

## Fluxos de carbono e nutrientes em *Cistus ladanifer* L.

M.P. SIMÕES<sup>1</sup>, L. GAZARINI<sup>1</sup> & M. MADEIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dep. Biologia, Universidade de Évora, Apartado 94, 7002-554 Évora, Portugal.

<sup>2</sup> Dep. Ciências do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal.

### Resumo

Estudou-se a produção de biomassa e a variação sazonal da partição de carbono pelos seus componentes, numa comunidade arbustiva de *Cistus ladanifer* L. Avaliaram-se ainda os fluxos anuais de devolução de nutrientes ao solo, através da folhada e da precipitação, assim como os efeitos dos arbustos nas características do solo.

A produção ( $1038 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) e acumulação ( $980 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) anuais de biomassa atingiram valores elevados, embora inferiores aos apontados para as espécies arbóreas presentes neste tipo de formações. A massa anual de folhada ( $451 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ), por seu lado, foi da mesma ordem de grandeza da geralmente indicada para espécies arbóreas perenifólias ou mesmo caducifólias. Grande parte da biomassa produzida foi investida em folhas (44%), as quais constituíram o componente maioritária da folhada (88%). As quantidades de nutrientes armazenados na biomassa aérea (10,50, 1,41, 6,79, 17,71 e  $1,90 \text{ g m}^{-2}$ , de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente) enquadraram-se nos intervalos obtidos para formações florestais, o mesmo se passando com os fluxos anuais de retorno ao solo, através da folhada ( $1,72, 0,41, 1,55, 4,64$  e  $0,95 \text{ g m}^{-2}$ ) e da precipitação ( $0,15, 0,01, 0,94, 0,82$  e  $0,25 \text{ g m}^{-2}$ ). Os teores de C e de N, assim como os de Ca, Mg e K de troca, e de P e K extraíveis foram mais elevados sob as copas dos arbustos do que na área fora da sua influência.

Os resultados indicam uma elevada capacidade de *C. ladanifer* para a assimilação de carbono, assim como uma elevada eficiência de utilização de água e nutrientes. Para além disso, as quantidades de nutrientes envolvidas nos fluxos anuais são comparáveis às determinadas para espécies mediterrânicas arbóreas.

### Abstract

Biomass production and accumulation of *Cistus ladanifer* shrub along with the effects of its canopy on soil characteristics. Annual biomass production and accumulation were high, although smaller than those reported for tree species (1038 and 980  $\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ) as well as deciduous forest species (1050, 1.41, 6.79, 17.71 and 1.90  $\text{g m}^{-2}$  of N, P, K, Ca and Mg, respectively). The results indicate a high capacity, as well as a high efficiency of water and nutrient fluxes involved in the process.

### Introdução

Uma das espécies mais abundantes na comunidade arbustiva de *Cistus ladanifer* L. A sua presença facilitou a sua expansão e a sua ecofisiologia desta espécie foi estudada em termos de recursos, essencialmente de carbono. Estudou-se a produção de biomassa e a partição de carbono pelos seus componentes. Avaliaram-se, ainda, os fluxos anuais de devolução de nutrientes ao solo, através da folhada e da precipitação.

### Material e métodos

#### Área experimental

O trabalho experimental foi realizado na área experimental (alt.). O clima da região é mediterrânico, com uma temperatura média de  $15,7^\circ\text{C}$  e a precipitação média anual de 1100 mm. A litologia da área experimental é constituída por granitóides e migmatitos. O solo é Litólico Não Húmido.

## Abstract

Biomass production and seasonal variation of carbon allocation were assessed in a *Cistus ladanifer* shrubland. Nutrient fluxes in litterfall and water-related pathways along with the effects of shrub presence on soil properties were also examined.

Annual biomass production ( $1038 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ) and accumulation ( $980 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ) were high, although smaller than those reported for Mediterranean trees. Litterfall mass ( $451 \text{ g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ ) was of the same magnitude than generally found for evergreen and even deciduous forests. A great proportion of biomass production was allocated to foliage (44%) and leaf litter was the main component of litterfall (88%). Nutrient pools in aboveground standing biomass (10.50, 1.41, 6.79, 17.71 e  $1.90 \text{ g m}^{-2}$ , for N, P, K, Ca and Mg, respectively), as well as annual nutrient fluxes to the soil through litterfall (1.72, 0.41, 1.55, 4.64 and  $0.95 \text{ g m}^{-2}$ ) and throughfall (0.15, 0.01, 0.94, 0.82 e  $0.25 \text{ g m}^{-2}$ ) are in the ranges reported for forests. Total organic C and N, as well as exchangeable Ca, Mg and K, and extractable P and K were more concentrated in the soil under the shrubs than in the shrub interspaces.

The results indicate that *C. ladanifer* shrubs have a high carbon assimilation capacity, as well as a high water and nutrient use efficiency. Moreover, annual nutrient fluxes involved are of the same magnitude as those found for Mediterranean trees.

## Introdução

Uma das espécies mais comuns no sub-coberto dos montados do sul de Portugal é *Cistus ladanifer* L. As mudanças que têm ocorrido nos sistemas de uso do solo têm facilitado a sua expansão, o que confere grande importância ao conhecimento da ecofisiologia desta espécie, nomeadamente no que respeita aos padrões de utilização de recursos, essencial para a gestão racional destas comunidades. Neste contexto, estudou-se a produção de biomassa e a variação sazonal da partição de carbono pelos seus componentes, numa comunidade arbustiva de *Cistus ladanifer*. Avaliaram-se, ainda, os fluxos anuais de devolução de nutrientes ao solo, através da folhada e da precipitação, assim como os efeitos dos arbustos nas características do solo.

## Material e métodos

### Área experimental

O trabalho experimental decorreu na zona de Évora ( $38^{\circ} 32' \text{ N}$ ;  $8^{\circ} 01' \text{ W}$ ; 240 m alt.). O clima da região é do tipo mediterrânico, sendo a temperatura anual média de  $15,7^{\circ}\text{C}$  e a precipitação média de 624,8 mm (Normais Climatológicas de 1961-90). A litologia da área experimental corresponde a formações de corneanas e gnaisses granitóides e migmatitos (Aguiar & Grilo, 1975). Os solos predominantes são Solos Litólicos Não Húmicos. A vegetação consiste num montado aberto de *Quercus*

*suber* L. e *Q. rotundifolia* Lam., com um sub-bosque arbustivo dominado por *Cistus salviifolius* L. e *C. ladanifer* L. incluído na classe *Cisto-Lavanduletea*.

### Amostragens e determinações

A amostragem da biomassa e da folhada decorreu de Janeiro de 1994 a Dezembro de 1995. A biomassa aérea foi quantificada, de 2 em 2 meses, por determinação directa em 3 arbustos, através da colheita e pesagem do material contido numa coluna quadrangular com 0,5 m de lado. As camadas orgânicas do solo nas mesmas áreas foram também colhidas. Na primavera de 1995, a biomassa subterrânea foi colhida por escavação, até 50 cm de profundidade, nos mesmos indivíduos e áreas utilizadas para a biomassa aérea. A folhada foi recolhida quinzenalmente, em recipientes de rede distribuídos sob a copa de 20 arbustos escolhidos ao acaso. Todos os componentes da biomassa e da folhada, depois de separados, secos (80°C) e pesados, foram moídos num moinho centrífugo com um crivo de malha de 1 mm, para análise química.

As amostras da precipitação bruta (PFC) e sob coberto (PSC) foram colhidas durante 2 anos hidrológicos (1994-95 e 1995-96), em colectores colocados em locais sem influência das copas e sob as copas de 12 arbustos escolhidos ao acaso. Das soluções obtidas, depois de filtradas e medidas separadamente, retiraram-se sub-amostras, para análise química.

As camadas minerais do solo foram amostradas à profundidade de 5 cm, com uma sonda de perfuração, quer sob as copas dos arbustos (SC), quer nos espaços fora da sua influência (FC). As amostras foram secas na estufa a 45° C e crivadas por um crivo de 2 mm, para análise química.

### Métodos analíticos

Nos materiais vegetais, o N foi determinado pelo método de Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982), com um *Kjeltec Auto 1030 Analyser*. A quantificação de P foi efectuada por colorimetria, num espectrofotómetro de U.V./Visível, no comprimento de onda de 882 nm, segundo o método de Murphy & Riley (1962) adaptado por Watanabe & Olsen (1965). As concentrações de K, Ca and Mg foram obtidas por espectrofotometria de absorção atómica após digestão.

Nas amostras aquosas o azoto amoniacal foi determinado por colorimetria, através do método do fenol-nitroprussiato, a um comprimento de onda de 636 nm (Dorich & Nelson, 1983) e o azoto nítrico pelo método espectrométrico do 2,6-dimetilfenol. O Cl e o S-SO<sub>4</sub> por electroforese capilar num Water Capillary Ion Analyzer da *Millipore*, após filtração e desgaseificação por ultrasons. As concentrações de P, K, Ca, Mg e Na foram determinadas através dos mesmos métodos que no material vegetal.

Nas amostras de solo, o C orgânico total foi determinado por combustão (1200°C); a fracção correspondente à matéria orgânica não humificada foi separada pelo método descrito por Bruckert (1979), e o respectivo teor de C determinado por via húmida. O N (Kjeldahl) foi determinado pelo sistema referido para os materiais orgânicos. A capacidade de troca cationica foi determinada pelo método do acetato de amónio ajustado a pH 7. As bases de troca (Ca, Mg, K e Na) foram quantificadas por EAA.

O P e o K extractáveis e a sua determinação foram feitos. Os dados foram analisados por recurso ao programa

### Resultados

A biomassa aérea foi quantificada, embora inferiores a outras espécies mediterrânicas arbustivas, a biomassa aérea estava incluída no total.

A massa anual de folhada foi superior aos valores referidos para o tipo mediterrânico (Arianoutsou, 1989; 1996). As folhas, com uma vida média predominante da folhada representou 43% da biomassa restituída (390 g m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>) que a renovação anual foi marcadamente sazonal, com o pico no verão, antes da secagem no inverno.

Os resultados mostraram uma acumulação líquida de nutrientes, os valores obtidos foram superiores (Kummerow *et al.*, 1996), embora a quantidade de nutrientes produzida é superior ao tipo mediterrânico. A maior parte dos nutrientes nos caules e ramos (40%) e no crescimento das componentes de regiões temperadas de componentes fotoautótrofos, a obtenção de elevadas quantidades de nutrientes superiores às das regiões temperadas determinadas nos caules (quadro 1). Os nutrientes da biomassa aérea viva, representaram 36 e 31% do total, nos ramos lenhosos (25%) encontrava-se nos caules uma quantidade red

O P e o K extractáveis foram obtidos pelo método de Egner-Riehm e o método para a sua determinação foi o utilizado para o material vegetal.

Os dados foram analisados estatisticamente através de análises de variância, com recurso ao programa SPSS vs. 13 (Apache Software Found., USA).

## Resultados

A biomassa aérea (em média,  $1569 \text{ g m}^{-2}$ ) e a biomassa subterrânea ( $1356 \text{ g m}^{-2}$ ), embora inferiores às indicadas para espécies mediterrânicas arbóreas (Canadell *et al.*, 1999; Ibáñez *et al.*, 1999), foram elevadas em comparação com outras espécies mediterrânicas arbustivas (Kummerow *et al.*, 1981). A maior proporção da biomassa aérea estava incluída nas estruturas lenhosas (64%), correspondendo as folhas a 29% do total.

A massa anual de folhada (em média,  $451 \text{ g m}^{-2}$ ) foi elevada comparativamente com os valores referidos para outras comunidades mediterrânicas arbustivas (Arianoutsou, 1989; Núñez-Olivera *et al.*, 1993), ou mesmo arbóreas (Martin *et al.*, 1996). As folhas, com uma proporção média de 86% do total, foram o componente predominante da folhada. A restituição anual de biomassa através da folhada representou 43% da produção anual total. Por seu lado, a quantidade de folhas restituídas ( $390 \text{ g m}^{-2}$ ) foi inferior à da biomassa foliar ( $441 \text{ g m}^{-2}$ ), o que significa que a renovação anual das folhas foi parcial (88%). A queda de folhada foi marcadamente sazonal, apresentando um pico de queda na primavera e início do verão, antes da secura estival, e uma acentuada redução nos meses de outono e inverno.

Os resultados mostram que a produção total de biomassa aérea ( $1038 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) e a acumulação líquida de biomassa foram elevadas ( $980 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ), enquadrando-se os valores obtidos nos intervalos indicados para este tipo de comunidades (Kummerow *et al.*, 1981). A PPL ( $1414 \text{ g m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ ) foi também bastante elevada e, embora a quantidade de biomassa se assemelhe às de outras comunidades arbustivas, a produção é superior à indicada por Gray (1982) para comunidades arbustivas do tipo mediterrânico, aproximando-se da apontada por este autor, para florestas temperadas. A maior proporção da biomassa produzida (53%) foi investida em caules e ramos (44% em folhas). Tendo em consideração que as taxas de crescimento das comunidades mediterrânicas são baixas, comparativamente com as de regiões temperadas, a elevada proporção de fotossintatos investidas na produção de componentes fotossinteticamente activos representa uma eficiente estratégia para obtenção de elevadas taxas de crescimento.

As quantidades de nutrientes armazenados na biomassa aérea (63% do total) foram superiores às da biomassa radical (37%). As maiores proporções foram determinadas nos componentes lenhosos (57%), devido à sua maior biomassa (quadro 1). Os nutrientes armazenados nas folhas compreenderam 35% do total da biomassa aérea viva. Contudo, enquanto as quantidades de N, P e K das folhas (37, 36 e 31% do total, respectivamente) eram próximas das distribuídas pelos caules e ramos lenhosos (25, 25 e 30%) e raízes (30, 30 e 28%), a maior parte do Ca encontrava-se nos caules e ramos (46%) e nas raízes (42%), incluindo-se apenas uma quantidade reduzida nas folhas (9%). A maior proporção de Mg estava

armazenada nas raízes (47%), seguidas das folhas (25%) e dos componentes lenhosos (22%). Durante o processo de senescência, as concentrações foliares de N, P e K diminuíram acentuadamente por translocação (respectivamente, 13,14, 1,71 e 6,90 mg g<sup>-1</sup> nas folhas vivas e 3,69, 0,98 e 3,43 mg g<sup>-1</sup> na folhada), o que sugere disponibilização de elevadas proporções destes elementos a partir de fontes internas.

Quadro 1. Acumulação de nutrientes (g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>) na biomassa aérea e subterrânea de *Cistus ladanifer*.

	N	P	K	Ca	Mg
Folhas vivas	5,51	0,72	2,89	2,84	0,89
Raminhos	0,44	0,09	0,53	0,47	0,09
Caules e ramos lenhosos	3,53	0,46	2,72	13,16	0,73
Flores	0,15	0,02	0,12	0,03	0,02
Frutos	0,47	0,07	0,30	0,17	0,07
Folhas senescentes	0,10	0,01	0,08	0,19	0,05
Ramos mortos	0,29	0,03	0,15	0,86	0,07
Biomassa aérea	10,50	1,41	6,79	17,71	1,90
Biomassa subterrânea	4,57	0,60	2,69	12,60	1,69

Quadro 2. Retorno de nutrientes ao solo (g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>) através da folhada de *Cistus ladanifer*.

	N	P	K	Ca	Mg
Folhas	1,44	0,38	1,34	4,34	0,90
Ramos	0,07	0,01	0,02	0,14	0,01
Flores	0,08	0,01	0,11	0,04	0,01
Frutos	0,14	0,01	0,09	0,13	0,03
Total	1,72	0,41	1,55	4,64	0,95

A devolução de nutrientes ao solo através da folhada atingiu 9,26 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, 50% dos quais corresponderam ao Ca (quadro 2). Dependendo dos elementos, o retorno anual variou entre 0,41 g m<sup>-2</sup> para o P e 4,64 g m<sup>-2</sup> para o Ca, tendo o N atingido 1,72 g m<sup>-2</sup>. As folhas constituíram o principal vector de devolução de todos os nutrientes ao solo, mais como resultado da sua elevada massa do que como reflexo das concentrações. Este componente da folhada foi responsável pelo fluxo de 83% do N, 93% do P, 87% do K e 94% do Ca e do Mg, tendo os maiores fluxos ocorrido durante a primavera e início do verão (79 to 85% do total). Os valores obtidos enquadram-se nos intervalos indicados para outras comunidades mediterrânicas arbustivas (Núñez-Olivera *et al.*, 1993) e florestais (Rapp *et al.*, 1999).

Os arbustos enriqueceram a água da precipitação que atravessou as suas copas, para a generalidade dos nutrientes, como observado noutras espécies mediterrânicas arbustivas (Bellot & Escarré, 1991) e arbóreas (Bellot & Escarré, 1991; Bellot *et al.*, 1999). As maiores taxas de enriquecimento foram obtidas para o K (6,6) e para o Mg (1,9), seguindo-se o Ca (1,1). No respeitante ao N, pelo contrário, parece ter havido absorção pelas copas dos arbustos. De acordo com Bellot & Escarré (1991), os fluxos negativos de N são frequentes nos ecossistemas mediterrânicos, onde a

disponibilidade  
estratégia de e  
precipitação for  
sendo o do K o e  
As propriedades  
As concentrações  
sob as copas, do  
bem como o da  
sob os arbustos  
bases de troca,  
semelhantes aos  
atribuir ao acrésc  
solo. Esta heter  
arbustivas, tem  
Schlesinger & Pi

## Conclusões

Os elevados valo  
uma elevada cap  
disso, as quantid  
determinadas par  
de utilização de  
às condições amb  
não só da quantid  
efectuam entre  
conservação do c  
queda das folhas  
nutrientes. O pad  
valor ecológico n  
envelhecidas, co  
estival e em sim  
permite a transfer  
que, segundo Ari  
energética. Para  
período de secura  
do ano, a lixiviaç  
queda estival das  
orgânicos sobre a  
produz um efeito  
1998), a retenção  
outro lado, a dep  
folhada e da prec  
influência das su  
fertilidade, poder  
regeneração da ve

dos componentes  
ções foliares de N,  
ente, 13,14, 1,71 e  
ada), o que sugere  
de fontes internas.

a aérea e

Mg
0,89
0,09
0,73
0,02
0,07
0,05
0,07
1,90
1,69

folhada de

g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, 50%  
mentos, o retorno  
endo o N atingido  
ção de todos os  
que como reflexo  
elo fluxo de 83%  
es fluxos ocorrido  
s valores obtidos  
es mediterrânicas  
(1999).  
s suas copas, para  
es mediterrânicas  
(1991; Bellot *et al.*,  
o K (6,6) e para o  
ntrário, parece ter  
& Escarré (1991),  
terrânicos, onde a

disponibilidade deste elemento é geralmente baixa, pelo que a sua absorção é uma estratégia de economia. Os fluxos anuais de retorno de nutrientes através da precipitação foram, contudo, muito inferiores aos efectuados através da folhada, sendo o do K o que mais se aproximou, devido à sua susceptibilidade à lixiviação.

As propriedades químicas do solo foram influenciadas pela presença dos arbustos. As concentrações de C, N, bases de troca e P e K extractáveis eram mais elevadas sob as copas, do que nas áreas fora da sua influência. O teor de Ca, Mg e K de troca, bem como o da respectiva soma, era também substancialmente mais elevado no solo sob os arbustos do que no das áreas adjacentes. Apesar da maior concentração das bases de troca, os solos das áreas sob os arbustos apresentavam valores de pH semelhantes aos determinados nos das áreas inter-arbustos. Tal facto dever-se-á atribuir ao acréscimo de matéria orgânica que constitui um factor de acidificação do solo. Esta heterogeneidade espacial da fertilidade do solo, em comunidades arbustivas, tem sido apontada por outros autores (Van Breemen & Finzi, 1998; Schlesinger & Pilmanis, 1998).

## Conclusões

Os elevados valores obtidos para a produção e acumulação de biomassa indicam uma elevada capacidade de *C. ladanifer* para a assimilação de carbono. Para além disso, as quantidades de nutrientes envolvidas nos fluxos anuais, comparáveis às determinadas para espécies mediterrânicas arbóreas, sugerem uma elevada eficiência de utilização de água e nutrientes por parte desta espécie e, portanto, boa adaptação às condições ambientais. Sendo a produtividade real dos ecossistemas dependente, não só da quantidade de carbono fixado pelas plantas, mas também da partição que efectuam entre tecido produtivo e tecido de suporte (Arianoutsou, 1989), a conservação do carbono fixado é muito importante, exercendo o padrão sazonal da queda das folhas acentuada influência no padrão de disponibilização e nos ciclos de nutrientes. O padrão observado nas espécies em estudo pode revestir-se de elevado valor ecológico nas condições mediterrânicas. Por outro lado, a abscisão das folhas envelhecidas, com menor rendimento fotossintético, antes do período de secura estival e em simultâneo com o período de crescimento vegetativo mais intenso permite a transferência de água e nutrientes para folhas mais jovens e eficazes, o que, segundo Arianoutsou (1989), representa um eficiente mecanismo de economia energética. Para além disso, o facto de a abscisão foliar máxima ocorrer antes do período de secura estival, diminui a perda de nutrientes do sistema visto, nesta época do ano, a lixiviação pela precipitação ser reduzida (Núñez-Olivera *et al.*, 1993). A queda estival das folhas assegura ainda a permanência de uma camada de resíduos orgânicos sobre a superfície do solo, ao longo do período mais seco do ano, o que produz um efeito benéfico sobre o balanço térmico do solo (Schlesinger & Pilmanis, 1998), a retenção de água e a reciclagem de nutrientes (Andreu *et al.*, 1998). Por outro lado, a deposição de elementos no solo sob a copa dos arbustos, através da folhada e da precipitação, parece resultar na acumulação de nutrientes na área de influência das suas copas. À medida que os arbustos desenvolvem estas ilhas de fertilidade, poderão promover o crescimento de espécies mais exigentes e a regeneração da vegetação.

## Agradecimentos

O presente trabalho realizou-se no âmbito do Projecto PRAXIS 3/3.2/AGR/2187/95.

## Referências

- Aguiar, F.B., & Grilo, J.T. (1975). Carta de Solos da Herdade da Mitra. Universidade de Évora. Évora. Não publicado.
- Andreu, V., Rubio, J.L., & Cerni, R. (1998). Effects of Mediterranean shrub cover on water erosion (Valencia, Spain). *Journal of Soil and Water Conservation* 53:112-120.
- Arianoutsou, M. (1989). Timing of litter production in a maquis ecosystem of north-eastern Greece. *Acta Oecologica* 10:371-378.
- Bellot, J., & Escarré, A. (1991). Chemical characteristics and temporal variations of nutrients in throughfall and stemflow of three species in Mediterranean holm oak forest. *Forest Ecology and Management* 41:125-135.
- Bellot, J., Avila, A., & Rodrigo, A. (1999). Throughfall and stemflow. En: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., & Bellot, J. (eds.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137. Springer-Verlag. Berlin. Pp: 209-222.
- Bremner, J.M., & Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen – total. En: Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monograph 9. 2nd ed. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America, Madison. Pp.: 595-624.
- Bruckert, S. (1979). Analyse des complexes organominéraux des sols. In P. Duchaufour & B. Souchier (eds.). *Pédologie. 2. Constituants et Propriétés du Sol*. Masson & Cie. Paris. Pp.: 185-209.
- Canadell, J., Djema, A., López, B., Lloret, F., Sabaté, S., Siscart, D., & Gracia, C.A. (1999). Structure and dynamics of the root system. En: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., & Bellot, J. (eds.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137. Springer-Verlag. Berlin. Pp.: 47-59.
- Dorich, R.A., & Nelson, D.W. (1983). Direct colorimetric measurement of ammonium in potassium chloride extracts of soils. *Soil Science Society of America Journal* 47:833-836.
- Gray, J.T. (1982). Community structure and productivity in *Ceanothus* chaparral and coastal sage scrub of southern California. *Ecological Monographs* 52:415-435.
- Ibáñez, J.J., Lledó, M.J., Sánchez, J.R., & Rodà, F. (1999). Stand structure, aboveground biomass and production. En: Rodà, F., Retana, J., Gracia, C.A., & Bellot, J. (eds.). *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests*. Ecological Studies 137. Springer-Verlag. Berlin. Pp.: 31-45.
- Kummerow, J., Montenegro, G., & Krause, D. (1981). Biomass, phenology, and growth. En: Miller, P.C. (ed.). *Resource Use by Chaparral and Matorral*. Ecological Studies 39. Springer-Verlag. New York. Pp.: 69-96.
- Martin, A., Gallardo, J.F., & Santa Regina, I. (1996). Aboveground litter production and bioelement potential return in evergreen oak (*Quercus rotundifolia*) woodland near Salamanca (Spain). *Annals of Forest Science* 53:811-818.

Murphy, J., &  
determinatio  
Núñez-Olivera, I.  
and nutrien  
Oecologica  
Rapp, M., Santa  
content, litter  
Forest Ecology  
Schlesinger, W.  
Biogeochemistry  
Van Breemen, N.  
and evolution  
Watanabe, F.S.,  
determining  
of America

R/2187/95.

erdade da Mitra.

anean shrub cover  
Water Conservation

cosystem of north-

temporal variations of  
Mediterranean holm

low. En: Rodà, F.,  
of Mediterranean  
Verlag. Berlin. Pp:

Page, A.L., Miller,  
t 2. Chemical and  
American Society  
595-624.

k des sols. In P.  
s et Propriétés du

D., & Gracia, C.A.  
dà, F., Retana, J.,  
an Evergreen Oak  
47-59.

measurement of  
cience Society of

thus chaparral and  
phis 52:415-435.

Stand structure,  
L. Gracia, C.A., &  
forests. Ecological

s, phenology, and  
ral and Matorral.

d litter production  
rcus rotundifolia)  
3:811-818.

- Murphy, J., & Riley, J.P. (1962). A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27:31-36.
- Núñez-Olivera, E., Martínez-Abaigar, J., & Escudero-García, J.C. (1993). Litterfall and nutrient flux in *Cistus ladanifer* L. shrubland in S.W. Spain. *Acta Oecologica* 14:361-369.
- Rapp, M., Santa Regina, I., Rico, M., & Gallego, H.A. (1999). Biomass, nutrient content, litterfall and nutrient return to the soil in Mediterranean oak forests. *Forest Ecology and Management* 119:39-49.
- Schlesinger, W.E., & Pilmanis, A.M. (1998). Plant-soil interactions in deserts. *Biogeochemistry* 42:169-187.
- Van Breemen, N., & Finzi, A.C. (1998). Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry* 42:1-19.
- Watanabe, F.S., & Olsen, S.R. (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. *Soil Society of America Proceedings* 29:677-678.