

Creixement de rebrots d'alzina en una brolla postincendi en el període entre tres i sis anys després de fertilitzar-los

Jordi de la Fuente
Jordi Sardans
Ferran Rodà

Universitat Autònoma de Barcelona.
CREAF (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals).
08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Manuscrit rebut l'abril de 1997

Resum

La disponibilitat de nutrients pot limitar la velocitat de recreixement de la vegetació després del foc, sobretot en llocs reiteradament cremats. Fruit d'un experiment de fertilització i reg, en aquest treball es valora el creixement en diàmetre basal, secció basal i alçada de rebrots d'alzina (*Quercus ilex* ssp. *ballota*) en una brolla calcícola postincendi al Bages, durant el període entre tres i sis anys després de fertilitzar-los. El 1990, cinc anys després del darrer incendi, es van tractar 78 individus en un disseny factorial amb 3 factors a 2 nivells cadascun: fertilització amb nitrogen (0 i 500 kg N/ha en aplicació única), fertilització amb fòsfor (0 i 250 kg P/ha en aplicació única) i reg (0 i 24 mm setmanals entre els mesos d'abril i agost dels anys 1991, 1992 i 1993). Entre els tres i els sis anys després de la fertilització, el creixement s'ha vist beneficiat significativament pel fòsfor en solitari (14% / 3 anys d'increment relatiu mitjà de diàmetre basal en les alzines fertilitzades amb només fòsfor respecte a un 6% / 3 anys en les alzines control) i per l'acció sinèrgica de nitrogen i fòsfor (33% / 3 anys d'increment relatiu de diàmetre basal en les alzines fertilitzades amb tots dos nutrients). El reg previ i el nitrogen en solitari no van tenir efectes significatius sobre el creixement. Aquests resultats demostren que els efectes positius de la fertilització amb P perduren no només els tres primers anys després de fertilitzar, com ja va trobar Sardans (1997), sinó que persisteixen com a mínim sis anys.

Paraules clau: creixement vegetal, ecosistemes mediterranis, fertilització, fòsfor, irrigació, limitació pels nutrients, nitrogen, *Quercus ilex*.

Abstract. Post-burn growth of holm oak resprouts between 3 and years 6 after fertilization

Regrowth of vegetation after a fire can be limited by nutrient availability, particularly after repeated burns. Using a previous field experiment of fertilization and irrigation in a burnt calcareous shrubland, we report growth rates in basal diameter, basal cross sectional area, and height for holm oak (*Quercus ilex* ssp. *ballota*) resprouts during the period between 3 and 6 years after fertilization. In 1990, five years after the last burn, 78 holm oak genets were used in a factorial design involving three factors, each at two levels: nitrogen fertilization (0 and 500 kg N/ha in a single application), phosphorus fertilization (0 and 250 kg P/ha in a single application), and irrigation (0 and 24 mm per week from April to August in 1991, 1992 and 1993). Between 3 and 6 years after fertilizing, growth was significantly

enhanced by P (mean relative growth rate in basal diameter of 14% / 3 years in holm oaks fertilized with only P, compared to 6% / 3 years in control individuals). There was a positive interaction between N and P, the mean relative growth rate in basal diameter reaching 33% / 3 years in holm oaks which had received N+P. Previous irrigation and N-only fertilization had no significant effects on growth. These results demonstrate that the positive effects of P fertilization on holm oak regrowth extend not only for the first 3 years after fertilizing as shown by Sardans (1997) but persist at least for 6 years.

Key words: fertilization, irrigation, Mediterranean ecosystems, nitrogen, nutrient limitation, phosphorus, *Quercus ilex*, plant growth.

Introducció

El creixement dels productors primaris a les comunitats mediterrànies es veu limitat per diferents factors. La manca d'aigua estival és el tret característic d'aquest clima i per tant el principal condicionant al qual s'han d'adaptar els vegetals. L'aigua és doncs possiblement el factor més limitant en aquests ecosistemes (vegeu revisions de Dum *et al.* 1977; Mooney & Parsons, 1973; Seddom, 1974; Specht, 1973; Mooney, 1989. Però també els nutrients poden ésser limitants en aquests ecosistemes (Hellmers *et al.* 1955; Kruger, 1979; Specht, 1963, 1979, McMaster *et al.* 1982; Witkowski *et al.* 1990; Carreira *et al.* 1991, 1992; Carreira, 1992).

La fertilització amb fòsfor pot provocar canvis en l'estructura i composició de les comunitats mediterrànies (Specht, 1963; Hedde & Specht, 1975), i estimular el creixement dels individus (Kruger, 1979; Hellmers *et al.* 1955; McMaster *et al.* 1982; Witkowski *et al.* 1990). La baixa disponibilitat de P afavoreix les espècies llenyoses autòctones en detriment d'espècies herbàcies, conreus o pastures (Esselink & Gils, 1994). Quant al nitrogen, experiments realitzats en un alzinar dens de rebrot a la serra de Prades (Tarragona) constaten que una bona nutrició nitrogenada combinada amb una generosa intercepció de la llum té efectes positius en el creixement de *Quercus ilex* ssp. *ilex*, almenys en anys de pluges estivals abundants (Mayor *et al.* 1994). El mateix experiment indica que l'aigua limita el creixement de les alzines a Prades (Mayor & Rodà, 1994).

L'estiu de 1990 es va dur a terme un experiment factorial de fertilització (N i P) i reg sobre les espècies llenyoses dominants d'una brolla calcícola postincendi al Bages (Sardans, 1993, 1997). L'experiment incloïa individus rebrotats de *Quercus ilex* ssp. *ballota*. La fertilització amb fòsfor va tenir un efecte positiu sobre el creixement aeri dels rebrots d'alzina en els tres primers anys després de fertilitzar (període 1990-1993). L'objectiu plantejat ara és determinar si aquest efecte del fòsfor es manté durant els tres anys següents, és a dir, en el període 1993-1996. Des d'una perspectiva bàsica, l'eventual persistència d'aquest efecte demostraria una capacitat sostinguda de les alzines de respondre a un puls de recursos limitants. Des d'un punt de vista aplicat, augmentaria l'interès de la fertilització amb fòsfor per accelerar la revegetació de zones cremades.

Àrea d'estudi

L'estudi s'ha realitzat dins del terme municipal de Sant Vicenç de Castellet (Barcelona, 41° 40' N, 1° 54' E). L'àrea d'estudi es troba en una carena ampla i lleugerament orientada al N, a una altitud de 300 m, i amb un pendent suau (0-10%). El sòl és un *Lithic haploxeroll* associat a sòls de tipus *Lithics xerorthents*, i presenta una elevada quantitat de carbonats i calç viva. La roca mare és una marga calcària, i té una concentració de fòsfor total de 374 ± 150 ppm. La precipitació mitjana anual entre els anys 1987-1993 va ser de 517 mm (X. Llovet com. pers.).

El tipus de vegetació és una brolla calcícola de romaní i bruc d'hivern amb bufalaga tinctòria. La zona ha patit tres incendis en els últims vint-i-sis anys, l'últim dels quals hi va tenir lloc el mes de juliol de 1985. Hi abunden els plançons de *Pinus halepensis* i alguns individus rebrotats de *Quercus ilex* ssp. *ballota*. Les soques d'aquests individus i els rebrots que van produir eren de mida petita, p. ex.: l'estiu de 1996, onze anys després del foc, l'alçada mitjana dels rebrots més alts de cada genet era de 80.8 cm (E.E.4.5).

Mètodes

L'experiment es basa en una manipulació en el camp de la disponibilitat d'aigua i de nutrients (N i P) mitjançant reg i fertilització, plantejament força utilitzat en aquests tipus d'estudis (Bowen *et. al.* 1984; Castell & Terradas, 1994; Cole *et. al.* 1990; Gower *et. al.* 1992; Kolb *et. al.* 1990; McNeil *et. al.* 1988; Stone, 1986; Stone *et. al.* 1989).

Es van seleccionar 78 alzines (genets) dins la zona d'estudi, i se'ls van assignar aleatòriament un de sis tractaments: C, N, P, H, NP, NPH (C = control, N = 500 kg N/ha, P = 250 kg P/ha, i H = reg setmanal equivalent a 24 mm de pluja). Cada tractament contenia tretze individus. Aquests sis tractaments permeten assolir dos dissenys factorials complets: el primer (disseny NP-reg previ) amb els factors reg i fertilització conjunta N+P, amb dos nivells cadascun i que consta dels tractaments C, NP, H, NPH, i el segon (disseny nitrogen-fòsfor) amb els factors de fertilització amb N i P per separat, també amb dos nivells, amb els tractaments C, N, P, NP. En aquests dissenys es disposava de 26 individus per a cada nivell de factor aplicat (p. ex.: en el segon disseny, 26 individus que havien rebut nitrogen i 26 que no). El fertilitzant va ser aplicat a l'agost de 1990 en una dosi única de forma manual sobre el sòl, repartida en un radi de 60 cm al voltant de l'individu. Per subministrar nitrogen s'utilitzà nitrat amònic, i per aplicar el fòsfor es va fer servir superfosfat càlcic. El reg s'aplicava en dosi de 24 mm setmanals, entre els mesos d'abril i agost, durant els anys 1991, 1992 i 1993. Si les precipitacions setmanals superaven els 24 mm no es regava, perquè es considerava que tindria poc efecte.

El mes de juliol de 1996, de manera similar a com s'havia fet l'any 1993 i el 1990, es van mesurar els rebrots de tots els individus experimentals. En els anys 1990 i 1993 es van tenir en compte els rebrots principals de cada genet, fins un màxim de tres rebrots en cas que n'hi hagués més (el nombre mitjà de rebrots

l'any 1990 era de 3.8 per genet). L'estiu del 1996 només es va mesurar el rebrot principal de cada genet, ja que considerem que és el més representatiu del creixement de l'individu. El diàmetre basal es mesurava arran del sòl amb un peu de rei, prenent dos diàmetres perpendiculars entre ells i utilitzant la mitjana dels dos. L'alçada del rebrot es mesurava des del punt d'on sortia la tija fins a la base de la fulla més alta. A partir del diàmetre basal es calculava la secció basal.

Hem utilitzat els creixements relatius ($\{\text{mida final} - \text{mida inicial}\} / \text{mida inicial}$), ja que proporcionen uns valors menys influïts per la mida inicial (1993) del rebrot que els creixements absoluts. Els valors lleugerament negatius d'augment relatiu de diàmetre basal (probablement deguts a un creixement poc apreciable, on les mesures esdevenen enganyoses) els hem mantingut perquè suposem que queden compensats amb aquells creixements sobrevalorats. Ara bé, els rebrots amb increments relatius de diàmetre basal molt negatius (-12% o més negatiu), així com els casos on el rebrot havia mort, han sigut eliminats de totes les anàlisis estadístiques, ja que en tots dos casos considerem que el rebrot que era el dominant el 1993 havia mort. Aquesta reducció de mida de la mostra afecta poc el nostre disseny: en el pitjor dels casos passem a tenir de 26 individus a 17, per nivell de factor aplicat.

Anàlisis estadístiques

Les dades analitzades en aquest treball són el creixement relatiu d'alçada, el creixement relatiu de diàmetre basal i el creixement relatiu de secció basal, sempre del rebrot dominant de cada genet, en el període 1993-1996.

En primer lloc s'efectuaren anàlisis factorials de la covariància, utilitzant com a covariable el valor inicial (del 1993) de la variable analitzada, per descomptar possibles efectes de la mida inicial. Com que en la majoria dels casos la covariable no tenia efecte significatiu, era tret del model per guanyar graus de llibertat, i el disseny passava a ser una anàlisi factorial de la variància. S'ha valorat per separat l'efecte dels nutrients i l'aigua (disseny NP-reg previ) i, d'altra banda, el paper del nitrogen i el fòsfor (disseny nitrogen-fòsfor). A més s'ha mirat si existeixen interaccions entre els factors. Es considera resposta estadísticament significativa el nivell de probabilitat inferior al 5%.

Resultats

Disseny NP-reg previ

El reg previ no afecta significativament el creixement de les alzines, en cap de les variables mesurades (taula 1). La fertilització combinada N+P augmenta significativament els creixements relatius de diàmetre basal i d'alçada: els rebrots fertilitzats van créixer de mitjana més del doble que els no fertilitzats, en les dues variables (taula 1). En canvi, l'efecte de la fertilització N+P sobre l'increment relatiu de secció basal no és significatiu, malgrat que ho sigui la variable a partir de la qual es calcula (diàmetre basal). L'explicació d'aquest fet rau en què un increment

de diàmetre no es veu tan afectat per la mida inicial dels individus com un increment de secció. L'increment de secció del tronc és la superfície de la corona circular que formen els nous anells de creixement, i per tant és una variable menys sensible que el diàmetre per detectar efectes sobre el creixement (taula 1). De totes maneres, els creixements relatius en secció basal dels rebrots fertilitzats són de mitjana gairebé el doble dels no fertilitzats. No hi va haver interacció entre els dos factors en cap de les variables analitzades.

Disseny nitrogen-fòsfor

El factor fòsfor té un efecte significatiu en el creixement secundari, mentre que el creixement relatiu d'alçada ratlla la significació (taula 2). Les alzines fertilitzades amb nitrogen també han crescut de mitjana força més que les no fertilitzades, però les diferències no són estadísticament significatives (taula 2). L'acció conjunta dels dos nutrients es manifesta com una interacció positiva marginalment significativa ($p = 0.075$), de manera que l'efecte de N+P triplica el del fòsfor en solitari (figura 1).

Taula 1. *Disseny NP-reg previ.* Creixements relatius mitjans (en % / 3 anys, \pm E.E.) de les alzines experimentals durant el període 1993-1996, segons els factors aplicats. Es dona el nivell de probabilitat (p) de l'efecte de cada factor en les AN(C)OVAs respectives.

Factor	Nivell	Creixement relatiu de:		
		Diàmetre basal	Secció basal	Alçada
Fertilització (N+P)	No	15.5 \pm 7.9	45.4 \pm 26.6	23.7 \pm 5.2
	Sí	34.5 \pm 7.1 $p = 0.01$	88.9 \pm 21.0 $p = 0.19$	50.6 \pm 13.9 $p = 0.02$
Reg previ	No	19.7 \pm 6.4	51.1 \pm 18.5	38.8 \pm 12.5
	Sí	29.5 \pm 9.5 $p = 0.33$	82.3 \pm 31.3 $p = 0.32$	32.9 \pm 6.1 $p = 0.71$

Taula 2. *Disseny nitrogen-fòsfor.* Creixements relatius mitjans (en % / 3 anys, \pm E.E.) de les alzines experimentals durant el període 1993-1996, segons els factors aplicats. Es dona el nivell de probabilitat (p) de l'efecte de cada factor en les AN(C)OVAs respectives.

Factor	Nivell	Creixement relatiu de:		
		Diàmetre basal	Secció basal	Alçada
Nitrogen	No	9.8 \pm 3.6	22.7 \pm 8.5	24.3 \pm 4.5
	Sí	18.8 \pm 6.4 $p = 0.27$	49.0 \pm 18.6 $p = 0.24$	39.3 \pm 12.9 $p = 0.33$
Fòsfor	No	5.4 \pm 3.0	12.8 \pm 6.7	18.4 \pm 4.7
	Sí	24.7 \pm 6.6 $p = 0.01$	62.9 \pm 19.7 $p = 0.02$	46.4 \pm 13.5 $p = 0.06$

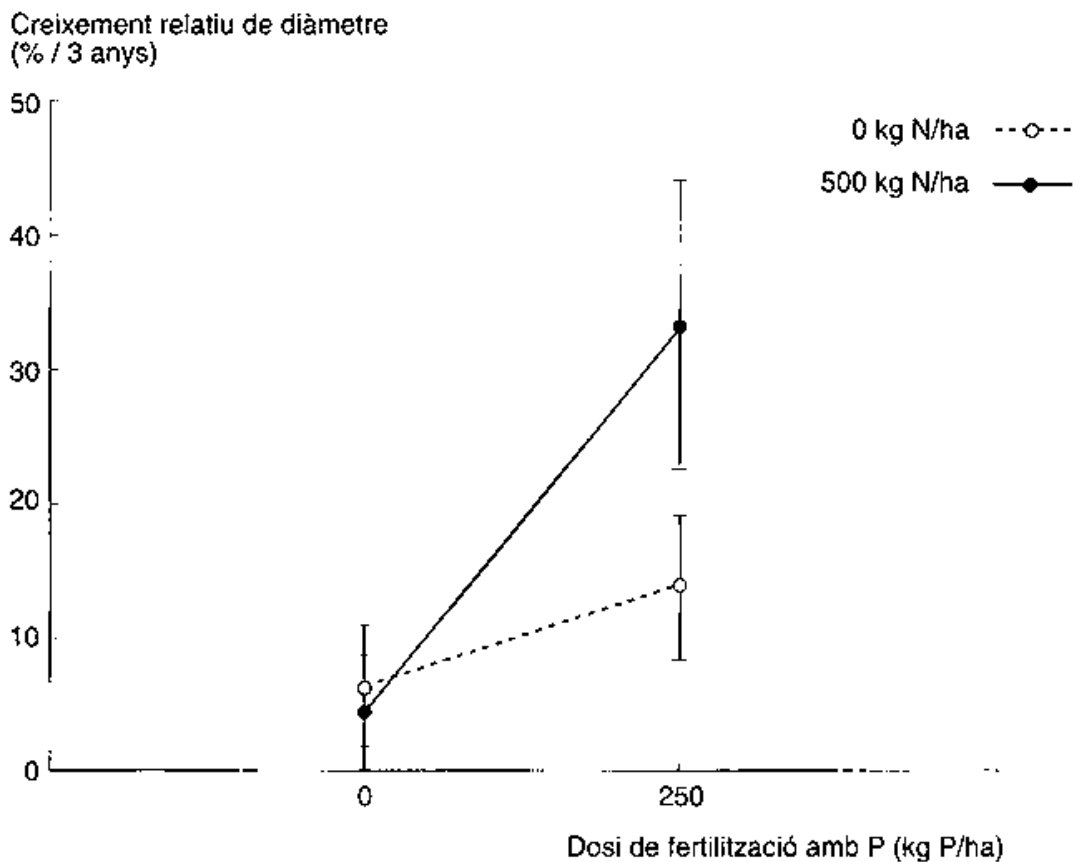


Figura 1. Interacció entre la fertilització amb P i la fertilització amb N sobre el creixement relatiu de diàmetre basal de les alzines durant el període juliol 1993 - juliol 1996.

Discussió

L'aplicació de P estimula el creixement de les alzines en el període comprès entre tres i sis anys post-fertilització. Aquests resultats estenen els de Sardans (1997), que va trobar aquest mateix efecte positiu en els primers tres anys després de fertilitzar. L'aplicació de N per si sol no ha tingut efectes significatius sobre el creixement durant el segon trienni de l'experiment, però sembla que hi ha una acció sinèrgica entre el N i el P. Com era d'esperar, el reg aplicat durant els primers tres anys (1991-1993) no ha suposat un creixement en els tres anys posteriors, perquè ja no va tenir efecte durant el primer trienni (Sardans, 1997).

En el segon trienni després de la fertilització (1993-1996), les alzines varen créixer en general molt menys que en el primer trienni (1990-1993; Sardans, 1997). Aquesta reducció del creixement va ser molt més acusada en les alzines no fertilitzades amb fòsfor que en les que van rebre aquest nutrient, i en tots dos casos va ser deguda possiblement a l'espessiment de la brolla al llarg d'aquests sis anys, a mesura que avançava la regeneració postfoc. Malgrat aquesta disminució general del creixement en el segon trienni, la fertilització amb P va seguir estimulant substancialment el creixement del diàmetre basal de les alzines.

El fòsfor ha sigut, doncs, més efectiu que el nitrogen en provocar un augment de creixement diametral en aquestes alzines. El seu paper a l'increment d'alçada no és tan clar, malgrat que pràcticament sigui significatiu. Altres autors també han trobat que el fòsfor limitava el creixement en espècies llenyoses mediterrànies (Kruger, 1979; Specht, 1979; Hellmers *et al.* 1955; McMaster *et al.* 1982), i en particular en matollars sobre sòls calcàris (Carreira, 1992; Sardans, 1993, 1997; Stonemen *et al.* 1995; Vilà & Terradas, 1995).

El nostres resultats demostren que aquestes alzines tenen la capacitat de rendibilitzar en creixement aeri durant almenys sis anys l'increment de disponibilitat de fòsfor induïda per la fertilització. En principi, un efecte sostingut de la fertilització es podria deure al fet que les plantes fertilitzades creixessin més senzillament perquè són més grans, com a resultat de l'estímul inicial del seu creixement. En el nostre cas podem descartar aquesta possibilitat perquè hem treballat amb creixements relatius. A més, en cada anàlisi estadística hem provat com a covariable la mida dels rebrots al començament del període considerat (1993-1996), i com es diu a l'apartat de mètodes, la major part de les vegades aquesta covariable no era significativa. Per aquestes raons, queda clar que l'efecte del P entre els tres i sis anys postfertilització no és mera conseqüència del seu efecte anterior.

Després d'haver descartat aquesta possibilitat, concloem que l'efecte sostingut de la fertilització amb P es deu a una millora en la nutrició fosforada en les alzines experimentals. Aquesta millora es podria deure a dues possibilitats no excloents: (1) que la disponibilitat de P en el sòl sigui encara, entre tres i sis anys després de la fertilització, més alta al voltant de les alzines fertilitzades; o (2) que les alzines fertilitzades es beneficiïn encara del P prèviament absorbit i emmagatzemat en la seva biomassa.

Pel que fa a la primera possibilitat, en aquestes brolles calcàries, el fòsfor és limitant a causa de les dificultats en la seva mobilització. El fòsfor quedaria fortament lligat formant part de diversos fosfats càlcics (hidroxiapatites i d'altres sals fosfòriques) amb diferents graus de solubilitat, que en pH clarament bàsics, com tenen aquests sòls, estarien majoritàriament en forma d'hidrogenfosfat càlcic. És possible que bona part del P del fertilitzant quedi així inicialment segrestat del cicle biòtic, però que esdevingui disponible posteriorment.

Pel que fa a la segona possibilitat, aquestes alzines podrien rendibilitzar el P del fertilitzant que han absorbit durant els primers anys després de la fertilització, remobilitzant-lo i reutilitzant-lo en la construcció de nous òrgans. D'aquesta manera, l'eficiència en l'ús del P podria augmentar a causa de la fertilització amb P, en contra del que hom esperaria. En espècies rebrotadores com l'alzina, l'existència d'òrgans de reserva, i en particular de la rabassa, facilitaria acumular l'excés de nutrients quan hi ha pulsos sobtats de més disponibilitat, i permetria aprofitar-los millor en el temps.

En resum, els nostres resultats indiquen que el fòsfor és un factor fortament limitant del creixement d'alzines rebrotades en brolles calcàries reiteradament cremades. La fertilització amb fòsfor estimula notablement el creixement diametral de les alzines, i l'efecte persisteix almenys durant sis anys després d'aplicar-hi el fertilitzant.

Bibliografía

- Bowen, G.D.; Nambiar, E.K.S. (ed.) 1984. Nutrition of Plantation Forests. Academic Press. Londres.
- Carreira, J.A. 1992. Biogeoquímica y disponibilidad del N y P en una cronosecuencia de suelos semiáridos asociados a distintos regímenes de incendios. Tesis doctoral. Universidad de Málaga. Málaga.
- Carreira, J.A.; Niell, F.X.; Asensi, A. 1991. Sustitución de comunidades y concentraciones de nutrientes en plantas tras incendios forestales en una cuenca subárida del S.E. de España. Orsis 6: 199-214.
- Carreira, J.A.; Sánchez-Vázquez, F.; Niell, F.X. 1992. Short-term and small-scale patterns of post-fire regeneration in a semi-arid dolomitic basin of Southern Spain. Acta Oecol. 13: 241-253.
- Castell, C.; Terradas, J. 1994. Effects of water and nutrient availability on water relations, gas exchange and growth rate of mature plants and resprouts of *Arbutus unedo* L. Ann. Bot. 73: 595-602.
- Cole, D.W.; Ford, E.D.; Turner, J. 1990. Nutrients, moisture and productivity of established forest. For. Ecol. Manage. 30: 283-299.
- Dunn, E.L.; Shopshire, F.M.; Stong, L.C.; Mooney, H.A. 1977. The water factor and convergent evolution in mediterranean-type Vegetation. A: Lange, O.L.; Kappen, L.; Schulze, E.D. (ed.). Water and Plant Life. Problems and Modern Approaches. Springer. Berlín. p. 492-505.
- Esselink, P.; Gils, H. van. 1994. Nitrogen and phosphorus limited production of cereals and semi-arid annual-type pastures in SW-Spain. Acta Oecol. 15: 337-354.
- Gower, S.T.; Vogt, K.A.; Grier, C.C. 1992. Carbon dynamics of Rocky Mountain Douglas-fir: influence of water and nutrient availability. Ecol. Monogr. 62: 43-65.
- Hedde, E.M.; Specht, R.L. 1975. Dark island Heath (Ninety-mile plain, South Australia). VIII. The effect of fertilizers on composition and growth, 1950-1972. Aust. J. Bot. 23: 151-164.
- Hellmers, H.; Bouner, J.; Kelleher, J.M. 1955. Soil fertility: A watershed management problem in the San Gabriel mountains of southern California. Soil Sci. 80: 189-197.
- Kolb, T.E.; Steiner, K.C.; McCormick, L.H.; Bowersox, T.W. 1990. Growth response of northern red-oak and yellow-poplar seedlings to light, soil moisture and nutrients in relation to ecological strategy. For. Ecol. and Manage. 38: 65-78.
- Kruger, F.J. 1979. South African Heathlands. A: Specht, R.L. (ed.). Ecosystems of the World, vol. 9A. Heathlands and Related Shrublands. Descriptive studies. Elsevier, Amsterdam, p. 19-80.
- Mayor, X.; Rodà, F. 1994. Effects of irrigation on stem diameter growth in a Mediterranean holm oak forest. For. Ecol. Manage. 68: 119-126.
- Mayor, X.; Beímonte, R.; Rodrigo, A.; Rodà, F.; Piñol, J. 1994. Crecimiento diametral de la encina *Quercus ilex* L. en un año de abundante precipitación estival: efecto de la irrigación previa y de la fertilización. Orsis 9: 13-23.
- McMaster, G. S.; Jow, W. M.; Kummerow, J. 1982. Response of *Adenostoma fasciculatum* and *Ceanothus greggii* chaparral to nutrient additions J. Ecol. 70: 745-756.
- McNeil, R. C.; Lea, R.; Ballard, R.; Allen, H. L. 1988. Predicting fertilizer response of loblolly pine using foliar and needle-fall nutrients sampled in different seasons. For. Sci. 34: 698-707.

- Mooney, H.A. 1989. Chaparral Physiological Ecology-Paradigms Revised. A: Keely (ed.). The California Chaparral. Paradigms Reexamined. N° 34. Science Series. Natural History Museum of Los Angeles County. Los Angeles, p. 85-90.
- Mooney, H.A.; Parsons, D.J. 1973. Structure and function of the California chaparral: an example from San Dimas. A: Castro, F. Di; Mooney, H.A. (ed.). Mediterranean Type Ecosystems, Origin and Structure. Chapman & Hall. Londres, p. 83-105.
- Sardans, J. 1993. Efecte de la disponibilitat d'aigua, de nutrients i de la presència de veïns sobre la morfometria foliar de les espècies llenyoses dominants en una comunitat post-incendi. Tesi de mestratge. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.
- 1997. Respostes de quatre espècies llenyoses mediterrànies a diferent disponibilitat d'aigua i nutrients. Tesi doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra.
- Seddom, G. 1974. Xerophytes, xeromorphs and sclerophylls: the history of some concepts in ecology. Biol. J. Linn. Soc. 6: 65-87.
- Specht, R.L. 1963. Dark Island heath (Ninety-Mile Plain, South Australia). VII. The effect of fertilizers on composition and growth. Aust. J. Bot. 23: 1950-1960.
- 1973. Structure and functional response of ecosystems in the Mediterranean climate of Australia. A: Castri, F. Di; Mooney, H.A. (ed.). Mediterranean-Type Ecosystems: Origin and Structure. Chapman & Hall. Londres, p. 113-120.
- 1979. The sclerophyllous (Heath) vegetation of Australia: the eastern and central states. A: Specht, R.L. (ed.). Heathlands and Related Shrublands of the World. Elsevier. Amsterdam, p. 125-210.
- Stone, D.M. 1986. Effect of thinning and nitrogen fertilization on diameter growth of pole-size sugar maple. Can. J. For. Res. 16: 1245-1249.
- Stone, E.L.; Stanturf, J.A.; McKittrick, R.C. 1989. Effects of added nitrogen on growth of hardwood trees in southern Nova York. Can. J. For. Res. 19: 279-284.
- Vilà, M.; Terradas, J. 1995. Effect of nutrient availability and neighbours on shoot growth, resprouting and flowering of *Erica multiflora*. J. Veg. Sci. 6: 411-416.
- Witkowski, E.T.F.; Mitchell, D.T.; Stock, W.D. 1990. Response of a Cape fynbos ecosystem to nutrient additions: shoot growth and nutrient contents of a proteoid *Leucospermum parile* and an ericoid *Phyllica cephalanta* evergreen shrub. Acta Oecol. 11: 311-326.