oficiales de Análisis. Volumen III. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 662 pp.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Conti, C., Bianchi, D., 1982. Hydrolases extracted from soil: their properties and activities. *Soil Biol. Biochem.* 14, 257-263.
- Oades, J.M., 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.
- Pascual, J.A., García, C., Hernández, T., Moreno, J.L., Ros, M., 2000. Soil microbial activity as biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1877-1883.
- Riffaldi, R., Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Cardelli, R., 2002. Biochemical properties of a Mediterranean soil as affected by long-term crop management systems. *Soil Till. Res.* 67, 109-114.
- Roberson, E.B., Sarig, S., Firestone, M.K., 1991. Cover crop management of polysaccharide-mediated aggregation in an orchard soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 734-739.
- Rovira, A.D., 1956. Plant root excretions in relation to the rhizosphere effect. I. The nature of root exudate from oats and peas. *Plant Soil* 7, 178-194.
- Sarah, P. 2005. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions. *Geomorphology* 70, 1-11.
- Staver C.P. 2001. Livestock grazing for weed management. In: Liebman, M., Mohler C.L., Staver C.P. (Eds), *Ecological Management of Agricultural Weeds*. Cambridge University Press, Cambridge (UK), pp. 409-443.
- Sims, J.R., Haby, V.A., 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Sci.* 112, 137-141.
- Sikora, L.J., Stott, D.E., 1996. Soil organic carbon and nitrogen. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 157- 167.

- Tatabai, M.A., Bremner, J.M., 1970. Arylsulfatase activity of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 225-229.
- Tedders, W.L., 1983. Insect management in deciduous orchard ecosystems: habitat population. *Environ. Manage.* 7, 29-34.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17, 429-441.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141-163.
- Van Bavel, C.H., 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14, 20-23.
- Vance, E.D., 2000. Agricultural site productivity: principles derived from long-term experiments and their implications for intensively managed forests. *Forest Ecol. Manage.* 138, 369-396.
- Warren, S.D., Thurrow, T.L., Blackburn, W.H., Garza, N.E., 1986 . The influence of livestock trampling under intensive rotation grazing on soil hydrologic characteristics. *J. Range Manage.* 39, 491-495.
- Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., Samson-Liebig, S.E., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agric.* 18, 4-17.
- Wheeler, M.A., Trlica, M.J., Frasier, G.W., Reeder, J.D., 2002. Seasonal grazing affects soil physical properties of a montane riparian community. *J. Range Manage.* 55, 49-56.
- Williams, P.H., Haynes R.J., 1992a. Transformations and plant uptake of urine-sulphate in urine-affected areas of pasture soil. *Plant Soil* 145, 167-175.
- Williams, P.H., Haynes R.J., 1992b. Forms of sulphur in sheep excreta and their fate after application on to pasture soil. *J. Sci. Food Agric.* 64, 323-329.
- Wyland, L.J., Jackson, L.E., Chaney, W.E., Klonsky, K., Koike, S.T., Kimple, B., 1996. Winter cover crops in a vegetable cropping system: Impacts on nitrate leaching, soil water, crop yield, pest and management costs. *Agric. Ecosyst. Environ.* 59, 1-17.

Yong-zhong, S., Fang, W., Zhi-hui, Z., Ming-wu, D., 2007. Soil properties and characteristics of soil aggregate in marginal farmlands of oasis in the middle of Hexi Corridor region, Northwest China. *Agric. Sci. China* 66, 706-714.

CAPÍTULO 6: COVER CROPS UNDER DIFFERENT MANagements VS. FREQUENT TILLAGE IN ALMOND ORCHARDS IN SEMIARID CONDITIONS: EFFECTS ON SOIL QUALITY

Autores: María E. Ramos^{a*}, Emilio Benítez^a, Pedro A.García^b and Ana B. Robles^a

^aEstación experimental del Zaidín (CSIC). C/ Profesor Albareda, 1. 18008 Granada,
Spain. Phone: +34 958181600, Fax: +34 958129600

^bDpto. de Estadística e Investigación Operativa. Facultad de Ciencias. Universidad
de Granada. C/ Fuentenueva, s/n. 18071. Granada, Spain

*eugenia.ramos@eez.csic.es

Estado del artículo: Aceptado.

Revista: Applied Soil Ecology (DOI: 10.1016/j.apsoil.2009.08.005)

ABSTRACT

Frequent tillage has been widely used in SE Spain rainfed orchards in order to impede weed establishment and to increase water reposition in the soil profile. However, this practice may lead to soil degradation by decreasing structural stability, organic carbon content and microbial activity. This work examines the effect of different cover crop managements and frequent tillage on soil physical, chemical and biological properties in almond orchards in SE Spain. Two cover crops (oat -*Avena sativa* L.- and oat-vetch- *Vicia sativa* L.) with two fertilization managements (mineral and organic) and three harvesting regimes (grazing in mid-May, hay in early June, and grain-straw in mid-July) were compared to a frequently tilled orchard system (three or four tillages per year). Most parameters were sensitive to soil management. Wet aggregate stability, total organic carbon, total nitrogen, carbon:nitrogen ratio, phosphatase, and β -glucosidase activities increased with cover crops, whereas the soil-water content declined, especially for the grain-straw treatment. The kind of fertilizer affected the available P content, which was higher for mineral fertilizer, and influenced the β -glucosidase activity, which augmented for the organic fertilizer. Livestock dejections depressed phosphatase activity, and increased WSC and available P.

This study suggests that cover crops in semiarid environments improve soil quality compared to frequently tilled management, by increasing the organic matter content, improving the chemical and physical fertility of the soil, and enhancing the soil biological activity. Only higher water extraction by the plants could affect the orchard development and/or productivity; however, early cover crop removal would minimize possible yield losses.

Keywords: cover crops; mineral and organic fertilizer; oats; oat-vetch; semiarid environments; soil quality

1. INTRODUCTION

Rainfed orchards under semiarid conditions are highly susceptible to soil erosion due mainly to lack of organic matter and the absence of a ground cover (García et al., 2005; Madejón et al., 2007). Clean cultivation is a widespread practice that impedes the establishment of a sward under the trees. The objective is to avoid weed competition as well as to increase water infiltration by the breakage of crusts and the increase of surface roughness (Ozpinar and Cay, 2005). Nevertheless, a concomitant undesirable effect usually arises, since the destruction of the aggregates and, consequently, the break down of the soil structure and diminution of soil pores may actually occur, with the result of decreasing water infiltration (Haynes, 1980; Abid and Lal, 2009). Additionally, tillage increases soil organic matter (SOM) mineralization due to the dilution of the organic matter through mixing the horizons, exacerbating the vulnerability of soils to erosion (Cannell and Hawes, 1994; Burke et al., 1995; Ghani et al., 2003). The control of erosion and, therefore, the maintenance of health and quality in soil, depend on a change of tillage and/or soil protection techniques (De Ploey, 1989).

Cover crops provide physical protection to the soil by intercepting and reducing the impact energy of rain drops (Folorunso et al., 1992) and by holding the soil with root systems. Haynes (1980), Folorunso et al. (1992), and Manns et al. (2007) have reported improved moisture infiltration and water retention of the soil under cover crops. Also, in soils under cover crops the content in soil organic matter increased (Haynes, 1980; Folorunso et al., 1992), improving soil aggregation, structure (Oades, 1993), and microbial activity (Benítez et al., 2006), reducing surface strength (Folorunso et al., 1992), as well as, increasing nutrient cycling capacity of soil through the enhancement of the soil food web services (Du Pont et al., 2009). Despite all the above-mentioned benefits for soil quality, cover cropping in orchards is not a common practice in dry environments due to water competition, which may diminish yield.

An understanding of both short-term and long-term effects of different agricultural practices on soil is necessary to provide useful guidelines with regard to soil management that can lead to improved soil function (Wienhold et al., 2004). Soil quality depends on a large number of physical, chemical, and biological properties (Doran and Parkin, 1994; Jiménez et al., 2002). Soil organic matter (SOM) may be the most widely acknowledged indicator of soil quality, however, it can take many years to detect differences in SOM in

soils under different types of management (Weil et al., 2003). Labile fractions of SOM, such as water soluble carbon (WSC), are more sensitive to soil management. WSC comprises the easiest available sources of energy for microorganisms and, therefore, it is useful to study when analysing the soil's microbial activity (Bastida et al., 2006). In terms of physical parameters, aggregate stability is a good indicator of soil structural stability and resistance to erosion, and it has been reported to be intimately related to SOM (Tisdall and Oades, 1979; Oades, 1984). Among biological parameters, enzyme activities have been shown to be good indicators of microbial activity and they are very sensitive for detecting short-term soil responses (Dick, 1994). High levels of microbial activity are fundamental in maintaining soil quality (García et al., 2002) and fertility. Enzymes integrate information both from the microbial status and from soil physico-chemical conditions (Aon et al., 2001). The simultaneous measurements of several enzymatic activities may be useful when studying the level of bioactivity of a soil (Bastida et al., 2006). Moreover, methods used to measure the activity of soil enzymes are generally simple, rapid, accurate, and reproducible (Gregorich et al., 1994; Bandick and Dick, 1999).

The effects of cover crops on soil physical (e.g. improvement of soil structure), chemical (e.g. increased SOM), and biological properties (e.g. greater activity and abundance of earthworms) have been previously described (see Haynes, 1980), but only few studies pointed towards Mediterranean rainfed semiarid conditions (Hernández et al., 2005; Francia Martínez et al., 2006; Moreno et al., 2009).

The north of Granada province (SE Spain) is a semiarid region with low rainfall, extreme temperatures, and high erosion risk, where almond, cereal, and sheep (Segureña breed) are the main farming components. Most of the almond orchards are rainfed monocultures with low input of fertilizers and pesticides and frequently tilled to comply with the requirements of CAP (Common Agricultural Policy) subsidies (mouldboard plough in October, chisel plough in April, chisel plough in May and, if there are still weeds, chisel plough in June). From 2001 to 2007, clean cultivation was mandatory, due to a wrong interpretation of the law, in this area in order to earn the CAP subsidies for almond production. However, this measure increased the risk of erosion, soil degradation, and reduced farmer's profits as only once every 4 or 5 years do farmers obtain a profitable almond yield, due to frequent spring frosts. In this context, a diversification of the almond monoculture into an agrosilvopastoral system, where widely spaced trees are combined with high quality fodder-cover crops (cereal and legumes) and/or sheep, could be a

sustainable alternative for farmers in this area, and a protective measure against soil erosion.

In this study, we compare almond orchards under cover-crop management, subjected to different fertilization and harvesting regimes, with frequently tilled (three or four chisel tillages per year) almond orchard. For this purpose, a wide range of soil physical (aggregate stability and humidity), chemical (pH, N, P, K, water stable aggregates, total organic carbon), and biochemical (enzyme activities) parameters were used as feasible indicators of soil quality.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. STUDY AREA

The study was conducted in an almond orchard in Huéscar (northern Granada province, SE Spain, UTM coordinates: 305-535799.04-4192415.19, and 990 m a.s.l.). Trials were performed in a hypercalcic Calcisol soil (FAO, 2006), with a slope of roughly 2%. Table 1 shows the main chemical and physical soil properties for each horizon.

Table 1. Characteristics of the soil profile at the study site.

	Horizons				
	Ap1	Ap2	Ap3	Bwk	Ck1
Depth (cm)	0-12	12-25	25-42	42-68	>68
Sand (2-0.05) (%)	47	49	49	47	45
Silt (0.05-0.002) (%)	30	29	27	28	32
Clay (<0.002) (%)	23	23	24	25	23
TOC (g kg⁻¹)	8.8	8.1	6.9	6.3	3.9
N (g kg⁻¹)	1.2	1.0	0.91	0.91	0.59
C/N	7.7	8.0	7.6	7.0	6.6
P (mg kg⁻¹)	3	15	7	3	2
K (g kg⁻¹)	0.09	0.09	0.08	0.06	0.04
pH (H₂O 1:2.5)	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5
pH (KCl 1:2.5)	7.8	7.9	7.8	7.8	8

The climate in the area was continental semiarid Mediterranean, with a mean temperature of 13°C and annual rainfall of 481 mm.

The cropping history at the experimental site in the previous year was a cereal (Triticale- ×*Triticosecale* Wittm ex A Camus- or oats- *Avena sativa* L) with fallow rotation, except for the “frequently tilled” orchard (see *Experimental design*) which was tilled since 2001. Thirty t ha⁻¹ of sheep manure were applied in all the experimental plots in 2001 and 2004. No fertilizer or soil amendments were added in the “frequently tilled” plots during the study.

2.2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experiment was conducted for one growing season (2005/2006) in a 30-year-old almond orchard (*Prunus dulcis* (Miller) cv Verdiere) where tree spacing was 7 m x 14 m. Two cover crops, oats and oat-vetch (*A. sativa-Vicia sativa* L.), with two different fertilizers (organic and mineral) and three different harvesting times (grazing, hay, and grain-straw) were compared.

Prior to the establishment of the plots, the entire experimental area was ploughed and disked to create a suitable seedbed.

The experiment was performed in a split-split-plot design with ground covers as the whole-plot treatments, harvesting times as the sub-plot treatments, and fertilizer as the sub-subplot treatments, with three replicates of each sub-subplot treatment within each subplot. The whole plots occupied 1.05 ha, each, and covers were seeded on 24 January 2006 with oat (O) (density 150 kg ha⁻¹) and oat-vetch (OV) (density 150 kg ha⁻¹, rate 3:1) in 10-m-wide alleys leaving 2 m from the trunk. The whole plots were divided into three subplots (0.35 ha) and they were randomly assigned to be either “grazing” (G), “hay” (H) or “grain-straw” (GS). “G consisted of a 3-h grazing period for 2 days with 382 sheep (57.3 livestock units-LSU) in the third week of May, in early prebloom for oats and in early bloom for vetch. During grazing we estimated that sheep faeces provided about 30 kg of air-dried dung, and assuming 50% of moisture, they would have provided 2.7 kg of organic carbon (OC), equivalent to 7.6 OC kg ha⁻¹ (estimations from Petrusi et al., 1988), while sheep urine could have contributed with 0.6 to 2.8 kg, equivalent to 1.7 to 7.8 OC kg ha⁻¹ (estimations from Blaxter et al., 1966). H treatment consisted of mowing the crop 10 cm aboveground in early June when the vetch was in full bloom to early seed and when oat

grain was in the milky stage. GS consisted of the harvest of grain and straw (vetch and oat in seed) at 5 cm above ground in mid July. The subplots were divided into six sub-subplots of 588 m², which were randomly assigned to be organic or mineral (three replicates for each treatment). Quantities of fertilizer (1500 kg ha⁻¹ and 250 kg ha⁻¹, for organic and mineral, respectively) were chosen following the common practices applied by farmers in the region. The organic fertilizer was a commercial fertilizer (Ecomañán®) composed of a mixture of turf and ovine manure containing 4.62% N (total N), 1.24% P (total P), and 1.46% K (total K). The mineral fertilizer was composed by 8% N (NH₄), 24% P (P₂O₅) and 8% K (K₂O).

Biomass yields for oats and oat-vetch are included in Table 2.

Table 2. Biomass yield of oat and oat-vetch ± standard error with two kinds of fertilizer and three different harvest times. G: grazing, H: hay, GS: grain- straw.

	Oat		Oat-vetch	
	Mineral	Organic	Mineral	Organic
G	3771±46	3594±213	3297±235	3796±212
H	5483±250	5060±111	6280±375	5149±227
GS	6775±308	5649±215	6538±281	6270±70

Additionally, an adjacent almond orchard that had been subjected to frequent tillage (FT) of three or four chisel tillages (20-25 cm depth) per year since 2001 was compared (three independent plots) with the cover crops managements, pooled across fertilizer and harvesting regime.

The experimental design, plot history, treatments applications, and sampling dates are summarized (Table 3).

Sistemas agrosilvopastorales en el sudeste ibérico: una alternativa sostenible a los monocultivos leñosos

Table 3. Summary of the experimental layout.

Crop	Treatments				Plot history	Amendments	Tillage	Soil sampling Date
	Fertilizer		Harvesting					
	Type	Quantity	Type	Date				
Oat	Organic	1500 kg ha ⁻¹	Grazing	18 May 2006	Cereal-fallow	30 t ha ⁻¹ in 2004	November 2005	T1: 7 June 2006 T2: 18 July 2006
			Hay	1 June 2006				
	Mineral	250 kg ha ⁻¹	Grain-Straw	14 July 2006				
Oat-vetch	Organic	1500 kg ha ⁻¹	Grazing	18 May 2006	Cereal-fallow	30 t ha ⁻¹ in 2004	November 2005	T1: 7 June 2006 T2: 18 July 2006
			Hay	1 June 2006				
	Mineral	250 kg ha ⁻¹	Grain-Straw	14 July 2006				
Frequent tillage	None	None	None	None	Bare soil since 2001. (2-3 chisel tillages per year)	30 t ha ⁻¹ in 2004	October 2005 April 2006 June 2006	T1: 7 June 2006 T2: 18 July 2006

0

2.3. SOIL SAMPLING

Composite soil samples were randomly collected from the top 20 cm depth of soil from each sub-subplot. Sampling dates were: early June (T1) and mid July (T2), at the end of the experiment. Chemical and physical parameters were analysed at T2, except for humidity which was also analysed at T1. Biological parameters were analysed for both sampling periods (T1 and T2). Soil samples were screened at field moisture through a 2-mm sieve and homogenized. 100 grams of soil from each sample were kept in hermetic jars at field moisture and stored at 4°C for the biochemical analysis, while the rest of the sample (approximately 1.5 kg) was air-dried and stored at room temperature for further analysis.

2.4. PHYSICAL PARAMETERS

Wet aggregate stability (WAS) was estimated using the procedure described by Kemper and Rosenau (1998).

Aggregate size distribution was determined by dry sieving the fine-earth fraction using 1, 0.5 and 0.1 mm sieves in a rotary-sieve machine (Kemper and Rosenau, 1998). Mean weight diameter (MWD) was calculated as the sum of the products of i) the mean diameter (x_i), of each size fraction and ii) the proportion of the total sample weight (w_i) in the corresponding size fraction, where the summation was made over all n size fractions (Van Bavel, 1949).

$$MWD = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

Changes in the mean weight diameter (CMWD) were used as an estimate of aggregate resistance to physical abrasion (Chepil, 1962), and they were determined by pouring weighed aggregates back into the feed bin of the rotary-sieve machine, doubling the number of shakes per second, and weighing again to calculate again the MWD. The CMWD was calculated by the following expression:

$$CMWD (\%) = (MWD - MWD') / MWD \cdot 100,$$

where,

MWD: mean weight diameter after the first sieving

MWD': mean weight diameter after the second sieving

Lower values indicate little change and, therefore, greater aggregate stability.

Gravimetric moisture was estimated by weighing soil at field moisture and after oven drying at 105° C for 48 h.

2.5. CHEMICAL PARAMETERS

Total organic carbon (TOC), total N (N), available P (P), extractable K (K) were estimated by using the official methods described in Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1994).

PH was determined in a 1:2.5 (w:v) aqueous solution.

Water soluble carbon (WSC) was determined by oxidation with $K_2Cr_2O_7$ and measurements of absorbance at 590 nm (Sims and Haby, 1971) in an aqueous soil extract (1:5 (w:v)), taken after 2 h of mechanical shaking, centrifugation, and filtration through a 100 μ m membrane (García et al., 2002).

2.6. ENZYME ACTIVITIES

Dehydrogenase activity was determined by the method proposed by García et al. (1997b). One gram of soil at 60% of field water holding capacity was incubated with 0.2 mL of 0.4% INT (2-*p*-iodophenyl-3-*p*-nitrophenyl-5 phenyltetrazolium chloride) at 22°C for 20 h in darkness. The INTF (iodo-nitrotetrazolium formazan) formed was extracted with 10 mL of a mixture of 1:1.5 ethylene/chloride acetone by shaking vigorously. INTF was measured spectrophotometrically at 490 nm.

To measure phosphatase activity, two mL of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 mL of 0.115 M *p*-nitrophenyl phosphate (PNPP) were added to 0.5 g of soil and incubated at 37° C for 2 h. Afterwards, 0.5 mL of 0.5 M $CaCl_2$ and 2 mL of 0.5 M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. The *p*-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm (Nannipieri et al., 1982).

For the determination of β -glucosidase activity, two mL of 0.1 M maleate buffer (pH 6.5) and 0.5 mL of 50 mM *p*-nitrophenyl- β -D-glucopyranoside (PNG) were added to 0.5 g of soil. Then, the same procedure for determining phosphatase activity was followed (Nannipieri et al., 1982).

To determine arylsulfatase activity, four mL of 0.5 M (pH 5.8) and 1 mL 20 mM *p*-nitrophenyl sulphate were added to 2 g of soil and incubated at 20°C for two h. Then 1 mL of 0.5 M CaCl₂ and 2 mL of 1M NaOH were added to the soil mixture before centrifugation at 3500 rpm for 10 min. The *p*-nitrophenol (PNP) formed was determined in a spectrophotometer at 398 nm (Elsgaard et al., 2002).

2.7. STATISTICAL ANALYSES

Data were analysed using the GLM Repeated Measures procedure of SPSS v.15.0. Effects of the kind of crop, kind of fertilizer, and harvesting regimes for each variable were determined by a three-way ANOVA adapted for the split-split-plot design. One-way ANOVA was performed in order to compare oat, oat-vetch (both averaged across fertilizer and harvesting regime) and the frequent-tillage treatment. Differences among sampling periods were also analysed with a one-way ANOVA. Tukey-HSD tests were performed for post-hoc comparisons between levels within each considered factor. Levene and Kolmogorov-Smirnov tests were applied to check homoscedasticity and normality, respectively, to ensure that assumptions of the model were met, when these assumptions were not fulfilled, Kruskal-Wallis tests were performed.

As a way to extend the results of the Analysis of Variance and to evaluate the variables with higher contribution to differences between factor's groups, a discriminant analysis was performed. Due to deviations of normality for several variables, unequal (and relative small) sizes of the groups and since covariance matrices differ between groups formed by the dependent factor, a Non-parametric Linear Discriminant Analysis (NPLDA) model based on the *k*-Nearest Neighbour (*k*NN) algorithm was applied. This non-parametric method, based on the Mahalanobis distance of each case to each of the groups' centroids (Lachenbruch, 1975), classifies cases into the values of a dependent factor: in our case "Crop". In the discriminant analysis an initial function was computed on which the group means were as different as possible. With the same goal, a second function uncorrelated with the first was then computed. In our case, only two functions were computed because the predictors had 3 dependent groups. The method also applies a

stepwise procedure in order to select the best set of variables with the highest correlation with the factor and assesses the relative importance of each independent variable. Finally, a cross-validation leave-one-out technique recommended (McGarigal et al., 2000) was applied to the associated discriminant functions for each model to check their performance. These analyses were carried out with SPSS 15.0 for Windows.

3. RESULTS

3.1. PHYSICAL PROPERTIES

The effects of different types of soil management on moisture, WAS (wet aggregate stability) and CMWD (change of mean weight diameter) are shown in Table 4. Mean values were pooled across factors. “Fertilizer” and “harvesting” factors did not affect the FT treatment (see Materials and Methods), therefore this treatment was excluded from the interaction analysis. Moisture was higher at T1 than at T2 for all soil treatments (p -value < 0.05, Table 4). For both sampling periods this parameter was higher in FT than in OV and O (p -value < 0.001 and p -value = 0.014, at T1 and T2, respectively). Fertilizer had a moderate but significant effect on moisture at T1 (p -value < 0.001), being higher for mineral than organic. Soil under the GS treatment had lower moisture content than did the H or G treatments at T1 (p -value < 0.01, Table 4).

Both cover crops (O and OV) exerted a positive effect on WAS (p -value = 0.02), being higher than FT, although there were no differences due to kind of fertilizer or harvesting regime (Table 4).

On the other hand, CMWD was higher in OV and O, i.e. a larger decrease in MWD occurred in WAS analysis, than for FT (p -value = 0.015, Table 4). This parameter also showed a small but significant difference due to fertilizer (p -value = 0.045), being higher for organic than for the mineral fertilizer.

Table 4. Mean values \pm standard error of moisture ($g\ H_2O\ 100g\ soil^{-1}$), wet aggregate stability (WAS, %) and changes in mean weight diameter (CMWD, %) for different types of soil management in an almond orchard.

	Moisture		WAS	CMWD
	T1	T2	T2	T2
Crop (C)				
Oat (n = 18)	5.0 \pm 0.24 ^{a*}	2.4 \pm 0.1 ^a	62 \pm 1.6 ^a	15 \pm 0.45 ^a
Oat-vetch (n = 18)	5.2 \pm 0.26 ^{a*}	2.7 \pm 0.19 ^a	61 \pm 1.9 ^a	15 \pm 0.40 ^a
Frequent tillage (n = 3)	9.3 \pm 0.94 ^{b*}	4.9 \pm 0.95 ^b	44 \pm 6.1 ^b	13 \pm 0.26 ^b
F-value	20.883	8.499 ¹	7.629	4.770
p-value	<0.0001	0.014	0.002	0.015
Fertilizer (F)				
Organic (n = 18)	4.6 \pm 0.23 ^{b*}	2.7 \pm 0.16	62 \pm 1.9	16 \pm 0.39 ^a
Mineral(n = 18)	5.6 \pm 0.81 ^{a*}	2.3 \pm 0.13	62 \pm 1.5	15 \pm 0.39 ^b
F-value	16.500	4.074	0.957	4.453
p-value	<0.001	0.06	0.78	0.045
Harvesting (H)				
Grazing (n = 18)	5.5 \pm 0.30 ^{a*}	2.5 \pm 0.18	60 \pm 2.1	16 \pm 0.61
Hay (n = 18)	5.4 \pm 0.27 ^{a*}	2.6 \pm 0.24	60 \pm 1.6	16 \pm 0.42
Grain- straw (n = 18)	4.4 \pm 0.22 ^{b*}	2.4 \pm 0.15	65 \pm 2.4	15 \pm 0.49
F-value	7.449	0.446	0.295	0.722
p-value	<0.01	0.82	0.11	0.72
Interactions				
CxF	0.30	0.94	0.76	0.32
CxH	0.76	0.36	0.37	0.039
HxF	0.44	0.65	0.96	0.46
CxHxF	0.70	0.23	0.97	0.58

Different letters signify differences within one column and one factor (Crop, Fertilizer or Harvesting) according to the Tukey HSD test ($p < 0.05$), or median test, for ANOVA or Kruskal-Wallis test, respectively. Asterisks (*) indicate differences ($p < 0.05$, Tukey HSD test) in moisture between T1 and T2 for one treatment (row).

¹F-value corresponds to H-value (Kruskal-Wallis test). The crop treatment "Frequent tillage" was not subjected to any fertilizer or harvesting treatment and therefore was excluded from the interaction analysis.

3.2. CHEMICAL PROPERTIES

The different soil management practices affected some of the chemical parameters. TOC, TN, and C:N, were higher in OV, and O than in FT, (p -values = 0.003, 0.001, and 0.049, respectively) but these parameters were not affected by the kind of fertilizer or harvesting (Table 5). WSC was greater for grazing than for hay, being intermediate for grain-straw (p -value = 0.004, Table 5).

P was noticeably higher in O and FT than for OV (p -value = 0.001), whereas it was greater for mineral than for the organic fertilizer (p -value = 0.02, Table 5). K did not show significant differences among management practices (Table 5). The pH was noticeably lower in O and OV than in FT (p -value = 0.001); however, it was not influenced either by fertilizer or by harvesting types (Table 5).

Table 5. Mean values \pm standard error of total organic carbon (TOC, g kg⁻¹ soil), total nitrogen (TN, g kg⁻¹ soil), carbon nitrogen ratio (C:N), water soluble carbon (WSC, μ g g⁻¹ soil), available phosphorous (P, mg kg⁻¹ soil), available potassium (K, mg kg⁻¹ soil) and pH, measured at T2, for different types of soil management in an almond orchard.

	TOC	TN	C/N	WSC	P	K	pH
Crop (C)							
Oat (n = 18)	8.4 \pm 0.16 ^a	1.1 \pm 0.02 ^a	8.0 \pm 0.15 ^a	941 \pm 21	2.1 \pm 0.11 ^a	148 \pm 4.4	8.3 \pm 0.02 ^b
Oat-vetch (n = 18)	9.0 \pm 0.17 ^a	1.1 \pm 0.03 ^a	8.4 \pm 0.15 ^a	1012 \pm 21	1.6 \pm 0.7 ^b	162 \pm 5.5	8.3 \pm 0.02 ^b
Frequent tillage (n = 3)	5.4 \pm 1.4 ^b	0.83 \pm 0.12 ^b	6.5 \pm 1.41 ^b	901 \pm 30	2.1 \pm 0.17 ^a	186 \pm 11	8.5 \pm 0.06 ^a
F-value	11.316 ¹	8.876	6.051 ¹	3.783	8.015	2.226	9.383
p-value	0.003	0.001	0.049	0.052	0.001	0.123	0.001
Fertilizer (F)							
Organic (n = 18)	8.8 \pm 0.11	1.1 \pm 0.02	8.2 \pm 0.11	977 \pm 23	1.7 \pm 0.09 ^b	156 \pm 5.4	8.3 \pm 0.02
Mineral(n = 18)	8.6 \pm 0.22	1.1 \pm 0.02	8.2 \pm 0.19	975 \pm 22	2.0 \pm 0.13 ^a	153 \pm 4.1	8.3 \pm 0.02
F-value	0.508 ¹	1.162	0.212	0.008	6.227	0.244	0.654
p-value	0.48	0.29	0.65	0.93	0.02	0.625	0.43
Harvesting (H)							
Grazing (n = 18)	8.9 \pm 0.13	1.1 \pm 0.02	8.2 \pm 0.14	1030 \pm 31 ^a	2.0 \pm 0.07	162 \pm 9.3	8.3 \pm 0.03
Hay (n = 18)	8.3 \pm 1.0	1.1 \pm 0.03	8.0 \pm 0.23	908 \pm 20 ^b	1.6 \pm 0.09	148 \pm 3.5	8.3 \pm 0.02
Grain- straw (n = 18)	8.9 \pm 0.14	1.1 \pm 0.02	8.5 \pm 0.16	992 \pm 19 ^{ab}	1.9 \pm 0.21	155 \pm 4.1	8.3 \pm 0.01
F-value	2.770	0.859	1.649	6.534	5.012 ¹	1.179	0.474
p-value	0.08	0.63	0.21	0.004	0.082	0.325	0.63
Interactions							
CxF	NA	0.18	0.08	0.79	0.09	0.57	0.28
CxH	NA	0.61	0.16	0.01	0.002	0.81	0.82
HxF	NA	0.20	0.46	0.39	0.98	0.88	0.51
CxHxF	NA	0.62	0.19	0.91	0.65	0.25	0.92

Different letters signify differences within one column and one factor (Crop, Fertilizer or Harvesting) according to the Tukey HSD test ($p < 0.05$), or median test, for ANOVA or Kruskal-Wallis test, respectively. NA signifies not available. ¹ F-value corresponds to H-value (Kruskal-Wallis test). The crop treatment "frequent tillage" was not subjected to any fertilizer or harvesting treatment, therefore, it was excluded from the interaction analysis.

3.3. ENZYME ACTIVITIES

Different soil managements did not result in differences for arylsulphatase and dehydrogenase for either T1 or T2 sampling periods (Table 6).

At T1 organic fertilizer increased β -glucosidase activity with respect to mineral fertilizer (p -value = 0.046), whereas at T2, FT showed lower activity than did the OV and O treatments (p -value = 0.005, Table 6). Phosphatase was sensitive to the kind of crop at T1 and at T2, with OV being higher than O and FT for both sampling periods (p -value = 0.019 and p -value = 0.001, Table 6). At T2, G had the lowest phosphatase activity compared to H and GS (p -value = 0.048).

Table 6. Mean values \pm standard error of dehydrogenase ($\mu\text{g INTF g}^{-1} \text{h}^{-1}$), arylsulfatase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$), β -glucosidase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) and phosphatase ($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{h}^{-1}$) activities for different types of soil management in almond orchards.

	Dehydrogenase		Arylsulfatase		β -glucosidase		Phosphatase	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Crop (C)								
Oat (n = 18)	2.5 \pm 0.08	2.3 \pm 0.07	9.5 \pm 0.45	8.2 \pm 1.7	406 \pm 20	397 \pm 11 ^a	292 \pm 25. ^b	249. \pm 7.7 ^b
Oat-vetch (n = 18)	2.6 \pm 0.07	2.3 \pm 0.10	8.7 \pm 0.50	9.2 \pm 0.54	406 \pm 19	416 \pm 13. ^a	329 \pm 13 ^a	290.57 \pm 8.6 ^a
Frequent tillage (n = 3)	2.3 \pm 0.13	1.9 \pm 0.07	6.9 \pm 0.85	6.5 \pm 0.71	391 \pm 21	300 \pm 43. ^b	270 \pm 22 ^b	220.21 \pm 22 ^b
F-value	1.338	1.876	2.419	2.726	0.042	6.282	4.409	9.229
p-value	0.278	0.168	0.103	0.08	0.959	0.005	0.019	0.001
Fertilizer (F)								
Organic (n = 18)	2.7 \pm 0.08	2.3 \pm 0.10	9.4 \pm 0.56	8.2 \pm 0.37	436 \pm 19 ^a	406 \pm 9	315 \pm 10	274 \pm 8.2
Mineral(n = 18)	2.5 \pm 0.07	2.3 \pm 0.072	8.8 \pm 1.64	9.1 \pm 0.57	376 \pm 17 ^b	407. \pm 15	306 \pm 13	265 \pm 10
F-value	2.579	0.123	0.953	2.916	4.442	0.942	0.310	0.794
p-value	0.12	0.73	0.34	0.10	0.046	0.94	0.89	0.38
Harvesting (H)								
Grazing (n = 18)	2.6 \pm 0.10	2.3 \pm 0.13	9.7 \pm 0.55	9.1 \pm 0.39	424 \pm 26	395 \pm 14	316 \pm 15	250 \pm 15 ^b
Hay (n = 18)	2.6 \pm 0.10	2.2 \pm 0.09	9.1 \pm 0.49	8.5 \pm 0.88	413 \pm 28	415 \pm 18	306 \pm 17	284 \pm 10 ^a
Grain- straw (n = 18)	2.6 \pm 0.09	2.3 \pm 0.10	8.4 \pm 0.70	8.4 \pm 0.42	381 \pm 15	411 \pm 13	310 \pm 8.3	275 \pm 6.9 ^a
F-value	0.019	0.083	1.279	0.724	0.832	0.481	0.115	3.461
p-value	0.98	0.50	0.30	0.495	0.45	0.48	0.58	0.048
Interactions								
CxF	0.41	0.61	0.44	0.007	0.78	0.42	0.57	0.72
CxH	0.05	0.08	0.15	0.069	0.68	0.14	0.85	0.33
HxF	0.62	0.29	0.82	0.776	0.72	0.015	0.85	0.35
CxHxF	0.81	0.10	0.32	0.033	0.56	0.014	0.49	0.49

Different letters signify differences among treatments within each variable (Tukey-HSD test, $p < 0.05$). The crop treatment "Frequent tillage" was not subjected to any fertilizer or harvesting treatment and therefore was excluded from the interaction analysis.

3.4. DISCRIMINANT ANALYSIS

For the discriminant analysis all variables were used. The classification matrix (Table 7) shows the percentage (second column) and number of cases (third to fifth columns) that were correctly classified and those that were misclassified. The classification matrix indicates that all of the soils considered *a priori* as soils under oat, 94.4 % were classified as belonging to the same group, while the remaining 5.6% showed characteristics similar to those of the OV group. On the other hand, the soils at first considered to be under OVmanagement, 5.6 % presented characteristics similar to those of soils under O management. Finally, 100% of the soils considered as FT were classified as belonging to this group.

Table 7. Classification matrix after the discriminant analysis of almond orchard soil under different types of soil managements.

Group	Predicted classifications			
	Percentage correct	Oat	Oat-vetch	Frequent tillage
Oat	94.4	17	1	0
Oat-vetch	94.4	1	17	0
Frequent tillage	100	0	0	3

Second column (percentage correct) indicates the percentage of cases that were correctly classified, while third to fifth columns show the number of cases that were correctly and uncorrectly classified by the discriminant analysis.

The representation of the canonical analysis (Fig. 1) shows the distribution of the soils according to the two discriminant functions generated taking into account the kind of “crop” management (O, OV or FT). The soil variables that contributed to the classification and the values of the two canonical functions generated by the discriminant analysis are shown in Table 8.

Figure 1. Discriminant analysis of almond orchard under different soil managements.

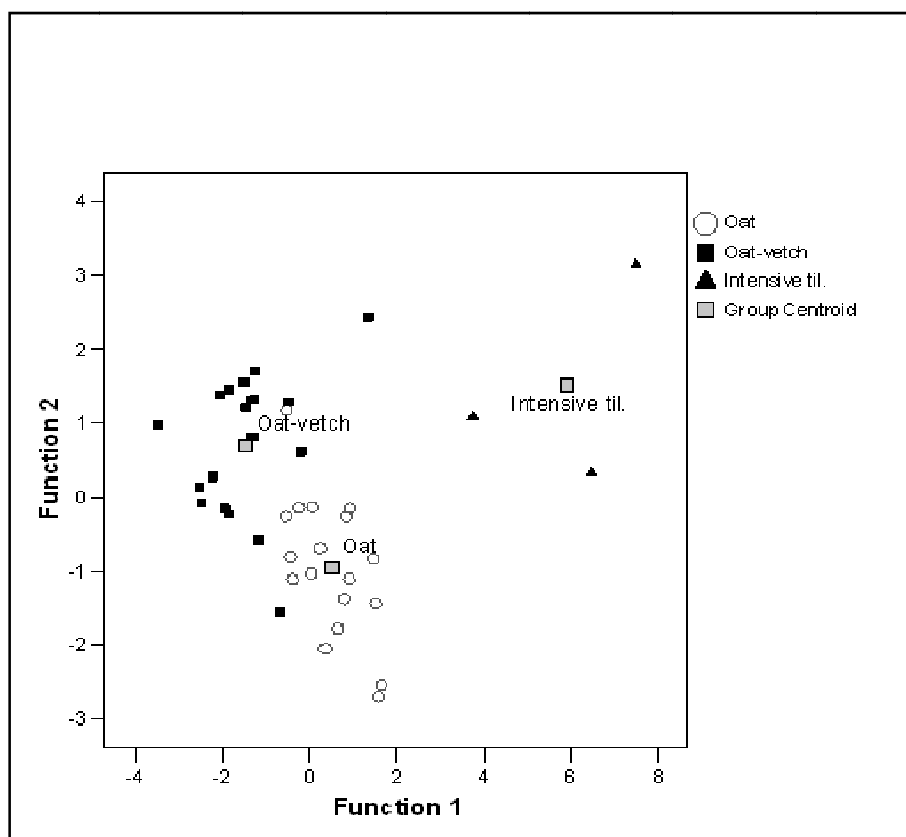


Table 8. Standardized coefficients of the canonical discriminant functions.

	Function	
	1	2
Water soluble carbon	-0.648	0.449
Phosphatase	-0.3121	0.434
Available phosphorus	1.030	-0.483
Total nitrogen	-0.750	-0.444
Moisture	0.835	0.579

4. DISCUSSION

Most of the soil properties showed differences between FT and the cover crops, however, the effect of O and OV were similar for most of them, except for phosphorus and phosphatase activity. The potential difference from the legume crop due to nitrogen fixation, for example, was not evident, possibly due to low biomass of the vetch compared to the oats. Also, the kind of fertilizer and harvesting affected many physical, chemical and biochemical properties.

4.1. PHYSICAL PROPERTIES

Knowledge of the short-term effects of soil management on aggregate stability, as an estimate of susceptibility to soil degradation, is essential when considering soil conservation strategies (Tisdall and Oades, 1982; Haynes and Francis, 1993; Boix-Fayos et al., 2001). In our study, wet aggregates stability (WAS) increased in the presence of the cover crop. Several authors (Tisdall and Oades, 1979; Tisdall and Oades, 1982; Haynes and Francis, 1993; Gale et al., 2000; Six et al., 2004) have reported that the organic substances supplied by roots, i.e. root debris and exudates, may stabilize aggregates directly or indirectly by providing a source of energy for microorganisms in the rhizosphere which may produce stabilizing materials such as mucilaginous polysaccharides. Additionally, soil organic matter content, which has been extensively correlated with aggregate stability (Oades, 1984; Caravaca et al., 2002a), may have contributed to the greater WAS for the cover crop treatments (O or OV) than for the FT soil. Changes in the mean weight diameter (CMWD) showed that, under the FT management, aggregates were more resistant to physical abrasion than under cover crops. This apparent contradiction has a double explanation: 1) the influence of differences in soil moisture, as the antecedent water content has been shown to affect aggregate stability (Cosentino et al., 2006); and 2) the higher resistance of dry aggregates to physical forces in degraded soils due to the lower organic matter content (Gale et al., 2000; Abid and Lal, 2009) and to the abundance of recalcitrant particles (Six et al., 2004).

Preserving soil moisture is one of the main goals in semiarid environments for crop development, and the main reason to avoid cover cropping under orchards in semiarid environments. The natural increase of temperatures and the decrease of rainfall in T2 (July) with respect to T1 (early June) clearly led to lower soil moisture in T2. For

both sampling periods, moisture was higher under FT management than under the cover crops. Some studies (Augé et al., 2001) reported that cover crops can increase soil moisture in the long term due to higher water holding capacity of the soil from increased soil C input and aggregation. Nevertheless, the literature on semiarid environments points out that plants boost water uptake through evapotranspiration (Haynes, 1980; Hernández et al., 2005; Haynes and Tregurtha, 1999), resulting in reduced moisture in soils with cover crops. Moreover, tillage decreases evaporation by reducing capillary water flow to the surface (Unger et al., 1991). In agreement with the above assumptions, moisture in GS, for T1, was lower than in G and H, since water uptake from plants in the G and H plots ceased some weeks or days before soil sampling, according to treatment applications (see Table 3).

4.2. CHEMICAL PROPERTIES

TOC and N were more abundant in the cover crops treatments (O and OV) than in the FT treatment. Firstly, tillage accelerated mineralization of SOM and, consequently, lower organic C and N levels are found (Gregorich et al., 1994; Ozpinar and Cay, 2005). Secondly, greater SOM due to the presence of a vegetation cover is extensively found in the literature (Kuo et al., 1997; García et al., 2005; Bastida et al., 2006; Manns et al., 2007; Fuentes et al., 2009). Rhizodeposition accounts for a substantial input of organic matter in soils (Kögel-Knabner, 2002; Bertin et al., 2003), and furthermore the potential contribution of organic carbon from roots is much greater than from crop residues (Manns et al., 2007,). Fertilizer inputs in the cover crops treatments may also have contributed to higher N values in these, with respect to the FT treatment.

The C:N ratio provides information on the capacity of the soil to store and recycle energy and nutrients (Gregorich et al., 1994). In our study, this value was below the optimum (Roig et al., 1988) in O and OV, which is consistent with the semiarid climate, and much lower in the FT treatment.

WSC is a labile part of the organic matter that is ready to be decomposed by microorganisms, and it is a short-term nutrient reservoir for plants (Caravaca et al., 2002b). Although differences were not statistically significant, possibly due to low TOC values, WSC was increased in the cover crops through root activity, i.e. exudation of low-molecular weight organic compounds (Bertin et al., 2003). Greater WSC for oat-vetch than for oat, was probably due to higher root secretions stimulated by lower P levels (Bertin et

al., 2003). Harvesting timing influenced WSC levels, with G and GS being higher than H. We hypothesise that, in the G treatment, livestock dejections, especially urine, during the grazing period resulted in a higher content of this organic compound as urine contains high amounts of WSC (Bol et al., 2003; Ghani et al., 2003). In fact, many authors have found an increase in the labile fractions of the organic matter due to added sheep urine (authors in Shand et al., 2002). Furthermore, a longer period of cropping for GS might have resulted in greater root development and longer activity, which contributed to increase WSC.

Available P was higher for O and FT than for OV, probably due to higher P requirements for legumes due to the mechanisms involved in N fixation (vetch) (Gates and Wilson, 1974). Also, mineral fertilizer provided more P than did the organic one, as plots with mineral fertilizer received 60 kg ha⁻¹ of phosphate, while plots with organic fertilizer had 18.6 kg ha⁻¹ of total phosphorus. Therefore, fertilizer inputs should be adjusted to the P requirements of each crop, according to the kind of fertilizer.

Cover cropping significantly reduced pH to neutral levels, due to the acidic root exudates, and this can directly alter nutrient availability at the root surface (Chapin, 1980). A decrease in pH due to the presence of vegetation has been also reported by other authors (Cannell and Hawes, 1994; García et al., 2005). Basic soils have low availability of important nutrients such as P, B and Fe (Porta). A diminution in pH will involve an increase in the availability of the above mentioned nutrients.

4.3. ENZYME ACTIVITIES

Many studies propose soil enzyme activities as early indicators of changes in soil properties as a consequence of land management (Dick, 1994; Dick et al., 1996; Bandick and Dick, 1999). Enzymes control nutrient release for plant and microbial growth (Gregorich et al., 1994), and therefore, high levels of microbial activity are crucial to maintain soil fertility. Despite some authors have suggested spring (García et al., 1997a) or autumn (Caravaca et al., 2002a) as the seasons with higher soil microbial activity in the Mediterranean climate because of higher soil moisture, our results did not show differences between both sampling periods: although there was indeed different moisture content between T1 (early June) and T2 (mid May).

Dehydrogenase has a significant role in the initial organic matter oxidation as it is related to microbial respiratory processes (Dick et al., 1998), and it has been

demonstrated to be a feasible indicator of soil biological activity in semiarid Mediterranean areas (Bastida et al., 2006). However, in our study this enzyme was the least sensitive enzyme to indicate differences between treatments, possibly due to low TOC levels.

In the present work, hydrolases involved in the C (β -glucosidase), P (phosphatase) and S (arylsulfatase) cycles had generally higher values in soils under cover crops (O and OV) than in the frequently tilled (FT) soils. Hydrolases are enzymes that catalyse the hydrolysis of chemical bonds, and their activities can be determined by several factors: concentration of substrate and/or product in the medium, protective effect of the organic matter, and variations in the microbial biomass (Bastida et al., 2006). Furthermore, coinciding with our findings, some authors have reported that the presence and/or the type of vegetation may influence the activity of hydrolases (Benítez et al., 2000; García et al., 2005; Bastida et al., 2006).

β -glucosidase is an important enzyme involved in the last step of cellulose degradation, related to the release of low molecular weight sugars (Jiménez de Ridder and Bonmatí, 2003). This enzyme has been demonstrated to be the most consistent in showing separation of treatment effects among other C-cycle enzymes (Bandick and Dick, 1999; Lagomarsino et al., 2009). Both cover crops (O and OV) showed higher β -glucosidase activity than in the FT treatment at T2, probably due to a greater content of cellulose materials under the cover crops. In fact, we found that this enzyme was significantly correlated to TOC ($r = 0.640$, p -value < 0.0001 , $n = 39$), in agreement with many authors (Eivazi and Tatabai, 1990; Jiménez et al., 2002; Bastida et al., 2006). Additionally, in T1, organic fertilizer showed higher activity than mineral. Two antagonistic processes may be working simultaneously. Firstly, inorganic N can partially inhibit β -glucosidase activity (Eivazi and Tatabai, 1990). Secondly, in the organically fertilized plots more carbon compounds were available, which promoted β -glucosidase activity (Benítez et al., 2006).

Phosphatase is the enzyme responsible for hydrolysing organic and inorganic P compounds so that they become available to plants (García et al., 1994). The presence of the end product of the enzymatic reaction (phosphate) inhibits the enzymatic activity or suppresses enzyme synthesis (Nannipieri et al., 1990). According to this, the higher phosphatase activity for OV than for O and FT in T2 may be attributable to the greater depletion of available P caused by legumes. In T1, fertilizer determined phosphatase

activity, being higher for organic than for mineral most probably due to higher available P in the mineral plots, as mentioned above. Other authors (Bolton et al., 1985; Benítez et al., 2006) highlight that organic amendments increase phosphatase activity. In T2, we found a decrease in the phosphatase activity in G with respect to the H and GS treatments. Once more, the answer can be found in the higher available phosphorus levels in G, due to livestock dejections (Bol et al., 2003).

Arylsulfatase is an important enzyme for the mobilisation of inorganic sulphate for plant nutrition (Bandick and Dick, 1999). In our study no differences were detected among treatments.

4.4. DISCRIMINANT ANALYSIS

The authors (Benítez et al., 2006) suggested discriminant analysis as a suitable method for classifying different soil managements in orchards in semiarid environments. In our study, the discriminant analysis was used to classify the plots according to the type of “crop” treatment (O, OV, and FT). The ultimate aim was to ascertain whether a consistent pattern of soil properties existed, determined by the middle-term use of either tillage or cover crops.

In fact, this analysis was proved effective in discriminating among the three treatments: O, OV, and FT, and a great percentage of the cases were correctly classified. In the canonical analysis each soil is represented according to the values of the variables acquired after the discriminant analysis, which gave rise to two canonical functions. Function 1 seems to discriminate mostly between FT, and O and OV, being P and moisture the variables with greatest discriminating power, which indicates higher P availability from mineralization and lower evaporation with tillage. Function 2 separated soils under O and OV, being moisture, WSC and phosphatase the variables with greatest discriminating power, all consistent with higher P uptake and greater arbuscular mycorrhizal colonization in legumes (Gates and Wilson, 1974; García et al., 2000; Augé et al., 2001). Therefore, the different managements can be differentiated according to these variables.

5. CONCLUSIONS

This study suggests that cover crops in semiarid environments improve soil quality compared to frequently tilled management, by increasing the organic matter content, improving the chemical and physical fertility of the soil, and enhancing the soil biology activity. Only higher water extraction by the plants could affect the orchard development and/or productivity; however, early cover crop removal would minimize possible yield losses.

The harvesting regime of grazing had the greatest positive effects on soil properties, resulting in higher soil moisture, greater WSC and higher available P content. Additionally, this harvesting regime would minimize the harmful effects of cover crops within orchards in semiarid environment, that is, water and nutrient competition, since grazing, can be applied earlier than the other harvesting regimes.

The discriminant analysis proved especially effective to differentiate the soil treatments (oat, oat-vetch, and frequently tilled), being P, moisture, N, WSC and phosphatase the variables that had the greatest discriminating power. Therefore, the response of the soil, pointing towards physical, chemical, and biochemical estimates, was then different according to the type of management applied, and these variables could be used to discriminate between certain agricultural practices in semiarid environments.

6. ACKNOWLEDGMENTS

We thank the staff of the “Finca Los Morales”, Patronato Rodríguez Penalva (Diputación de Granada) for lending the experimental plots and helping with the field labours, Dr. Antonio Sánchez Navarro for his supervision in the experimental design and for the soil profile studies, Dr. Cecilio Oyonarte for lending the laboratory materials for the CMWD analysis and for his comments to this work, and Dr. José Luis González Rebollar for his supervision. Isabel Sánchez Prior helped with the statistical analysis.

This work has been financed by Desarrollo Agrario y Pesquero (Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía) through the project 92.162, and a FPU-MECD grant to M.E. Ramos.

7. REFERENCES

- Abid, M., Lal, R., 2009. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. *Soil Till. Res.* 103, 364-372.
- Augé, R.M., Stodola, A.J.W., Tims, J.E., Saxton, A.M. 2001. Moisture retention properties of mycorrhizal soil. *Plant Soil* 230, 87-97.
- Aon, M.A., Cabello, M. N., Sarena, D.E., Colaneri, A.C., Franco, M.G., Burgos, J.L., Cortassa, S., 2001. I. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. *App. Soil Ecol.* 18, 239-254.
- Bandick, A.K., Dick, P.D., 1999. Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1471-1479.
- Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T., García C., 2006. Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate. *Soil Biol. Biochem.* 38, 3463-3473.
- Benítez, E., Melgar, R., Sainz, H., Gómez, M., Nogales, R., 2000. Enzyme activities in the rhizosphere of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown with olive cake. *Soil Biol. Biochem.* 32: 1829-1835
- Benítez, E., Nogales, R., Campos, M., Ruano, F., 2006. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. *App. Soil Ecol.* 32, 221-231.
- Bertin, C., Yan, X., Weston, L.A., 2003. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant Soil* 256, 67-83.
- Blaxter, K.L., Clapperton, J.L., Martin, A.K., 1966. The heat of combustion of the urine of sheep and cattle in relation to its chemical composition and to diet. *Br. J. Nutr.* 20, 449-460.
- Boix-Fayos, C., Calvo-Cases, A., Imeson, A.C., Soriano-Soto, M.D., 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44, 47-67.
- Bol, R., Kandeler, E., Amelung, W., Glaser, B., Marx, M.C., Preedy, N., Lorenz, K., 2003. Short-term effects of dairy slurry amendment on carbon sequestration and enzyme activities in a temperate grassland. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1411-1421.

- Burke, I.C., Lauenroth, W.K., Coffin, D.P., 1995. Soil organic matter recovery in semiarid grasslands: Implications for the conservation reserve program. *Ecol. Appl.* 5, 793-801.
- Cannell, R.Q., Hawes, J.D., 1994. Trends in tillage practices in relation to sustainable crop production with special reference to temperate climates. *Soil Till. Res.* 30, 245-282.
- Caravaca, F., Garcia, C., Hernández, M.T., Roldán, A., 2002a. Aggregate stability changes after organic amendment and mycorrhizal inoculation in the afforestation of a semiarid site with *Pinus halepensis*. *App. Soil Ecol.* 19, 199-208.
- Caravaca, F., Masciandaro, G., Ceccanti, B., 2002b. Land use in relation to soil chemical and biochemical properties in a semiarid Mediterranean environment. *Soil Till. Res.* 68, 23-30.
- Chapin, F.S., 1980. The mineral nutrition of wild plants. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 11, 233-260.
- Chepil, W.S., 1962. A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 4-6.
- Cosentino, D., Chenu, C., Le Bissonnais, Y., 2006. Aggregate stability and microbial community dynamics under dry-wetting cycles in a silt loam soil. *Soil Biol. Biochem.* 38, 2053-2062.
- De Ploey, J., 1989. Erosional systems and perspectives for erosion control in European loess areas. In: Schwertmann, U., Rickson, R.J., Auerswald, K. (Eds.), *Soil Erosion Protection Measures in Europe*. Catena Verlag, Germany, pp. 93-102.
- Dick, R.P., 1994. Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 107-124.
- Dick, R.P., Breakwell, D.P., Turco R.F., 1996. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 247-271.

- Dick, R.P., Myrold, D.D., Kerle, E.A., 1998. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted rehabilitated skid trail soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 512-516.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), *Defining soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 3-21.
- Du Pont, S.T., Ferris, H., Van Horn, M., 2009. Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. *App. Soil Ecol.* 41, 157-167.
- Eivazi, F., Tatabai, M.A., 1990. Factors affecting glucosidase and galactosidase activities in soils. *Soil Biol. Biochem.* 22, 891-897.
- Elsgaard, L., Andersen, G.H., Eriksen, J., 2002. Measurement of arylsulphatase activity in agricultural soils using a simplified assay. *Soil Biol. Biochem.* 34, 79-82.
- FAO, 2006. *Guidelines for soil description*. 4th edition. FAO, Rome.
- Folorunso, O.A., Rolston, D.E., Prichard, T., Louie, D.T., 1992. Soil surface strength and infiltration rate as affected by winter crops. *Soil Tech.* 5, 189-197.
- Francia Martínez, J.R., Durán Zuazo, V.H., Martínez Raya, A., 2006. Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain). *Sci. Total Environ.* 358, 46-60.
- Fuentes, M., Govaerts, B., De León, F., Hidalgo, C., Dendooven, L., Sayre, K.D., Etchevers, J., 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. *Europ. J. Agron.* 30, 228-237.
- Gale, W.J., Cambardella, C.A., Bailey, T.B., 2000. Surface residue- and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 196-201.
- García, C., Hernández, T., Costa, F., 1994. Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions. *Soil Biol. Biochem.* 26, 1185-1191.

- García, C., Roldán, A., Hernández, T., 1997a. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid Mediterranean environment. *J. Environ. Qual.* 26, 285– 291.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Albadalejo, J., 1997b. Biological and biochemical quality of a semiarid soil after induced devegetation. *J. Environ. Qual.* 26, 1116-1122.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Albaladejo, J., Castillo, V., 2000. Organic amendment and mycorrhizal inoculation as a practice in afforestation of soils with *Pinus halepensis* Miller: effect on their microbial activity. *Soil Biol. Biochem.* 32, 1173-1181.
- García, C., Hernández, T., Roldán, A., Martín, A., 2002. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate. *Soil Biol. Biochem.* 34, 635-642.
- García, C., Roldan, A., Hernández, T., 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma* 124, 193-202.
- Gates, C.T., Wilson, J., 1974. Interaction of nitrogen and phosphorus on growth, nutrient status and nodulation of *Stylosanthes humilis* H.B.K. (Townsville stylo). *Plant Soil* 41, 325-333.
- Ghani, A., Dexter, M., Perrot, K.W., 2003. Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil Biol. Biochem.* 35, 1231-1243.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H., 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Can. J. Soil Soc.* 74, 367-385.
- Haynes, R.J., 1980. Influence of soil management practice on the orchard agro-ecosystem. *Agro-Ecosystems* 6, 3-32.
- Haynes, R.J., Francis, G.S., 1993. Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44, 665- 675.

- Haynes, R.J., Tregurtha, R., 1999. Effects of increasing periods under intensive arable vegetable production on biological, chemical and physical indices of soil quality. *Biol. Fert. Soils* 28, 259-266.
- Hernández, A.J., Lacasta, C., Pastor, J., 2005. Effects of different management practices on soil conservation and soil water in a rainfed olive orchard. *Agric. Water Manage.* 77, 232-248.
- Jiménez de Ridder, P., Bonmatí Pont, M., 2003. Determinación de la actividad B-glucosidasa del suelo. In: García, C., Gil, F., Hernández, T., Trasar, C. (Eds.), *Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos: medida de actividades enzimáticas y biomasa microbiana*. Mundiprensa, Madrid, pp. 172-183.
- Jiménez, M.P., de la Horra, A.M., Pruzzo, L., Palma, R.M., 2002. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameters. *Biol. Fert. Soils* 35, 302-306.
- Kemper, W.D., Rosenau, R.C., 1998. Aggregate stability and size distribution. In: Klute, A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and Mineralogical Methods*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin (USA), pp. 425-442.
- Kögel-Knabner, I., 2002. The macromolecular organic composition of plant microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 34, 139-162.
- Kuo, S., Sainju, U.M., Jellum, E.J., 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61, 145-152.
- Lachenbruch, P.A., 1975. *Discriminant analysis*. Hafner, New York.
- Lagomarsino, A., Moscatelli, M.C., Di Tizio, A., Mancinelli, R., Grego, S., Marinari, S., 2009. Soil biochemical indicators as a tool to assess the short-term impact of agricultural management on changes in organic C in a Mediterranean environment. *Ecol. Indic.* 9, 518-527.
- Madejón, E., Moreno, F., Murillo, J.M., Pelegrín, F., 2007. Soil biochemical response to long-term conservation tillage under semi-arid Mediterranean conditions. *Soil Till. Res.* 94, 345-352.

- Manns, H.R., Maxwell, C.D., Emery, R.J.N., 2007. The effect of ground cover or initial organic carbon on soil fungi, aggregation, moisture and organic carbon in one season with oat (*Avena sativa*) plots. *Soil Till. Res.* 96, 83-94.
- McGarigal, K., Cushman, S., Stafford, S., 2000. *Multivariate Statistics for Wildlife and Ecology Research*. Springer-Verlag, New York.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1994. *Métodos Oficiales de Análisis. Volumen III*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 662 pp.
- Moreno, B., García-Rodríguez, S., Cañizares, R., Castro, J., Benítez, E., 2009. Rainfed olive farming in south-eastern Spain: Long-term effect of soil Management on biological indicators on soil quality. *Agric. Ecos. Environ.* 131, 333-339.
- Nannipieri, P., Ceccanti, B., Conti, C., Bianchi, D., 1982. Hydrolases extracted from soil: their properties and activities. *Soil Biol. Biochem.* 14, 257-263.
- Nannipieri, P., Grego, S., Ceccanti, B., 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. In: Bollag, J.M., Stotzky, G. (Eds.), *Soil Biochemistry*, Marel Dekker, New York, pp. 293-355.
- Oades, J.M., 1984. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant Soil* 76, 319-337.
- Oades, J.M., 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.
- Ozpinar, S., Cay, A., 2005. Effect of different tillage systems on the quality and crop productivity of a clay-loam soil in semi-arid north-western Turkey. *Soil Till. Res.* 88, 95-106.
- Petrussi, F., De Nobili M., Viotto, M., Sequi, P., 1988. Characterization of organic matter from animal manures alter digestión by earthworms. *Plant and Soil* 105, 41-46.
- Roig, A., Lax, A., Cegarra, J., Costa, F., Hemfindez, M.T., 1988. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manures. *Soil Sci.* 146, 311-316.
- Shand, C.A., Williams, B.L., Dawson, L.A., Smith, S., Young, M.E., 2002. Sheep urine affects soil solution nutrient composition and roots: differences between field and

- sward box soils and the effects of synthetic and natural sheep urine. *Soil Biol. Biochem.* 34, 163-171.
- Sims, J.R., Haby, V.A., 1971. Simplified colorimetric determination of soil organic matter. *Soil Sci.* 112, 137-141.
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004. A history of research on the link between micro aggregates, soil biota and soil organic matter dynamics. *Soil Till. Res.* 79, 7-31.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1979. Stabilization of soil aggregates by the root systems of ryegrass. *Aust. J. Soil Res.* 17, 429-441.
- Tisdall, J.M., Oades, J.M., 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33, 141-163.
- Unger, P.W., Stewart, B.A., Parr, J.F., Singh, R.P., 1991. Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. *Soil Till. Res.* 20, 219-240.
- Van Bavel, C.H., 1949. Mean weight diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14, 20-23.
- Weil, R.R., Islam, K.R., Stine, M.A., Gruver, J.B., Samson-Liebig, S.E., 2003. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. *Am. J. Alternative Agric.* 18, 4-17.
- Wienhold, B.J., Andrews, S.S., Karlen, D.L., 2004. Soil quality: a review of science and experiences in the USA. *Environ. Geochem. Health* 26, 89-95.

DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados de este trabajo de Tesis muestran que el uso de cubiertas vegetales en los cultivos de almendro, manejadas de forma ecológica e integrando el ganado ovino constituye una práctica beneficiosa para aumentar la producción de forraje en la finca y la calidad del suelo.

Este estudio se llevó a cabo a lo largo de 4 años, en los cuales, se abarcó un amplio rango de condiciones climáticas, incluyendo un año seco (218 mm, 2005) y tres años normales: dos más lluviosos (2004 y 2006, con 578 y 504 mm, respectivamente) y otro más seco (2007, con 390 mm) (ver Romero (1989) para clasificación de los años según las precipitaciones). Estas circunstancias han aportado información sobre la respuesta de la composición florística de los pastos naturales y sobre productividad en la zona bajo distintas condiciones climáticas, tanto para los pastos naturales como para los cultivos forrajeros.

El valor pascícola de las cubiertas espontáneas depende del manejo del suelo y de la pluviometría

Las cubiertas vegetales espontáneas (pastos naturales) que se establecieron bajo los almendros presentaron una producción y composición florística variables en función del tipo de manejo del suelo (pastoreo o laboreo) y de las precipitaciones registradas durante el período de desarrollo vegetal (Capítulo 1). La producción y la cobertura estuvieron condicionadas por la pluviometría registrada durante el período de crecimiento de las plantas para cada año, aunque debido a la heterogeneidad de las parcelas de estudio no se pudieron detectar diferencias significativas. Respecto al manejo de suelo, se pone de manifiesto que el laboreo de otoño (Tratamiento B, Capítulo 1) favoreció el desarrollo de especies arvenses (*Veronica hederifolia* L., *Papaver rhoeas* L., *Gallium aparine* L., *Roemeria hybrida* (L.) DC., *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, entre otras) junto con otras de mayor interés pascícola como *L. rigidum* y *Vicia peregrina* L. No obstante, algunas especies como *P. rhoeas*, o *D. sophia*, entre otras, son muy consumidas por el ganado, especialmente, cuando están en floración. Por este motivo, consideramos que el manejo adecuado del pastoreo con ovejas puede ejercer un papel significativo en el control de estas malas hierbas.

Por otro lado, Asimismo, se observó una elevada diversidad florística y una alta riqu

El pastoreo periódico, en ausencia de laboreo, favoreció el establecimiento de especies propias de pastos terofíticos nitrófilos y subnitrófilos (*Lolium rigidum* Gaudin, *Hordeum murinum* L., *Bromus tectorum* L., *Trigonella polyceratia* L., *Medicago minima* (L.) L., *Anacyclus clavatus* (Desf.) Pers.). Estas especies, en general, son muy apetecidas por el ganado y este hecho apoya a la denominada “paradoja pastoral” que indica que ante un pastoreo no muy intenso, las especies más palatables aumentan su abundancia, mejorando por tanto la calidad del pasto (San Miguel, 2001). No obstante, la composición florística varió notablemente en función de las precipitaciones, así, durante el año más seco se observó un descenso en la riqueza específica cercano al 50% respecto al año más lluvioso. Además, en el año más seco la calidad pascícola de las cubiertas fue menor que la del año más lluvioso, debido a la ausencia de leguminosas y al dominio de las gramíneas mediocres como *H. murinum* y *B. tectorum*. Por el contrario, en el año más lluvioso el pasto se enriqueció con especies de interés pastoral, fundamentalmente, *L. rigidum* y varias leguminosas (*T. polyceratia* y *M. minima*, entre otras).

La utilización de la práctica tradicional de redileo (tratamiento SMF, Capítulo 2) para la mejora de los pastos naturales no produjo ventajas significativas, en el primer año, en lo que a producción o composición específica se refiere respecto a la cubierta espontánea (año 2006, Capítulo 1), siendo la especie predominante *P. rhoeas*, seguida de *L. rigidum*, *D. sophia* y *R. hybrida*. La similitud entre ambas cubiertas puede deberse a que fueron manejadas del mismo modo y labrados en la misma época. Sin embargo, al año siguiente, en ausencia de laboreo, se observó cómo la vegetación evolucionó hacia un pasto terofítico nitrófilo y subnitrófilo, estando claramente dominada por *L. rigidum*, seguida de *A. minutum*, *A. clavatus* y con la presencia de leguminosas como *T. polyceratia* (Capítulo 2).

Por último, otro factor que podría influir sobre la composición específica de los pastos naturales sería la sombra del almendro, aunque no ha sido evaluado en este estudio y podría ser fruto de posteriores investigaciones. Por un lado, la copa mantiene un microclima que es menos frío en invierno y, sobretodo, más húmedo y fresco en verano; y, por otro lado, constituye un punto de concentración de animales con los consiguientes efectos de pisoteo, estercolado, introducción de semillas, etc. (Montero et al., 1998).

A pesar de la presencia de un gran número de especies de alto interés pascícola, en general, los pastos que se desarrollan entre los cultivos de almendros son pobres en leguminosas y, por tanto, en proteína. Por este motivo, es necesario llevar a cabo

investigaciones sobre mejora de pastos con especies de interés forrajero adaptadas a estos ambientes, que enriquezcan en proteína la dieta de las ovejas.

Las crucíferas y leguminosas mejoran la calidad de los pastos que crecen bajo los cultivos de almendros.

La siembra de un barbecho semillado (ley-farming, Capítulo 2), con una mezcla de gramíneas, crucíferas y leguminosas utilizada para mejorar los pastos bajo los cultivos de almendros, produjo un forraje de alta calidad. Sin embargo, las producciones fueron similares a las cubiertas espontáneas y al tratamiento de redileo (Capítulos 1 y 2). De todas las especies seleccionadas para la siembra, la gramínea, *Paspalum notatum* Fluggé, la única planta alóctona, no se estableció ya que no estaba adaptada al frío. Por el contrario, las especies autóctonas utilizadas, *Medicago sativa* L. cv Aragón, *Moricandia arvensis* (L.) DC y, sobretodo, *Vicia ervilia* L., mostraron una gran adaptación a las condiciones edafoclimáticas y una elevada palatabilidad para las ovejas. Sin embargo, la tardía fecha de siembra fue probablemente responsable de la alta incidencia de malas hierbas (54 y 58%), que, por otro lado, se redujo drásticamente (23-27%) en el segundo año, gracias a la elevada capacidad de resiembra y/o rebrote de las especies utilizadas.

Tanto las crucíferas como las leguminosas presentan elevadas concentraciones de proteínas y altas digestibilidades, especialmente en las segundas (Silva, 1987; Alibes y Tisserand, 1990; McInnis *et al.*, 1993; Robles *et al.*, 2002; Avondo y Lutri, 2005). En nuestro caso, a pesar de que la calidad del pasto fue elevada (156 g proteína cruda kg⁻¹ de materia seca, y 68% de digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica), ésta pudo haber sido aún mayor si el porcentaje de malas hierbas hubiese sido menor. No obstante, este tipo de forrajes deben ser manejados con cuidado ya que las ovejas pueden sufrir timpanismo, por ello, es importante alimentar con paja de cereal y/o henos de gramíneas (Ramón *et al.*, 1986) o pastorear en pastos más ricos en gramíneas antes de llevar al ganado a este tipo de cubiertas.

La avena y la avena-veza son cultivos aptos para la producción ecológica y pueden servir como “cubiertas forrajeras” en los cultivos de almendros

La avena es ampliamente utilizada en la zona, junto con la cebada, como cultivo forrajero, y, a menudo, es sembrada con veza para aumentar la calidad del forraje. Sin embargo, la baja productividad de la avena-veza en los años secos hace que los agricultores, a menudo, prefieran sembrar solamente avena.

La avena y la avena-veza se cultivan, generalmente, en seco, no obstante, en las fincas ganaderas que tienen tierras y agua, es frecuente que parte del forraje esté en regadío. El riego permite alimentar al ganado durante el invierno, que es una de las épocas de mayor escasez de pastos en la zona, realizar varios aprovechamientos a lo largo del año y aumentar la producción de forraje. De hecho nuestro estudio (Capítulo 3) demuestra que, en un año seco, un único episodio de riego en mayo puede llegar a aumentar la cosecha en más del doble respecto al seco. Probablemente, la producción podría incrementar aún más con la aplicación de un mayor número de riegos. En los años lluviosos, el riego se hace innecesario, ya que los costes asociados a este manejo superan a los beneficios obtenidos del incremento de cosecha.

En las fincas agroganaderas, el estiércol acumulado en los corrales suele utilizarse como enmienda para incrementar la materia orgánica del suelo, estercolando cada 3 años, aproximadamente, con 30 t ha⁻¹. Ante la inminente reconversión de la finca a la producción ecológica planteamos un experimento de dos años en el cual comparamos el abonado con estiércol ovino, procedente de la finca, frente al abonado mineral, a distintas dosis. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos tratamientos de abonado, aunque, aparentemente, con el abono mineral (15% N, 15% P₂O₅, 15% K₂O) a una dosis de 250 kg ha⁻¹, las cosechas fueron mayores. Sin embargo, la utilización del estiércol, considerado como un subproducto de la actividad ganadera de la finca y de coste cero como abono, produjo mayores beneficios económicos que la utilización del abono mineral. Esto se debe a que los costes de abonado con estiércol son menores que con abono mineral y a que los ingresos derivados de la venta de excedentes de avena son mayores cuando la producción es ecológica (estiércol) que cuando es convencional (abono mineral). No obstante, la cantidad de estiércol acumulada en los corrales en la finca de estudio es aproximadamente 150 T año⁻¹ con lo que sólo se podrían abonar 5 ha cada año. En realidad, las producciones de estiércol estarían subestimadas ya que el ganado está en régimen extensivo y pasa gran parte del tiempo en los pastos de la

finca, que son estercolados durante el período de pastoreo. A pesar de esto, la finca no podría satisfacer sus necesidades de abonado orgánico con las producciones de estiércol actuales. Por tanto, se prolongó el experimento durante dos años más comparando, esta vez, un abono mineral con un abono orgánico comercial (Ecomañán®), compuesto por estiércol de oveja y turba (Capítulo 4). El abono mineral (dosis: 250 kg ha⁻¹), en este caso, era más rico en P (8% N, 24% P₂O₅, 8% K₂O), puesto que este elemento se bloquea fácilmente con debido a las elevadas concentraciones de carbonato cálcico de los suelos de la finca.

En este caso la siembra se realizó en un cultivo de almendros, a modo de cubierta forrajera, y fue aprovechada de distintas formas, según la fenología: en pastoreo, como heno o como grano y paja. Se comparó el cultivo de avena con el de avena-veza, con una dosis baja de veza (3:1) para evitar la disminución de la producción, durante el primer año, y con una dosis más elevada (1:3) durante el segundo año. El primer año, no hubo diferencias de producción entre la avena y la avena-veza. Sin embargo, al año siguiente, en contra de lo que cabía esperar (Droushiotis 1989; Caballero et al., 1995; Lithourgidis et al., 2006), el incremento de la proporción de veza resultó en una ventajosa cosecha respecto al cultivo de avena puro para los tratamientos de heno y pastoreo, siendo las producciones similares en la cosecha de paja y grano. Las diferencias entre el abonado mineral y el abonado orgánico fueron inferiores al 10% en los dos años de estudio, siendo las producciones mayores para el abonado mineral durante el primer año, mientras que el segundo año, lo fueron para el abonado orgánico. Sin embargo, el abonado mineral incrementó considerablemente la proporción de veza cuando se aprovechó en pastoreo, sobretodo, durante el primer año, debido a las mayores necesidades de P de las leguminosas (Gates y Wilson, 1974), que son satisfechas en mayor medida por el abonado mineral, por la mayor concentración de P asimilable.

La baja proporción de veza, durante el primer año, hizo que el incremento en digestibilidad fuera pequeño y que sólo se produjera un incremento en la proteína cuando es aprovechada en pastoreo, especialmente, con el abonado mineral. A pesar de que no se pudo analizar el forraje durante el segundo año de estudio, el notable incremento en la proporción de veza habría originado un aumento en el contenido de proteína y en la digestibilidad y una disminución en la cantidad de fibra (Roberts et al., 1989; Caballero et al., 1995; Haddad y Huseim, 2001; Lithourgidis et al., 2006).

La capacidad de carga está ligada a la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, que disminuye con la madurez del cultivo, y a la productividad, que aumenta con la madurez del cultivo (Robles et al., 2009). Por este motivo, las diferencias entre los distintos momentos de aprovechamiento (pastoreo, heno, grano y paja) no fueron muy grandes, aunque la combinación avena-veza/abono mineral/heno resultó ser la más ventajosa, y avena/ abono orgánico/grano y paja, la menos.

La capacidad de carga de la avena y avena-veza aprovechadas a diente (pastoreo) resultó ser aproximadamente el doble que la capacidad de carga de las cubiertas de barbecho semillado y redileo, toda ellas pastoreadas en las mismas fechas (Capítulos 4 y 2), debido a la mayor productividad junto con una mayor digestibilidad. No obstante, el contenido en proteína es mayor para las cubiertas de leguminosas y crucíferas, que además, gracias a su composición multiespecífica, contienen una amplia variedad de nutrientes necesarios para la correcta nutrición del ganado (Talamucci y Pardini, 1999; Provenza et al., 2003). Por tanto, consideramos que mantener los diversos tipos de cubiertas (cereal, cereal-leguminosa, cubiertas espontáneas y cubiertas multiespecíficas ricas en leguminosas y crucíferas) es lo más adecuado para los agrosistemas mediterráneos de secano. Con ello, se aumenta la diversidad de pastos, lo que permite cubrir mejor las necesidades nutritivas del ganado ante cualquier variación climática, tan frecuente en estos medios.

Por último, el estudio preliminar de producción de almendra demostró que la eliminación temprana de la cubierta forrajera de avena y avena-veza, mediante pastoreo, podría ser ventajosa para la cosecha de almendra. No obstante, puesto que los almendros sólo producen una cosecha rentable cada 5 años, el agricultor puede decidir el momento de aprovechamiento de la avena o avena-veza en función de las necesidades de forraje y/o las previsiones de producción de almendra.

Las cubiertas vegetales mejoran sustancialmente las propiedades del suelo de los cultivos de almendro respecto al suelo desnudo.

Los cultivos de almendros manejados con cubiertas vegetales (cultivadas o espontáneas –pastos naturales) mostraron una mejora sustancial de la calidad del suelo respecto a los almendros manejados con suelo desnudo, reflejada en la mejora de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas del suelo.

Las variables que se mostraron más sensibles a la hora de discriminar los distintos tipos de manejo del suelo fueron: humedad, P asimilable, actividad fosfatasa, actividad arilsulfatasa, carbono hidrosoluble, estabilidad estructural de los agregados en seco y en húmedo, C orgánico total, N y actividad deshidrogenasa (Capítulos 5 y 6).

Las cubiertas vegetales aumentaron la estabilidad estructural de los agregados en húmedo, el contenido en C orgánico y N, y disminuyeron el pH en 0.2 unidades respecto al suelo labrado frecuentemente (Capítulos 5 y 6). Las actividades β - glucosidasa y fosfatasa también fueron mayores en los suelos con cubiertas, fundamentalmente, al final del experimento (julio). Sin embargo, la mayor frecuencia de pastoreo en los años previos al experimento en la zona de estudio descrita en el capítulo 5, elevó los niveles de materia orgánica y potasio, respecto a la zona del capítulo 6. Este hecho se vio reflejado, en una mayor capacidad de retención de agua en la zona del capítulo 5 respecto a la zona del capítulo 6. Además, en este caso (capítulo 5) el potasio, las actividades arilsulfatasa y deshidrogenasa también fueron mayores para las cubiertas que para el laboreo frecuente.

El único efecto negativo de las cubiertas vegetales frente al laboreo frecuente fue la disminución de la humedad del suelo, sin embargo, un pase de cultivador en primavera o el pastoreo aumentó el contenido en humedad (Capítulos 5 y 6), por lo que disminuiría la competencia de la cubierta con el cultivo. El pase del cultivador produjo un incremento de la humedad del suelo mucho mayor que el pastoreo realizado, y se mantuvieron todos los beneficios de las cubiertas sobre el suelo excepto la disminución de la estabilidad estructural y de la tasa de infiltración, debido a la formación de una costra superficial tras un episodio de tormenta veraniega.

Las cubiertas con una presencia significativa de leguminosas (barbecho-semillado y avena-veza, Capítulos 5 y 6, respectivamente) aumentaron el contenido de carbono

hidrosoluble en el suelo respecto a otras cubiertas, así como, la actividad fosfatasa, en este caso, como consecuencia de la disminución de P asimilable (Capítulo 6, Nannipieri et al., 1990).

El abonado orgánico mejoró las propiedades del suelo.

Las diferencias entre el abono orgánico y mineral se reflejaron fundamentalmente en una mayor actividad biológica (actividad enzimática) del suelo en los cultivos fertilizados orgánicamente, y en una mayor concentración de P asimilable cuando se utilizó abono mineral (Capítulos 5 y 6).

El estiércol produjo un aumento de la actividad enzimática (Capítulo 5) gracias, no sólo al aporte de materia orgánica sino también al aporte de nuevos microorganismos (Marinari et al., 2006). Todas las enzimas estudiadas, excepto la arilsulfatasa, mostraron una respuesta positiva frente al estiércol, sobretodo, cuando la dosis fue de 30 t ha⁻¹. La fosfatasa fue la enzima que mostró mayores diferencias entre el estiércol y el abono mineral, debido a que este último inhibe su actividad o su síntesis (Nannipieri et al., 1990), mientras que la materia orgánica tiene el efecto contrario (Benítez et al., 2006; Bolton et al., 1985).

El abono orgánico comercial (Ecomañán ®), se aplicó a una dosis mucho menor que el estiércol (1.5 t ha⁻¹) por lo que el aporte de materia orgánica, y microorganismos, también fue menor y, por tanto, la respuesta enzimática. En este caso, sólo la β - glucosidasa aumentó su actividad respecto al abono mineral.

El aporte de macronutrientes (N, P y K) en forma asimilable es mucho mayor con el abono mineral que con el abono orgánico. No obstante, tanto el abono orgánico comercial como el estiércol contienen gran cantidad de nutrientes que se encuentran en forma orgánica y que se irán mineralizando a lo largo del tiempo (Boyer y Groffmann, 1996), quedando disponibles para los siguientes cultivos.

En cualquier caso, la aplicación de enmiendas orgánicas es necesaria para cualquier tipo de agricultura, incluida la convencional, ya que se necesitan unos niveles mínimos de materia orgánica para que los suelos sean fértiles y productivos (Gregorich et al., 1994), e incluso para que los abonos minerales sean eficaces, gracias a su elevada capacidad de intercambio catiónico (Sikora y Stott, 1996). Por ejemplo, en suelos calizos y

con un pH elevado como los de este estudio, el fosfato mineral precipita en gran medida como fosfato cálcico, quedando bloqueado (Addiscott y Thomas, 2000). La materia orgánica contribuye a disminuir la precipitación del fosfato, ya que se une a este ión quedando disponible tras su mineralización (Addiscott y Thomas, 2000).

El pastoreo bajo los cultivos de almendro mejora las propiedades del suelo y reduce la competencia de la cubierta con el leñoso.

Como mencionamos anteriormente, la competencia por el agua y los nutrientes de la cubierta con el cultivo es una realidad, y en los ambientes semiáridos puede llegar a suponer grandes pérdidas de cosecha. Por ello, es necesaria la eliminación de la cubierta en primavera. El pastoreo produjo un aumento en la humedad del suelo debido a la reducción de la superficie vegetal transpirante. Los efectos fueron pequeños, aunque detectables, puesto que se realizó un único pastoreo en el cual se dejó más de del 50% de la vegetación. La práctica de un pastoreo periódico (cada 10-15 días, por ejemplo) puede reducir considerablemente la evapotranspiración de las plantas, permitiendo a las raíces la secreción de exudados que continúan mejorando las propiedades del suelo (Roberson et al., 1991; Oades, 1993; García et al., 2005). Incluso, se ha comprobado que la actividad de las raíces aumenta cuando las plantas son defoliadas (Macduff and Jackson, 1992), por ejemplo, mediante pastoreo. En nuestro estudio, la actividad radicular junto con las deyecciones del ganado produjo un aumento del carbono hidrosoluble y de las actividades arilsulfatasa, β -glucosidasa y fosfatasa del suelo, en condiciones de pastoreo.

El redileo es una práctica interesante para incrementar la materia orgánica del suelo, a la vez que se reducen los costes de limpieza de los establos. Sin embargo, este estudio demuestra que cuando se hace sobre el suelo labrado (Capítulo 5), puede afectar a la estructura del suelo disminuyendo la estabilidad de los agregados en húmedo. Por ello, la práctica del redileo habría que realizarla cuando el suelo está protegido por la vegetación, ya que esta reduce el impacto del pisoteo y restaura las propiedades hidrológicas del suelo (Denoia et al., 2000). Por otro lado, la utilización del redileo como método de enriquecimiento de los pastos con especies forrajeras no es eficaz cuando las especies seleccionadas presentan cubiertas de semillas blandas. En este caso, se destruyen un número muy elevado de semillas, y las que no se destruyen tienen dificultades para germinar y llegar a establecerse.

En resumen, la evaluación de la productividad y de la calidad nutritiva de las distintas cubiertas vegetales, así como, de los efectos de los distintos manejos de dichas cubiertas sobre el suelo han demostrado la idoneidad de esta práctica frente al mantenimiento del suelo desnudo, debido, principalmente, a la posibilidad de aumentar la producción de forraje de las fincas y a la mejora de las propiedades del suelo. Por otro lado, la conversión a la producción ecológica del cereal en estos ambientes con bajas necesidades de insumos es viable y sencilla de realizar, puesto que no existen plagas ni enfermedades que ataquen a este cultivo, y la incidencia de malas hierbas es muy baja (inferior al 5% a lo largo de 4 años de estudio). Sin embargo, el cultivo del cereal ecológico en la zona debería estar ligado a la producción de cordero ecológico, pero la falta de apoyos a la comercialización obliga a los ganaderos a vender estos corderos al mismo precio que los corderos convencionales.

A pesar de que la rentabilidad del almendro en esta zona es baja, es necesario cuantificar a largo plazo la afección de los distintos manejos sobre la producción de almendra con el fin de poder utilizar esta técnica también en los cultivos productivos. Por ello, se pretende abrir una nueva investigación con un proyecto a largo plazo para evaluar las distintas prácticas aquí propuestas, ensayando distintos tipos de cubiertas y distintos momentos de aprovechamiento para determinar cuál/es son más beneficiosas para el agrosistema en su conjunto, contemplando también la producción de almendra.

BIBLIOGRAFÍA

- Addiscott T.M. y Thomas D. 2000. Tillage, mineralization and leaching: phosphate. *Soil and Tillage Research* 53, 255-273.
- Alibes X. y Tisserand J.L. (Eds.) 1990. Tables of nutritive value for ruminants of Mediterranean forages and by-products. *Options Méditerranéennes, Serie B: Etudes et Recherches*, No. 4. Zaragoza, Spain.
- Avondo M. y Lutri L. 2005. Feed intake. En: Pulina G., ed. *Dairy sheep nutrition*. Oxford: CABI Publishing, pp. 65-78.
- Benítez E., Nogales R., Campos M. y Ruano F. 2006. Biochemical variability of olive-orchard soils under different management systems. *Applied Soil Ecology* 32, 221-231.
- Bolton H., Elliot L.F., Papendick R.I. y Bezdicek D.F. 1985. Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology and Biochemistry* 17, 297-302.
- Boyer J.N. y Groffman P.M. 1996. Bioavailability of water extractable organic carbon fractions in forest and agricultural soil profiles. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 783-790.
- Caballero R., Goicoechea E.L., Hernaiz P.J. 1995. Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research* 41, 135-140.
- Denoia J., Sosa O. y Martín B. 2000. Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo. *Pastos* 30, 129-141.
- Droushiotis D.N. 1989. Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *Journal of Agricultural Science* 113, 249-253.
- García C., Roldan A. y Hernández T. 2005. Ability of different plant species to promote microbiological processes in semiarid soil. *Geoderma* 124, 193-202.
- Gates C.T. y Wilson J. 1974. Interaction of nitrogen and phosphorus on growth, nutrient status and nodulation of *Stylosanthes humilis* H.B.K. (Townsville stylo). *Plant and Soil* 41, 325-333.

- Gregorich E.G., Carter M.R., Angers D.A., Monreal C.M. y Ellert B.H. 1994. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian Journal of Soil Science* 74, 367-385.
- Haddad S.G. y Husein M.Q. 2001. Nutritive value of lentil and vetch straws as compared with alfalfa hay and wheat straw for replacement ewe lambs. *Small Ruminant Research* 40, 255-260.
- Lithourgidis A.S., Vasilakoglou I.B., Dhima K.V., Dordas C.A. y Yiakoulak M.D. 2006. Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seedings ratios. *Field Crops Research* 99, 106-113.
- Marinari S., Masciandaro G., Ceccanti B. y Grego S. 2006. Evolution of soil organic matter changes using pyrolysis and metabolic indices: A comparison between organic and mineral fertilization. *Bioresource Technology* 98, 2495-2502.
- Macduff J.H. y Jackson S.B. 1992. Influx and efflux of nitrate and ammonium in Italian ryegrass and white clover roots: Comparisons between effects of darkness and defoliation. *Journal of Experimental Botany* 43, 525-535.
- Montero G., San Miguel A. y Cañellas I. 1998. Sistemas de selvicultura mediterránea. La dehesa. En: Jiménez Díaz R.M. y Lamo de Espinosa J., eds. *Agricultura Sostenible*. Madrid: Agrofuturo, LIFE y Mundiprensa, pp.519-554.
- McInnis M.L., Larson L.L. y Miller R.F. 1993. Nutrient composition of whitetop. *Journal of Range Management* 46, 227-231.
- Nannipieri P., Grego S., Ceccanti B. 1990. Ecological significance of the biological activity in soil. En: Bollag J.M. y Stotzky G., eds. *Soil Biochemistry*. Nueva York: Marel Dekker, pp. 293-355.
- Oades J.M. 1993. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. *Geoderma* 56, 377-400.
- Provenza F.D., Villalba J.J., Dziba L.E., Atwood, S.B. y Banner R.E. 2003. Linking herbivore experience, varied diets, and plant biochemical diversity. *Small Ruminant Research* 49, 257-274.

- Ramón J., Delgado I. y Valderrábano J. 1986. Primeros resultados sobre la respuesta de la alfalfa al pastoreo ovino. Actas de la XXXVI Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, pp. 99-106.
- Roberson E.B., Sarig S. y Firestone M.K., 1991. Cover crop management of polysaccharide-mediated aggregation in an orchard soil. Soil Science Society American Journal 55, 734-739.
- Roberts C.A., Moore K.J. y Johnson, K.D. 1989. Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rates. Agronomy Journal 81, 57-60.
- Robles A.B., Allegretti L.I. y Passera C.B. 2002. *Coronilla juncea* is both a nutritive fodder shrub and useful in the rehabilitation of abandoned Mediterranean marginal farmland. Journal of Arid Environment 50, 381-392.
- Robles A.B., Ruiz-Mirazo J., Ramos M.E. y González-Rebollar J.L. 2009. Role of grazing livestock in sustainable use, fire prevention and naturalization of marginal ecosystems of southeastern Spain. En: Rigueiro-Rodríguez A., McAdam J. y Mosquera-Losada M.R., eds. Agroforestry in Europe. Current Status and Future Prospects. Holanda: Springer, pp. 211-231.
- Romero M.A. 1989. Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (Cabecera del Guadalquivir). Estudio hidrogeomorfológico. Excmo. Ayuntamiento de Huéscar y Universidad de Murcia.
- San Miguel A. 2001. Pastos naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora. Madrid: Fundación Conde del Valle de Salazar y Ediciones Mundiprensa.
- Sikora L.J. y Stott D.E. 1996. Soil organic carbon and nitrogen. En: Doran J.W. y Jones, A.J., eds. Methods for assessing soil quality. Madison (USA): Soil Science Society of America, pp. 157-168.
- Silva J. 1987. Evaluación de los recursos alimenticios de la zona árida del ámbito del proyecto LUCDEME en ganado caprino. Tesis Doctoral. Córdoba: Universidad de Córdoba.

Talamucci P. y Pardini A., 1999. Pastoral systems dominated by fodder crops harvesting and grazing. *Options Méditerranéennes* 39, 29-44.

CONCLUSIONES

1. Los pastos naturales que se desarrollan bajo los cultivos de almendros muestran una elevada riqueza florística, y están dominados por especies herbáceas anuales de las familias de las gramíneas, leguminosas, compuestas, papaveráceas, crucíferas y cariofiláceas, características de tanto de comunidades arvenses como de pastos terofíticos nitrófilos y subnitrófilos dependiendo del tipo de manejo del suelo.
2. En situaciones post-cultivo con el suelo recién labrado, los pastos que se establecen son más diversos, presentan una mayor riqueza de familias y están dominados por especies arvenses, mientras que cuando el suelo no ha sido labrado en un período de tiempo superior a 1.5 años y ha sido pastoreado por ganado ovino, abundan las especies de comunidades terofíticas nitrófilas y subnitrófilas
3. Las precipitaciones condicionan no sólo la producción de pastos, sino también la riqueza florística, siendo menor durante los años secos. Además, en estos años, las especies de mayor interés pascícola, como las leguminosas o *Lolium rigidum* Gaudin, son menos abundantes.
4. Los barbechos semillados de crucíferas y leguminosas y los barbechos estercolados-semillados (mediante redileo) producen pastos de gran calidad para el ganado ovino. Sin embargo, el pasto producido en el barbecho semillado es más alto en proteína y digestibilidad que el estercolado-semillado, aunque este último es más diverso.
5. El redileo (barbecho estercolado-semillado) no resultó ser una práctica eficaz para la mejora de pastos mediante el aprovechamiento de la capacidad de dispersión endozoócora del ganado ovino. Las semillas seleccionadas fueron destruidas en su mayoría durante el paso por el tracto digestivo, probablemente debido a la falta de dureza de sus cubiertas, mientras que un elevado porcentaje de las que sobrevivieron a la digestión, no fueron capaces de establecerse.
6. Las precipitaciones, en forma de lluvia o en forma de riego, de abril y mayo determinan en gran medida la producción de avena en los ambientes semiáridos.
7. La avena y avena-veza pueden utilizarse como cultivo de cobertera en los almendrales siempre y cuando se realice un aprovechamiento temprano para evitar la competencia entre ambos cultivos.

8. El cultivo mixto de avena y veza puede producir cosechas similares o, incluso, algo superiores a las del cultivo puro de avena, siendo mayor además, la calidad nutritiva (mayor contenido proteico y digestibilidad).
9. La capacidad de carga de los cultivos de avena y avena-veza es similar en los distintos tipos de aprovechamiento -pastoreo, heno y grano y paja-, debido a que en cada momento fenológico la energía metabolizable del forraje es parecida, gracias a que la producción se compensa con la digestibilidad.
10. El tipo de abonado, mineral u orgánico (estiércol o comercial), no parece afectar a la producción, aunque el primero favorece un incremento en el porcentaje de veza y el contenido de proteína en los estadios tempranos del desarrollo.
11. El cultivo ecológico de avena, abonado con estiércol de la propia explotación, puede producir mayores beneficios económicos que el cultivo convencional; puesto que, aunque sus producciones son similares, en el modo de producción ecológica, los costes de producción son inferiores y el precio de venta es superior.
12. Los aportes orgánicos y el pastoreo, favorecieron un aumento en la actividad enzimática del suelo y, en el caso del pastoreo, además, del contenido en carbono hidrosoluble.
13. Las cubiertas vegetales, especialmente las que contienen leguminosas, mejoran la propiedades físicas (aumento de la estabilidad estructural de los agregados), químicas (aumento del contenido en carbono orgánico, carbono hidrosoluble y nitrógeno total, una disminución significativa del pH) y bioquímicas (incremento de la actividad enzimática del suelo), respecto al suelo frecuentemente labrado. Sin embargo, la cubierta vegetal reduce la humedad del suelo, aumentando ésta cuando se elimina la vegetación mediante pastoreo o mediante un pase de cultivador.

CONCLUSIONS

1. Natural pastures developed under almond orchards show a high floristic richness and are dominated by annual species belonging to the gramineae, leguminosae, compositae, papaveraceae, cruciferae and cariophyllaceae families, belonging to weed communities and to terophytic nitrophyllous and subnitrophyllous pastures, regarding the type of soil management.
2. In recently tilled soils, pastures are more diverse, have a greater family richness and are dominated by weeds. However, when the soil has not been ploughed for more than 1.5 years and it has been grazed by ovine livestock, are abundant in species of terophytic nitrophyllous and subnitrophyllous pastures.
3. Rainfalls determine not only the pastures yield but also the floristic richness, being lower during the dry years. Moreover, in these years, the highest pasture interest species, as legumes or *Lolium rigidum* Gaudin, are less abundant.
4. The ley-fallow of crucifers and legumes and the seed-manured fallow produce high quality pastures for ovine livestock. However, the pasture produced by the former has greater protein content and digestibility than the latter, which is also more diverse.
5. "Fencing" (seed-manured fallow) was not an effective practice for the improvement of pastures by using livestock endozoochorous dispersal. The selected species were massively destroyed, probably due to the lack of hardseedness, while a great percentage of the retrieved were not established.
6. May and April rainfall or irrigation are determinant for oats yield in semiarid environments.
7. Oats and oat-vetch can be used as a cover crop in almond orchards if early removed to avoid the competition among the crops and the orchard.
8. Oat-vetch can produce similar yields or even slightly higher than the oats pure stand, besides having a greater nutritive value (greater protein content and digestibility).
9. The carrying capacity of oats and oat-vetch was similar for the different harvesting regimes (grazing, hay and grain and straw), due to the fact that in every phenological state the fodder metabolizable energy is similar, as yield is counterbalanced by digestibility.

10. The type of fertilizer, mineral or organic (farmyard manure or commercial), does not seem to affect yield, although the former favoured an increment of vetch percentage and protein content, only in early phenological stages
11. Organic oats cropping, fertilized with own farmyard manure, may produce higher profits than the conventional management, as, despite yields are similar for both cropping systems, in the organic, the production costs are lower while the selling price is greater.
12. Organic fertilizers and livestock grazing boosted soil enzyme activities, and for grazing, also, water soluble carbon was increased.
13. Herbaceous covers, especially those including legumes, improve soil physical (increase of wet aggregates stability), chemical (increase of organic carbon, water soluble carbon, and total nitrogen, pH decrease) and biochemical properties (increase of soil enzyme activities) with respect to a frequently tilled orchard. However, the cover depletes soil moisture, and this is increased when it is removed by grazing or by chisel ploughing.

ANEXO I: PERFILES DEL SUELO

En la zona experimental donde se realizaron los estudios descritos en los capítulos 5 y 6 se abrieron 4 perfiles de suelo, dos por cada zona de ensayo (norte-sur y este-oeste) utilizando una retroexcavadora ello.

A continuación, se hace una descripción detallada de cada uno de ellos:

ZONA DE ENSAYO Nº 1

En esta zona se realizaron los estudios de los capítulos 2 y 5.

DATOS GENERALES

- Localidad: término municipal de Huéscar (Granada).
- Situación: unos 12 Km. al norte de Huéscar, en el paraje denominado Los Morales.
- Coordenadas UTM.: 30S 535650 4192570
- Altitud: 1010
- Pendiente: suavemente inclinado (5%)
- Posición fisiográfica: pendiente rectilínea (glacis)
- Vegetación, cultivos o uso del suelo: cultivos de almendros sobre pastos de gramíneas, leguminosas y otras nitrófilas espontáneas.
- Material original: sedimentos cuaternarios sobre material margoso.
- Condiciones de drenaje: bien drenado a algo excesivamente drenado.
- Pedregosidad: muy pedregoso.
- Afloramientos rocosos: ninguno.
- Salinidad: libre de sales.
- Erosión: hídrica laminar, débil a moderada.
- Influencia humana: pastoreo y labores de cultivo.
- Clasificación suelo: Calcisol hipercálcico (FAO, 2006)

PERFIL 1 (NORTE-SUR)

Tabla 1. Macromorfología. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm)

Hor.	Prof.	Macromorfología
Ap1	0-10	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular muy gruesa, moderadamente desarrollada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro. Fuertemente calcáreo. Abundantes gravas y pocas piedras, irregulares de calizas. Muchos poros muy finos y pocos finos. Muy pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.
Ap2	10-43	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en estado seco y pardo amarillento oscuro (10 YR 4/6) en estado húmedo. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular gruesa fuerte. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro. Fuertemente calcáreo. Abundantes gravas y pocas piedras, irregulares de calizas. Muchos poros muy finos y pocos finos. Muy pocas raíces muy finas y finas. Límite brusco, plano.
Ck1	43-67	Gris suave (10 YR 7/2) en estado seco y pardo amarillento (10 YR 5/2) en húmedo. Textura franco arcillosa y estructura masiva. Adherente, plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo, con frecuentes manchas de carbonato secundario, pequeñas, definidas y difusas, de color blanco. Frecuentes gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y muy pocos medianos. Muy pocas raíces de diversos tamaños. Límite neto, plano.
Ck2	+ 67	Gris suave (10 YR 7/2) en estado seco y pardo amarillento (10 YR 5/2) en húmedo. Textura franco arcillosa y estructura masiva. Adherente, plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo, con pocas manchas de carbonato secundario, pequeñas, definidas y difusas, de color blanco. Frecuentes gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos. Muy pocas raíces finas.

Tabla 2. Determinaciones analíticas generales. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm), MO: materia orgánica (g kg⁻¹), CO: carbono orgánico total (g kg⁻¹), N: nitrógeno total (g kg⁻¹), C/N: relación carbono nitrógeno, CaCO₃ (g kg⁻¹), Caliza: caliza activa (g kg⁻¹), pH1: pH en agua, pH2: pH en KCl, CE: conductividad eléctrica (dS m⁻¹), CCC: capacidad de cambio catiónico (cmol(+)kg⁻¹)

Hor.	Prof.	MO	CO	N	C/N	CaCO3	Caliza	pH1	pH2	C.E	CCC
Ap1	0-10	13	7,5	1,2	6,3	590	144	8,3	7,7	0,16	9,6
Ap2	10-43	5,7	3,3	1,1	3,0	746	142	8,6	7,9	0,16	6,1
Ck1	43-67	7,2	4,2	0,5	8,4	813	146	8,5	7,9	0,15	6,1
Ck2	+ 67	7,1	4,1	0,4	10,3	595	138	8,4	7,7	0,16	5,1

Tabla 3. Granulometría. Hor.: horizonte.

Hor.	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Clase textural
Ap1	29	35	36	Franco arcilloso
Ap2	31	29	40	Franco arcilloso
Ck1	30	29	42	Franco arcilloso
Ck2	32	36	32	Franco arcilloso

Tabla 4. Elementos asimilables. Na, K, Mg: g kg⁻¹. Fe, Mn, Cu, Zn y P: mg kg⁻¹. Hor.: horizonte. ND: no detectable.

Hor.	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Ap1	0,01	0,24	0,15	4	7	1	1	2.2
Ap2	0,02	0,04	0,26	2	1	ND	ND	0.8
Ck1	0,02	0,04	0,16	2	1	ND	ND	0.1
Ck2	0,01	0,20	0,23	3	6	1	1	0.8



Figura 1. Perfil 1 (zona de ensayo n^o1).

PERFIL 2 (ESTE-OESTE)

Tabla 5. Macromorfología. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm)

Hor.	Prof.	Macromorfología
Ap	0-19	Pardo (7.5YR 5/4) en seco y pardo (7.5YR 4/5) en húmedo. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular media, moderadamente desarrollada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes gravas y pocas piedras irregulares, procedentes del horizonte petrocálcico y de calizas. Muchos poros muy finos, pocos finos y pocos medianos. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite neto, ondulado.
Ap&Cmk	19-43	Pardo (7.5YR 5/4) en estado seco y pardo (7.5 YR 4/2) en húmedo. Textura franco arcillosa y estructura poliédrica subangular media, débilmente desarrollada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y muy duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes gravas y pocas piedras irregulares, procedentes del horizonte petrocálcico y de calizas. Muchos poros muy finos, pocos finos y pocos medianos. Pocas raíces muy finas y muy pocas finas. Límite brusco, irregular.
Cmk	+43	Extremadamente cementado. Horizonte petrocálcico, continuo, con estructura laminar en superficie y aglomerada en el interior.

Tabla 6. Determinaciones analíticas generales. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm), MO: materia orgánica ($g\ kg^{-1}$), CO: carbono orgánico total ($g\ kg^{-1}$), N: nitrógeno total ($g\ kg^{-1}$), C/N: relación carbono nitrógeno, $CaCO_3$ ($g\ kg^{-1}$), Caliza: caliza activa ($g\ kg^{-1}$), pH1: pH en agua, pH2: pH en KCl, CE: conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$), CCC: capacidad de cambio catiónico ($cmol(+)kg^{-1}$)

Hor.	Prof.	MO	CO	N	C/N	$CaCO_3$	Caliza	pH1	pH2	C.E	CCC
Ap	0-19	19	11	1,4	8,0	402	122	8,4	7,8	0,17	13,9
Ap&Cmk	19-43	15	8,5	1,1	7,8	486	119	8,4	7,7	0,15	13,5
Cmk	+43					856					

Tabla 7. Granulometría. Hor.: horizonte.

Hor.	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Clase textural
Ap	30,7	34,4	34,9	Franco arcilloso
Ap&Cmk	34,1	32,1	33,8	Franco arcilloso

Tabla 8. Elementos asimilables. Na, K, Mg: g kg⁻¹. Fe, Mn, Cu, Zn y P: mg kg⁻¹. Hor.: horizonte.

Hor.	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Ap	0,02	0,04	0,23	5	11	1	1	1.6
Ap&Cmk	0,02	0,16	0,25	5	8	1	1	0.2



Figura 2 Perfil 2 (zona de ensayo n^o 1).

ZONA DE ENSAYO Nº 2

En esta zona se realizaron los estudios de los capítulos 4 y 6.

DATOS GENERALES

- Localidad: término municipal de Huéscar (Granada).
- Situación: unos 12 Km. al norte de Huéscar, en el paraje conocido como Los Morales.
- Coordenadas UTM.: 30S 535772 4192426
- Altitud: 990
- Pendiente: suavemente inclinado (2%)
- Posición fisiográfica: final de glacis.
- Vegetación, cultivos o uso del suelo: cultivos de almendros, rotación de avena o triticale tipo “año y vez”.
- Material original: sedimentos cuaternarios finos.
- Condiciones de drenaje: bien drenado.
- Pedregosidad: excesivamente pedregoso.
- Afloramientos rocosos: ninguno.
- Salinidad: libre de sales.
- Erosión: hídrica laminar, débil.
- Influencia humana: labores de cultivo, rotación de avena o triticale tipo “año y vez”.
- Clasificación suelo: Calcisol háplico (FAO, 2006)

PERFIL 3 (NORTE-SUR)

Tabla 9. Macromorfología. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm)

Hor.	Prof.	Macromorfología
Ap1	0-12	Pardo (7.5YR 5/2) en seco y pardo (7.5YR 4/2) en húmedo. Textura franca y estructura migajosa muy fina y fina, moderada, desarrollada sobre todo alrededor de las abundantes raíces del cereal. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable, duro. Fuertemente calcáreo. Pocas gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos, frecuente finos y pocos gruesos. Abundantes raíces muy finas. Límite neto, plano.
Ap2	12-25	Pardo (10YR 5/3) en estado seco y pardo (10YR 4/3) en húmedo. Textura franca y estructura poliédrica subangular media y gruesa, moderada. Adherente, plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes gravas y pocas piedras, irregulares de caliza. Muchos poros muy finos, pocos finos y medianos. Pocas raíces, muy finas. Límite neto, plano.
Ap3	25-42	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco y pardo (10YR 5/3) en húmedo. Textura franca y estructura poliédrica subangular gruesa y muy gruesa, débil. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable, ligeramente duro a duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes gravas y pocas piedras, irregulares de caliza. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces, muy finas. Límite neto, plano.
Bwk	42-68	Gris rosáceo (7.5YR 6/2) en seco y pardo (7.5YR 5/2) en húmedo. Textura franca y estructura poliédrica subangular gruesa y muy gruesa, débil. Ligeramente adherente a adherente, ligeramente plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo, con muy pocas manchas blancas, pequeñas e indistintas que recubren gravas y las caras de agregados. Frecuentes gravas, irregulares de caliza. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces, muy finas. Límite neto, plano.
Ck	+68	Pardo suave (7.5YR 6/4) en estado seco y pardo (7.5 YR 5/4) en húmedo. Textura franca y estructura masiva. Adherente, ligeramente plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo, con pocas manchas (8%), pequeñas, definidas, difusas y blancas, de carbonatos secundarios. Muy pocas gravas, irregulares de caliza. Muchos poros muy finos. Sin raíces.

Tabla 10. Determinaciones analíticas generales. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm), MO: materia orgánica ($g\ kg^{-1}$), CO: carbono orgánico total ($g\ kg^{-1}$), N: nitrógeno total ($g\ kg^{-1}$), C/N: relación carbono nitrógeno, $CaCO_3$ ($g\ kg^{-1}$), Caliza: caliza activa ($g\ kg^{-1}$), pH1: pH en agua, pH2: pH en KCl, CE: conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$), CCC: capacidad de cambio catiónico ($cmol(+)kg^{-1}$)

Hor.	Prof.	MO	CO	N	C/N	$CaCO_3$	Caliza	pH1	pH2	C.E	CCC
Ap1	0-12	15,2	8,8	1,2	7,4	446	115	8,4	7,8	0,11	10,0
Ap2	12-25	14,0	8,1	1,0	8,1	438	117	8,5	7,9	0,10	10,4
Ap3	25-42	11,9	6,9	0,9	7,7	454	123	8,4	7,8	0,11	10,0
Bwk	42-68	10,9	6,3	0,9	7,0	446	125	8,3	7,8	0,11	8,7
Ck	+68	6,7	3,9	0,6	6,5	495	128	8,5	8,0	0,11	8,7

Tabla 11. Granulometría. Hor.: horizonte.

Hor.	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Clase textural
Ap1	23,3	47,2	29,5	Franco
Ap2	22,8	48,6	28,6	Franco
Ap3	23,8	49,2	27,0	Franco
Bwk	24,7	47,2	28,1	Franco
Ck	23,2	45,3	31,5	Franco

Tabla 12. Elementos asimilables. Na, K, Mg: $g\ kg^{-1}$. Fe, Mn, Cu, Zn y P: $mg\ kg^{-1}$. Hor.: horizonte. ND: no detectable.

Hor.	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Ap1	0,01	0,09	0,15	4	7	1	ND	0.3
Ap2	0,01	0,09	0,15	2	4	1	ND	1.5
Ap3	0,01	0,08	0,16	4	5	1	ND	0.7
Bwk	0,01	0,06	0,19	4	4	1	ND	0.3
Ck1	0,02	0,04	0,21	2	3	ND.	ND	0.2



Figura 3 Perfil 3 (zona de ensayo nº 2).

PERFIL 4(ESTE-OESTE)

Tabla 13. Macromorfología. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm)

Hor.	Prof.	Macromorfología
Ap1	0-11	Gris rosáceo (7.5YR 7/2) en seco y pardo (7.5YR 4/2) en húmedo. Textura franca y estructura migajosa fina y muy fina moderada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo. Frecuentes gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos, frecuentes finos y pocos medianos. Abundantes raíces muy finas. Límite neto, plano.
Ap2	11-25	Gris rosáceo (7.5YR 7/2) en estado seco y pardo (7.5YR 4/2) en húmedo. Textura franca y estructura migajosa media, débil a poliédrica subangular media moderada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable y ligeramente duro. Fuertemente calcáreo. Muy pocas gravas irregulares de naturaleza caliza. Muchos poros muy finos, pocos finos y medianos. Pocas raíces muy finas. Límite neto, plano.
Ap3	25-40	Gris rosáceo (7.5YR 6/2) en seco y pardo (7.5YR 4/2) en húmedo. Textura franca y estructura poliédrica subangular media a gruesa, moderadamente desarrollada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable o friable y duro. Fuertemente calcáreo. Abundantes gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos y pocos finos. Muy pocas raíces muy finas y finas. Límite gradual, plano.
Bwk	40-72	Gris rosáceo (7.5YR 6/2) en seco y pardo (7.5YR 4/2) en húmedo. Textura franca y estructura poliédrica subangular gruesa a muy gruesa, moderada. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable a friable, duro. Fuertemente calcáreo, con presencia de muy pocas manchas blancas, puntiformes, de carbonatos secundarios. Pocas gravas irregulares de caliza. Muchos poros muy finos y pocos finos. Pocas raíces finas. Límite neto, ondulado.
Ck	+72	Pardo suave (7.5YR 6/4) en estado seco y pardo (7.5 YR 5/4) en húmedo. Textura franco arcillo arenosa y estructura masiva. Adherente, plástico, friable y duro. Fuertemente calcáreo, con frecuentes manchas (15%) de carbonatos secundarios, pequeñas, definidas y difusas de color blanco. Abundantes gravas irregulares de caliza. Frecuentes poros muy finos. Pocas raíces finas.

Tabla 14. Determinaciones analíticas generales. Hor.: horizonte, Prof.: profundidad (cm), MO: materia orgánica ($g\ kg^{-1}$), CO: carbono orgánico total ($g\ kg^{-1}$), N: nitrógeno total ($g\ kg^{-1}$), C/N: relación carbono nitrógeno, $CaCO_3$ ($g\ kg^{-1}$), Caliza: caliza activa ($g\ kg^{-1}$), pH1: pH en agua, pH2: pH en KCl, CE: conductividad eléctrica ($dS\ m^{-1}$), CCC: capacidad de cambio catiónico ($cmol(+)kg^{-1}$)

Hor.	Prof.	MO	CO	N	C/N	$CaCO_3$	Caliza	pH1	pH2	C.E	CCC
Ap1	0-11	16,9	9,8	1,4	7,0	486	119	8,3	7,8	0,17	10,4
Ap2	11-25	15,2	8,8	1,1	8,0	520	127	8,4	7,7	0,10	8,3
Ap3	25-40	13,9	8,1	1,1	7,3	496	121	8,3	7,7	0,11	10,4
Bwk	40-72	14,1	8,2	1,0	8,2	446	127	8,4	7,3	0,11	13,5
Ck	+72	8,4	4,9	0,7	7,0	496	116	8,4	7,9	0,10	8,3

Tabla 15. Granulometría. Hor.: horizonte.

Horz.	Arcilla (%)	Arena (%)	Limo (%)	Clase textural
Ap1	20,1	46,2	33,7	Franco
Ap2	22,4	44,4	33,2	Franco
Ap3	21,9	45,7	32,4	Franco
Bwk	24,0	40,9	35,1	Franco
Ck	21,4	54,0	24,6	Franco arcillo-arenoso

Tabla 16. Elementos asimilables. Na, K, Mg: $g\ kg^{-1}$. Fe, Mn, Cu, Zn y P: $mg\ kg^{-1}$. Hor.: horizonte. ND: no detectable.

Hor.	Na	K	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	P
Ap1	0,01	0,18	0,20	2	8	1	1	1
Ap2	0,02	0,09	0,169	2	4	1	1	1
Ap3	0,01	0,08	0,173	4	5	1	ND	0,7
Bwk	0,01	0,08	0,248	5	4	1	ND	0,3
Ck	0,01	0,05	0,205	2	2	ND	ND	0,2



Figura 4. Perfil 4 (zona de ensayo nº 2).