

**MEZCLAS DE TRÉBOL SUBTERRÁNEO CON OTRAS
LEGUMINOSAS ANUALES PARA SUELOS GRANÍTICOS DEL SECANO
MEDITERRÁNEO SUBHÚMEDO DE CHILE**

**Subterranean clover mixtures with other annual legumes for granitic soils of the
subhumid Mediterranean dryland zone of Chile**

**Julia Avendaño R.¹, Carlos Ovalle M.^{2*}, Alejandro del Pozo L.³,
Fernando Fernández E.² y Claudio Porqueddu⁴**

ABSTRACT

In Cauquenes (35°58' S lat., 72°17' W long.), VII Region, Chile, in a granitic soil, the productivity and persistence of six mixtures with different percentages of annual legumes were evaluated: M1 *Trifolium subterraneum* (Ts); M2: Ts and *Medicago polymorpha* (Mp); M3: Ts, Mp and *Trifolium michelianum* (Tb); M4: Ts, Mp, Tb and *Ornithopus compressus* (Op); M5: Ts, Mp, Tb, Op and *Biserrula pelecinus* (Bp) and M6: 20% of each species. The replacement of 50% of the initial seeding rate of Ts by other legumes reduced the population of Ts, particularly in the second and third year. The higher seed production of Mp in mixtures of two or more species in the first two years contributed to the great regeneration of Mp in the third year (1,000-2,000 seedlings m⁻² of Mp vs. 100-240 seedlings m⁻² of Ts). As a consequence, specific contribution and biomass production of Mp in mixtures (M2-M6) were higher than Ts in the second and third year. The specific contribution of Tb in the mixtures was low (between 4.3 to 17%) in the three years; and that of Op and Bp was almost null in all years. Total aerial biomass fluctuated between 1,673 to 2,020 (P ≥ 0,05) and 3,520 to 4,395 (P ≥ 0,05) kg DM ha⁻¹ in the first and second year, respectively. In the third year, the mixtures with two and five species (M2: 5,838; M5: 5,643 and M6: 5,678 kg DM ha⁻¹) exceeded (P ≤ 0,05) the treatment with Ts only (3,905 kg DM ha⁻¹).

Key words: annual legumes pastures, *Trifolium subterraneum*, *Medicago polymorpha*, *Trifolium michelianum*, *Ornithopus compressus*, *Biserrula pelecinus*.

R E S U M E N

En Cauquenes (35°58' lat. Sur, 72°17' long. Oeste), VII Region, Chile, en un suelo granítico se evaluó la productividad y persistencia de seis mezclas en distintos porcentajes de leguminosas anuales; ellas fueron: M1: *Trifolium subterraneum* (Ts); M2: Ts y *Medicago polymorpha* (Mp); M3: Ts, Mp y *Trifolium michelianum* (Tb); M4: Ts, Mp, Tb y *Ornithopus compressus* (Op); M5: Ts, Mp, Tb, y *Biserrula pelecinus* (Bp) y M6: 20% de cada especie. El reemplazo del 50% de la dosis inicial de siembra de Ts por otras leguminosas, redujo drásticamente la población de éste, en el segundo y tercer año. La mayor producción de semillas de Mp en las mezclas de dos y más especies los dos primeros años, se tradujo en una alta regeneración de ésta al tercer año (1.000-2.000 plántulas m⁻² de Mp vs 100-240 plántulas m⁻² de Ts). En consecuencia, la contribución específica y producción de biomasa de Mp en las mezclas (M2-M6) fueron muy superiores a la de Ts en el segundo y tercer año. La contribución específica de Tb fue baja (entre 4,3 a 17%) las tres temporadas; y la de Op y Bp casi nula en los tres años. La producción de biomasa aérea total fluctuó entre 1.673 a 2.020 (P ≥ 0,05) y 3.520 a 4.395 (P ≥ 0,05) kg MS ha⁻¹ en el primer y segundo año, respectivamente. En el tercer año, las mezclas con dos y cinco especies (M2: 5.838; M5: 5.643 y M6: 5.678 kg MS ha⁻¹) superaron (P ≤ 0,05) al tratamiento con sólo Ts (3.905 kg MS ha⁻¹).

Palabras clave: praderas leguminosas anuales, *Trifolium subterraneum*, *Medicago polymorpha*, *Trifolium michelianum*, *Ornithopus compressus*, *Biserrula pelecinus*.

Financiamiento: Proyecto FONDECYT N° 1000608.

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Experimental Cauquenes, Casilla 165, Cauquenes, Chile.

E-mail: javendano@inia.cl

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilmapu, Casilla 426, Chillán, Chile.

E-mail: covalle@inia.cl *Autor para correspondencia.

³ Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile. E-mail: adelpozo@udec.cl

⁴ Centro di Studio Sui Pascoli Mediterranei, Via Enrico De Nicola, 07100 Sassari, Italy.

INTRODUCCIÓN

Una parte importante de la comunidad científica de ecólogos (Kareiva, 1996; Tilman *et al.*, 1996; Wardle y Giller, 1996; Tilman *et al.*, 1997), sostiene que el incremento de la riqueza en cantidad de especies aumenta la productividad primaria de los ecosistemas y la resistencia a las perturbaciones. Se propone como hipótesis complementaria que si se mejora el funcionamiento en un sistema, al final el aumento de la biodiversidad igualmente mejora la estabilidad y la rentabilidad económica de los sistemas de producción.

Las praderas naturales de la cuenca del Mediterráneo se caracterizan por una elevada diversidad de especies de leguminosas anuales, lo que le confiere a la pradera una gran resiliencia, particularmente en ambientes de amplias fluctuaciones en las precipitaciones y expuestos al sobrepastoreo (Cocks y Osman, 1996; Ehrman y Cocks, 1996). Esto contrasta con las praderas mediterráneas de Chile central, que se caracterizan por tener una escasa diversidad de especies leguminosas, con un 8,5% de contribución, y una baja productividad (Acuña *et al.*, 1983; Ovalle *et al.*, 1987; Ovalle y Squella, 1996).

El trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) con sus tres subespecies y su amplia gama de cultivares referidos a su precocidad, han constituido las leguminosas más ampliamente estudiadas y difundidas en todos los secanos mediterráneos de Chile, sembrados solos o en mezclas con gramíneas, como praderas permanentes y en rotaciones (Avendaño, 1996). Otra especie, de más reciente desarrollo, que ha demostrado buenas perspectivas, especialmente para ser considerada en un sistema de rotación con trigo (*Triticum aestivum* L.) es la hualputra (*Medicago polymorpha* L.) (Del Pozo *et al.*, 1999), de la cual existen cultivares de origen australiano y chilenos (Del Pozo *et al.*, 2001; Ovalle *et al.*, 2001).

Entre otras leguminosas forrajeras alternativas se destacan la serradela amarilla (*Ornithopus compressus* L.) biserrula (*Biserrula pelecinus* L.) y trébol balansa (*Trifolium michelianum* Savi). La primera presenta varias ventajas con respecto a otras especies: requiere menores aplicaciones

de P al suelo (Paynter, 1990), posee un arraigamiento profundo por lo que aprovecha mejor la humedad del suelo, puede crecer dos o tres semanas más que el trébol subterráneo en la misma área (Revell, 1992; Revell *et al.*, 1994), no posee estrógenos ni otros compuestos tóxicos para los animales, y tiene un buen valor nutritivo comparable a otras leguminosas anuales (Freebairn, 1994). Tiene además una alta dureza seminal. Como desventaja se menciona su mala adaptación a suelos arcillosos y alcalinos, bajo crecimiento en invierno, es sensible al sobrepastoreo en la época de semilladura, y presenta dificultades para separar la semilla del fruto (Revell *et al.*, 1994). Presenta un alto porcentaje de semillas duras (> 95%) después del primer verano, lo que contribuye a incrementar el banco de semillas; la germinación puede alcanzar un 55% al tercer año, aunque la tasa de ablandamiento es mayor en semillas enterradas a 2 cm de profundidad (Revell *et al.*, 1998). Esta característica le permite salvar accidentes climáticos, como lluvias de verano, que provocan falsas partidas (germinación antes que se inicie la estación lluviosa), y con ello lograr una adecuada persistencia de la especie. En caracterizaciones preliminares de cultivares de *O. compressus*, se han obtenido más de 6 t MS ha⁻¹ (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003).

Biserrula pelecinus es otra especie promisoría para el secano, debido a su hábito de enraizamiento más profundo que otras leguminosas convencionales, que le permite obtener agua y nutrientes a mayor profundidad y extender el período de crecimiento del pasto en primavera. Es una planta de crecimiento vigoroso, con una alta producción anual de semillas, con dureza seminal superior al 90%, de fácil cosecha, muy promisoría para zonas de baja precipitación (Loi *et al.*, 1995; Howieson *et al.*, 1995; Carr *et al.*, 1999). En la zona mediterránea subhúmeda de Chile, el cv. Casbah produjo cerca de 6 t de MS ha⁻¹ tanto en un año lluvioso como en año seco (Ovalle *et al.*, 2000a).

T. michelianum presenta una excelente adaptación a suelos con problemas de inundaciones (Evans, 1993; Ovalle *et al.*, 1997c). Este trébol posee varias ventajas comparativas con relación

a *Trifolium subterraneum* subsp. *yannicum*, que también tolera suelos sujetos a inundaciones prolongadas (Ovalle *et al.*, 1997b). Presenta una gran capacidad para persistir y diseminarse después de la siembra, por su alta producción de semillas (hasta 1.000 kg ha⁻¹), de tamaño pequeño (0,5 a 1,2 mm de diámetro) y un peso individual que varía entre los 0,314 y 0,933 mg. Además, posee una alta proporción de semillas duras a la madurez, desde un 60 a 80%, que le permite regenerarse adecuadamente cuando es incluida en sistemas rotacionales con cereales por uno o más años (Mitchell y Cooper, 1989; Squella, 1992). Es de fácil cosecha y presenta un buen crecimiento en primavera, superior al de muchos cultivares de trébol subterráneo; no obstante, su producción de invierno es inferior a éstos (Mitchell y Cooper, 1989). En Chile, se han obtenido al año entre 4,5 y 6 t de MS ha⁻¹ en suelos arcillosos (Ovalle *et al.*, 2000b).

Los objetivos de este ensayo fueron evaluar la productividad y persistencia de mezclas de especies leguminosas anuales, que contemplaron una pradera mono-específica de trébol subterráneo comparada con mezclas con *Ornithopus compressus*, *Biserrula pelecinus*, *Trifolium michelianum* y *Medicago polymorpha*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el predio El Boldo (35°58' lat. Sur, 72°17' long. Oeste), perteneciente al Centro Experimental Cauquenes del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Se eva-

luaron seis mezclas forrajeras (M): M1: 100% de trébol subterráneo (*T. subterraneum*) (Ts) con dos variedades como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de hualputra (*M. polymorpha*) cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de trébol balansa (*T. michelianum*) cv. Paradana comercial (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de serradela amarilla (*O. compressus*) cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de biserrula (*B. pelecinus*) cv. Casbah (Bp) y M6: 20% de cada especie (Cuadro 1). En el caso de trébol subterráneo, en todas las mezclas se sembró la mitad de la subespecie *brachycalycinum* cv. Clare y la otra de la subespecie *subterraneum* cv. Seaton Park. El suelo pertenece a la serie Maule, orden Entisol, de origen aluvial, rico en cuarzo, de textura franco arcillo arenosa en los primeros 0-12 cm del perfil, pH 5,7. El tamaño de cada parcela fue de 7 x 14 m. El diseño experimental correspondió a bloques al azar, con cuatro repeticiones.

La siembra se realizó al voleo el 31 de mayo de 1999. La dosis de semilla se calculó para establecer una población inicial de 1.000 plantas m⁻² en cada tratamiento, considerando el número de semillas por gramo y el porcentaje de germinación de cada cultivar. Las semillas se inocularon con el rizobio específico para cada especie. A la siembra, se fertilizó con 153 kg P₂O₅ (333 kg de superfosfato triple), 90 kg S y 165 kg de CaO (500 kg de fertiyeso), y 2,7 kg B ha⁻¹ (20 kg de boronatrocalcita).

Cuadro 1. Proporción (%) de semillas de cada especie y cultivar en la mezcla evaluada.
Table 1. Proportion of seeds (%) of each species and cultivar in the evaluated mixture.

Mezcla	Trébol subterráneo cv. Clare	Trébol subterráneo cv. Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah
M1 ¹	50,0	50,0				
M2	25,0	25,0	50,0			
M3	25,0	25,0	25,0	25,0		
M4	25,0	25,0	16,6	16,6	16,6	
M5	25,0	25,0	12,5	12,5	12,5	12,5
M6	10,0	10,0	20,0	20,0	20,0	20,0

¹ Testigo.

A fines de la primera y segunda temporada (enero de 2000 y 2001, respectivamente), se pastoreó con ovejas y se cortó con guadaña rotatoria (Gravely, 30 inch Rotary Mower, Clemmons, North Carolina, USA) eliminando el material senescente sobrante. El tercer año se pastoreó en agosto (03 al 12 de agosto de 2001), en septiembre (21 al 24 de septiembre de 2001) y en febrero (28 de febrero al 06 de marzo de 2002), con ovejas o borregas. En el segundo año y tercer año (24 de agosto de 2000 y 20 de junio de 2001, respectivamente) se aplicó 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ como superfosfato triple, como fertilización de mantención.

Evaluaciones

El ensayo se evaluó por tres años, el primer año (establecimiento) y los dos años siguientes. Las variables evaluadas y calculadas fueron:

a) Plantas vivas en el invierno del primer año (03 de septiembre de 1999), segundo año (08 de agosto de 2000) y tercer año (24 de julio de 2001). En cada parcela se distribuyeron al azar cinco cuadrantes de 20 x 20 cm cada uno (en los dos primeros años) y 20 cilindros de 10 cm de diámetro cada uno (en el tercer año). Dentro de cada cuadrante o cilindro se contaron las plantas vivas.

b) Producción acumulada de biomasa aérea total. En la primavera del primer año (10 de noviembre de 1999) y del segundo año (11 de diciembre de 2000) se cortó el material a 4 cm de altura, de dos cuadrantes de 1 m² por parcela, distribuidos al azar. En la primavera del tercer año (06 de noviembre de 2001) se evaluó cortando el material (1 m²) bajo jaula, las cuales se instalaron (dos en cada parcela) en agosto antes del primer pastoreo. El material se secó en estufa con ventilación forzada a 70°C por 72 h y luego se pesó.

c) Producción de semillas. Se recolectaron los frutos y semillas de cinco cuadrantes de 20 x 20 cm cada uno por parcela. El material se secó en estufa con ventilación forzada a 60°C por 4 h. Los frutos se pesaron y luego se trillaron a mano, pesando la semilla recolectada. Las fechas de

muestreo en los dos primeros años fue la indicada en b) y en el tercer año el 12 de diciembre de 2001.

d) La composición botánica se evaluó por el método del "Point quadrat" modificado (Daget y Poissonet, 1971), en la misma fecha de evaluación de la biomasa aérea. En una de las diagonales de cada parcela (elegida al azar) se dispuso una línea de 4 m de largo, donde se midieron 100 puntos (cada 4 cm); la proporción de cada especie se expresó a través de la contribución específica de contacto (CSC, %).

e) Germinación de semillas en el otoño siguiente a la siembra (año 2000). Dentro de cada parcela se cosecharon a mano 50 frutos al azar de las especies sembradas, se pusieron a germinar en estufa a 18°C en placas Petri; cada 2 días se retiraban y contaban las semillas germinadas, hasta el día 12. Luego los frutos se secaron en estufa con ventilación forzada a 60°C por 4 h, para trillarlos a mano, y poder contar las semillas sin germinar.

f) Semillas viables en el otoño del año 2000. Con la producción de semillas (c), la germinación (e) y el número de semillas por gramo de cada especie, se calculó la cantidad de semillas viables expresada en g m⁻² y en unidades (u) m⁻², para tener una estimación de la regeneración al segundo año de cada especie y de la mezcla.

g) Producción de biomasa aérea de las especies sembradas y voluntarias, se calculó con la producción de biomasa aérea total (b) y la CSC (d) respectiva de cada año.

Análisis estadístico

Las diferencias entre tratamientos se evaluaron mediante ANDEVA en diseño de bloques al azar, para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$). Se realizó un ANDEVA con los valores originales de las variables, cuando el coeficiente de variación era mayor a 35% se transformó la variable (X) a raíz cuadrada más 0,5 o arcoseno ($\sqrt{(X/100)} + 0,5$); la primera se usó en aque-

llas variables con valores pequeños y/o ceros, y la segunda en variables expresadas en porcentaje (Steel y Torrie, 1960).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas durante el período experimental

El año de establecimiento de las praderas fue seco, sin embargo, los otros dos años en que se realizó el estudio la precipitación anual en Cauquenes fue superior a la media histórica, que es de 663 mm (Figura 1). En cuanto a la distribución de las lluvias, en los tres años se presentaron precipitaciones de primavera superiores a la media, lo cual favoreció el crecimiento de los pastos. No obstante, se destacó la fuerte concentración de las lluvias en el mes de junio de 1999, en que precipitó más del 50% de la lluvia anual. Además, en el mes de febrero de 2000 ocurrió una lluvia de verano de aproximadamente 45 mm, la cual indujo a una partida falsa de la pradera con una alta mortalidad de plántulas.

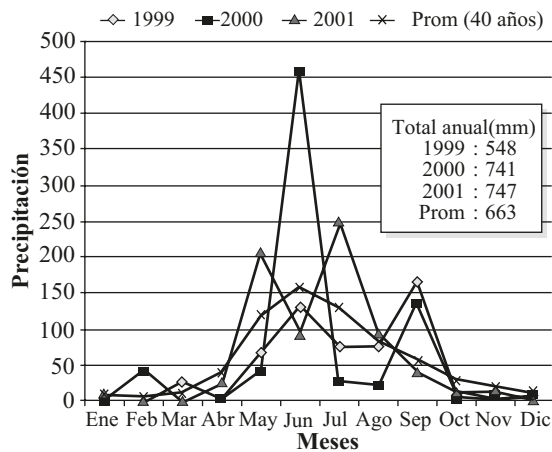


Figura 1. Precipitaciones mensuales (mm) durante el período experimental, en comparación con la media histórica registrada en Cauquenes, Chile.
Figure 1. Monthly rainfall (mm) during the experimental period in comparison with the historical average registered at Cauquenes, Chile.

Fuente: Estación Meteorológica Centro Experimental Cauquenes, INIA.

Desde el punto de vista térmico (Figura 2) los inviernos de los años 1999 y 2000 destacaron por presentar temperaturas mínimas en promedio, aproximadamente 2°C inferiores a la media histórica, lo cual pudo haber inducido a la mortalidad de plantas o daño por heladas.

Densidad de plantas

El establecimiento de las praderas en el invierno del primer año fue inferior a la meta propuesta de establecer una población inicial de 1.000 plantas m², cifra señalada por Puckridge y French (1983) como indicador de un buen establecimiento de pradera de leguminosas anuales. La baja densidad de plantas afectó especialmente el establecimiento de trébol balansa, serradela amarilla y biserrula. En efecto, a los 90 días de la siembra, la población de plantas de esas especies no superó las 100 plantas m² (Cuadro 2), lo que afectó notoriamente el comportamiento posterior de estas especies en los tratamientos que las incluían. En el segundo año, la resiembra natural también fue deficiente, no superando los mejores tratamientos las 220 plantas m². La baja

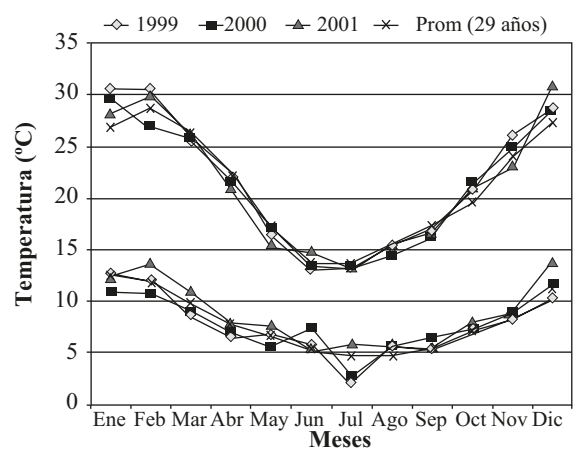


Figura 2. Temperaturas mínimas y máximas mensuales (°C) durante el período experimental, en comparación con la media histórica registrada en Cauquenes, Chile.

Figure 2. Monthly minimum and maximum mean temperatures (°C) during the experimental period in comparison with the historical mean registered at Cauquenes, Chile.

Fuente: Estación Meteorológica Centro Experimental Cauquenes, INIA.

producción de semillas en el año 1, especialmente en trébol subterráneo, unido a un evento de lluvia de verano, de aproximadamente 45 mm en el mes de febrero de 2000, ocasionó una alta mortalidad de plantas (fenómeno de partida falsa) en todos los tratamientos.

Se presentaron diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$) en la densidad poblacional del trébol subterráneo en los tres años (Cuadro 2). El hecho de reemplazar el 50% de la dosis inicial de siembra por un número creciente entre dos y cuatro especies de leguminosas anuales, redujo drásticamente la población de trébol subterráneo, especialmente en el segundo y tercer año. La inclusión de *M. polymorpha* en proporciones entre 50 y 12,5% de la dosis inicial de siembra, prácticamente desplazó al trébol subterráneo, independiente de la dosis en que fue incluida en la mezcla (Cuadro 2).

En el tercer año se observó una alta densidad total de especies sembradas, alcanzándose niveles por sobre 1.500 plantas m^{-2} en casi todos los tratamientos (Cuadro 2). De manera sobresaliente, la densidad de plantas de hualputra fue superior a los años anteriores, con diferencias significativas entre las mezclas forrajeras (Cuadro 2). La alta producción de semilla de *M. polymorpha* (Ovalle *et al.*, 1997a) unido a mecanismos de dureza seminal (Avendaño *et al.*, 1999), permitieron a la especie lograr una adecuada colonización, ocupación del espacio y persistencia. Adicionalmente, el trébol balansa experimentó una importante recuperación en el tercer año, también como expresión del ablandamiento de las semillas producidas en años anteriores y estratificadas en el suelo (Ovalle *et al.*, 1997c). En trébol subterráneo (M1) la resiembra fue alta, no así en los tratamientos con 50 y 20% de trébol, donde la densidad de plantas no superó las 250 $u\ m^{-2}$ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Número de plántulas por m^2 en el invierno del primer, segundo y tercer año.

Table 2. Number of seedlings per m^2 in the winter of the first, second and third year.

Mezcla	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Biserrula cv. Casbah
Primer Año (3/09/99)						
M1 ²	394 a ¹					394 a
M2	254 ab	240 a				494 a
M3	296 ab	195 a	43 a			453 a
M4	231 ab	141 a	48 a	71 a		491 a
M5	265 ab	71 a	18 a	65 a	10 a	429 a
M6	185 b	185 a	11 a	93 a	10 a	484 a
Segundo Año (08/08/00)						
M1	103 a					103 a
M2	30 b	128 a				158 a
M3	40 b	125 a	48 a			213 a
M4	40 b	104 a	34 a	0		177 a
M5	39 b	149 a	23 a	0	0	210 a
M6	36 b	119 a	23 a	0	0	178 a
Tercer Año (24/07/01)						
M1	1.534 a					1.534 a
M2	104 b	1.981 a				2.085 a
M3	226 b	1.502 ab	164 a			1.892 a
M4	237 b	997 b	159 a	45 a		1.438 a
M5	234 b	1.495 ab	112 a	30 a	0	1.871 a
M6	212 b	1.795 a	88 a	57a	0	2.153 a

¹ Distinta letra dentro de un mismo año y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Orinthopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

Contribución específica de contacto y producción de biomasa aérea

En los tres años, la contribución específica de contacto (CSC) y la producción de biomasa de trébol subterráneo fue alta solamente en el tratamiento de la especie pura (M1), pero el aporte de trébol subterráneo se afectó drásticamente cuando en la mezcla participaba hualputra (Cuadro 3). En el segundo año, las especies bajaron su CSC en relación al primer año (excepción hecha del trébol balansa en M5), pero la caída más fuerte se observó en las mezclas de trébol subterráneo con otras leguminosas anuales. Un evento de lluvia en febrero de 2000 (Figura 1), probablemente afectó la CSC de las especies sembradas en todos los tratamientos. En el tercer año la

hualputra fue la especie dominante en todas las mezclas en que se sembró, y aportó en todas ellas más del 50% de la biomasa total de la pradera, sin diferencias ($P \geq 0,05$) entre las praderas (Cuadros 3 y 4). La contribución específica del trébol balansa en las mezclas fue inferior a la proporción inicial de esta especie al momento de la siembra (Cuadros 1 y 3). La contribución específica del trébol balansa en las mezclas se mantuvo entre 4,3 y 17% en los tres años y no se presentaron diferencia entre ellas ($P \geq 0,05$) (Cuadro 3).

La contribución y producción de biomasa de serradela y de biserrula fue baja en los tres años (Cuadros 3 y 4). En el tercer año la producción

Cuadro 3. Contribución específica de contacto (CSC, %) de las especies y variedades en la primavera del primer, segundo y tercer año.

Table 3. Specific contribution of contact (CSC, %) of species and cultivars in the spring of the first, second and third year.

Mezcla	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Total especies sembradas
Primer Año (10/11/99)						
M1 ²	88,1 a ¹					88,6 b
M2	21,1 cd	78,0 a				99,1 a
M3	39,2 bc	48,6 bc	7,3 a			95,1 ab
M4	43,7 b	42,8 bc	8,6 a	11 a		95,9 a
M5	55,4 b	31,8 c	4,5 a	1,9 a	0,9 a	94,4 ab
M6	14,8 d	64,6 ab	8,5 a	2,6 a	1,7 a	92,3 ab
Segundo Año (11/12/00)						
M1	41,2 a					41,2 a
M2	6,2 b	25,7 a				31,9 a
M3	5,2 b	30,6 a	8,8 a			44,6 a
M4	6,6 b	39,7 a	5,2 a	0		51,5 a
M5	11,0 b	29,6 a	17,1 a	0	0	57,6 a
M6	4,4 b	47,0 a	4,3 a	0	0	55,8 a
Tercer Año (06/11/01)						
M1	74,7 a					74,7 a
M2	17,4 b	67,0 a				84,4 a
M3	15,9 b	52,4 a	8,1 a			76,3 a
M4	17,2 b	57,8 a	8,1 a	0		83,1 a
M5	17,9 b	65,4 a	5,4 a	0	0	88,4 a
M6	17,5 b	56,7 a	4,4 a	0	0	78,6 a

¹ Distinta letra dentro de un mismo año y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Ornithopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

Cuadro 4. Producción de biomasa aérea (kg MS ha⁻¹) de las especies y variedades en la primavera del primer, segundo y tercer año.

Table 4. Production of aerial biomass (kg DM ha⁻¹) of the species and cultivars in the spring of the first, second and third year.

Mezcla	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Total especies sembradas	Total (con malezas)
Primer Año (10/11/99)							
M1 ²	1.774 a ¹					1.774 a	2.020 a
M2	420 c	1.571 a				1.991 a	2.014 a
M3	681 bc	819 ab	138 a			1.637 a	1.726 a
M4	732 bc	755 b	160 a	19 a		1.667 a	1.739 a
M5	1.033 b	557 b	85 a	27 a	21a	1.722 a	1.814 a
M6	286 c	984 ab	197 a	55 a	22a	1.544 a	1.673 a
Segundo Año (11/12/00)							
M1	1.509 a					1.509 a	3.658 a
M2	243 b	1.072 a				1.315 a	4.395 a
M3	186 b	1.156 a	380 a			1.721 a	3.695 a
M4	291 b	1.703 a	237 a	0		2.231 a	4.178 a
M5	322 b	1.024 a	651 a	0	0	1.997 a	3.520 a
M6	164 b	1.725 a	137 a	0	0	2.025 a	3.645 a
Tercer Año (06/11/01)							
M1	2.930 a					2.931 b	3.905 b
M2	487 b	3.933 a				4.299 ab	5.838 a
M3	883 b	2.827 a	160 a			3.830 ab	5.459 ab
M4	901 b	3.099 a	344 a	0		4.183 ab	5.315 ab
M5	767 b	3.609 a	336 a	0	0	4.520 a	5.643 a
M6	875 b	3.354 a	268 a	0	0	4.497 ab	5.678 a

¹ Distinta letra dentro de un mismo año y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Ornithopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

de biomasa total de las especies sembradas fue diferente ($P \leq 0,05$) entre tratamientos (Cuadro 4); la menor producción se obtuvo en la pradera de trébol subterráneo solo (M1), pero fue significativamente inferior sólo con la M5.

Producción de semillas

La producción de semillas de trébol subterráneo fue baja en todos los tratamientos y en todos los años. Por el contrario, destacó la mayor producción de semilla de hualputra en todos los años y en todas las mezclas donde fue incluida (Cuadro 5). Esto explica la menor participación de trébol subterráneo en las mezclas de dos y más especies, y la dominancia de la hualputra cuando fue incluida en proporciones variables en las mez-

clas. Como era de esperar, la tasa de germinación de las semillas de trébol subterráneo en el otoño del segundo año fue muy superior al de las otras especies (Cuadro 6). Sin embargo, como el tamaño de la semilla es menor y la producción fue mayor en hualputra que en trébol subterráneo, el aporte de semillas viables fue en general superior en hualputra (Cuadro 7).

En trébol balansa la producción de semillas fue igual ($P \geq 0,05$) en todos los tratamientos en los tres años (Cuadro 5). Serradela amarilla y biserrula produjeron semilla sólo en el año del establecimiento, en muy baja cantidad, y no se observaron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Producción de semillas (g m⁻²) de las especies y variedades en el primer, segundo y tercer año.
Table 5. Seed production (g m⁻²) of species and cultivars in the first, second and third year.

Trat.	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Total especies sembradas
Primer Año (10/11/99)						
M1 ²	9,13 a ¹					9,13 b
M2	1,38c	20,50 a				21,88 ab
M3	2,13bc	25,00 a	0,00 a			27,13 a
M4	2,63bc	14,25 a	0,50 a	0,50 a		17,88 ab
M5	5,38b	19,63 a	0,38 a	0,13 a	0,13 a	25,63 ab
M6	1,25c	21,63 a	0,38 a	0,25 a	0,01 a	23,52 ab
Segundo Año (11/12/00)						
M1	8,25a					8,25 b
M2	0,13b	22,13 ab				22,25 ab
M3	1,13b	17,88 ab	4,88 a			23,88 ab
M4	0,88b	16,5 0b	2,75 a	0		20,13 ab
M5	1,00b	28,00 ab	5,63 a	0	0	34,63 a
M6	0,50b	32,63 a	3,13 a	0	0	36,26 a
Tercer Año (12/12/01)						
M1	9,00a					9,00 b
M2	0,38b	31,88 a				32,25 a
M3	1,50b	24,50 a	0,38 a			26,38 a
M4	1,25b	20,30 a	0,33 a	0		22,17 a
M5	0,88b	27,75 a	0,38 a	0	0	29,00 a
M6	1,00b	22,00 a	0,50 a	0	0	23,50 a

¹ Distinta letra dentro de un mismo año y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Ornithopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

Cuadro 6. Germinación (%) de semillas de las especies y variedades en las mezclas en el otoño del año 2000.
Table 6. Germination (%) of seeds of the species and cultivars in the mixtures in Autumn 2000.

Trat.	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Total especies sembradas
M1 ²	47,0 a ¹					47,0 a
M2	56,3 a	7,7 a				22,4 ab
M3	50,3 a	9,6 a	5,8 b			11,8 b
M4	47,2 a	8,9 a	12,9 a	2,4 a		18,2 b
M5	49,8 a	6,2 a	4,0 b	0,0 a	0	8,4 b
M6	76,2 a	9,1 a	5,9 b	10,3 a	0	8,0 b

¹ Distinta letra dentro de un mismo año y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Ornithopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

La tasa de germinación de las distintas especies estuvo dentro de los rangos indicados en la literatura. Ovalle *et al.* (2000a) reportaron tasas de 32,6 y 60,9% para trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park, respectivamente, y 4,6; 3,9; 1,1 y 0% para hualputra, trébol balansa, serradela cv. Madeira y biserrula cv. Casbah, respectivamente. El mayor valor observado en la pradera de trébol subterráneo en la M6 pudo deberse a una mayor proporción de la variedad Seaton Park, sin embargo, en todos los tratamientos la tasa de germinación de las diferentes especies fue similar ($P \geq 0,05$) (Cuadro 6).

La cantidad de semillas viables de trébol subterráneo y hualputra en el otoño siguiente al establecimiento (año 2000), estuvo dentro de los valores recomendados para la dosis de siembra de praderas con estas especies, en cuatro de las seis mezclas (Cuadro 7), ya que la recomendación para siembras de trébol subterráneo es 8-12 kg ha⁻¹ y para hualputra de 13-15 kg ha⁻¹ (Acuña

et al., 1982; López, 1996). En las otras tres especies, esta cantidad no superó el equivalente a 0,6 kg ha⁻¹, muy inferior a los 3 a 4 kg ha⁻¹, indicados por Ovalle *et al.* (2000b) y Revell *et al.* (1994) para trébol balansa y serradela. Todas las especies presentaron la misma cantidad ($P \geq 0,05$) de semillas viables en todos los tratamientos (Cuadro 7).

CONCLUSIONES

La inclusión de hualputra en la mezcla incrementó la densidad de plantas en la resiembra de los años siguientes a la siembra, y aumentó la contribución específica de las especies sembradas en las praderas. Sin embargo, para ambas variables sólo se pudo establecer una tendencia que fue consistente en los tres años de evaluación.

La producción de semilla fue superior en todas las mezclas que incluían hualputra, aumentando el banco de semillas en el suelo, lo que se tradujo en una

Cuadro 7. Semillas viables de las especies y variedades en las mezclas en el otoño del año 2000.

Table 7. Viable seeds of species and cultivars in mixtures in Autumn 2000.

Mezcla	Trébol subterráneo cvs. Clare y Seaton Park	Hualputra cv. Cauquenes-INIA	Trébol balansa cv. Paradana	Serradela amarilla cv. Madeira	Biserrula cv. Casbah	Total especies sembradas
g m⁻²						
M1 ²	4,64 a ¹					4,64 a
M2	0,76 b	1,59 a				2,34 a
M3	1,14 b	2,40 a	0,00 a			3,54 a
M4	1,29 b	1,23 a	0,06 a	0,01 a		2,59 a
M5	3,32 ab	1,32 a	0,03 a	0,00 a	0,0a	4,67 a
M6	0,76 b	2,10 a	0,04 a	0,04 a	0,0a	3,13 a
u (unidades) m⁻²						
M1	592 a					592 a
M2	96 b	353 a				449 a
M3	146 b	535 a	0 a			680 a
M4	165 b	274 a	69 a	6 a		514 a
M5	423 a	294 a	30 a	0 a	0a	747 a
M6	121 b	467 a	53 a	20 a	0a	661 a

¹ Distinta letra dentro de una misma variable (en g m⁻² y en u m⁻²) y una misma columna indica diferencia significativa según Prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

² M1: 100% *Trifolium subterraneum* (Ts) como testigo; M2: 50% de Ts y 50% de *Medicago polymorpha* cv. Cauquenes-INIA (Mp); M3: 50% de Ts, 25% de Mp y 25% de *Trifolium michelianum* cv. Paradana (Tb); M4: 50% de Ts, 16,6% de Mp, 16,6% de Tb y 16,6% de *Ornithopus compressus* cv. Madeira (Op); M5: 50% de Ts, 12,5% de Mp, 12,5% de Tb, 12,5% de Op y 12,5% de *Biserrula pelecinus* cv. Casbah (Bp); y M6: 20% de cada especie.

diferencia estadísticamente significativa en el tercer año en producción de fitomasa en las mezclas que incluyeron hualputra.

Se pudo establecer que el trébol balansa al ser sembrado en una proporción de 25% o menos, el establecimiento fue deficiente el primer año, afectando la producción de fitomasa y semilla, condición que se mantuvo en los años siguientes. Esta situación se mantuvo en la mezcla con igual proporción (20%) de las cinco especies.

El trébol subterráneo asociado con una o más especies disminuyó su contribución y producción al compararlo con la pradera de 100% de trébol subterráneo, en las tres temporadas evaluadas.

RECONOCIMIENTOS

Este estudio formó parte del proyecto FONDECYT 100608 sobre "Nuevas alternativas de leguminosas anuales para áreas de secano mediterráneo de Chile". Agradecemos también a CONICYT, proyecto cooperativo entre el Centro di Studio Sui Pascoli Mediterranei (CNR) de Italia y el INIA de Chile, que permitió intercambios con investigadores de Italia y conducir experimentos similares en ambos países. Agradecemos a Teresa Aravena, César Norambuena, José Cares y María Elena Díaz, por la asistencia en el trabajo de campo y laboratorio.

LITERATURA CITADA

- Acuña, H., J. Avendaño, y C. Ovalle. 1983. Caracterización y variabilidad de la pradera natural del secano interior de la zona mediterránea subhúmeda de Chile. *Agric. Téc. (Chile)* 43:27-38.
- Acuña, H., J. Avendaño, P. Soto, y C. Ovalle. 1982. Praderas de secano en las regiones de Maule y Bío-Bío. *Boletín Técnico N° 15*. 106 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Avendaño, J. 1996. Praderas sembradas en zonas mediterráneas. p. 467-494. *In* I. Ruiz (ed.). Praderas para Chile. 2ª ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Avendaño, J.; A. Del Pozo, and C. Ovalle. 1993. Hardseededness under field conditions of *Medicago polymorpha* in the subhumid mediterranean zone of Chile. p. 2206-2209. *Proc. 17th International Grassland Congress*, Palmerston North, New Zealand.
- Bustos, P. 2002. Caracterización fenológica y agronómica de una colección de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea subhúmeda y húmeda de Chile. Tesis Ingeniero Agrónomo. 70 p. Universidad Adventista de Chile, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Carr, S.J., A. Loi, J.H. Howieson, and C. Porqueddu. 1999. Attributes of *Biserrula pelecinus* L. (biserrula): A new pasture for sustainable farming on acidic sandy soils in Mediterranean environments. *Cahiers Options Méditerranéennes* 39:87-90.
- Cocks, P.S., and A.E. Osman. 1996. Productivity and botanical composition of communally-owned Mediterranean grasslands in the marginal farming areas of north Syria. *J. Arid Environ.* 33:389-398.
- Daget, Ph., et J. Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. *Annales Agronomiques* 22:5-41.
- Del Pozo, A., J. Avendaño, y C. Ovalle. 1999. Long term productivity of a ley farming system in the "secano interior" of Chile. *Cahiers Options Méditerranéennes* 39:235-238.
- Del Pozo, A., C. Ovalle, J. Avendaño, T. Aravena, y M.E. Díaz. 2001. Combarbalá-INIA, un cultivar precoz de hualputra (*Medicago polymorpha*) para áreas de secano mediterráneo. *Agric. Téc. (Chile)* 61:93-96.
- Ehrman, T., and P.S. Cocks. 1996. Reproductive patterns in annual legume species on an aridity gradient. *Vegetatio* 122:47-59.
- Evans, P. 1993. Balansa and Persian clovers can help transform wastelands. *Western Focus*. 2 p. Department of Agriculture, Western Australia, Australia.
- Freebairn, R.D. 1994. Serradela: An advisory perspective. p. 61-65. *In* D. Michalk, A. Craig, and W.J. Collins (eds.). Alternative pasture legumes 1993. Proceedings of the Second National Alternative Pasture Legumes Workshop, Coonawara, South Australia. 25-28 July 1993. Technical Report N°219. Department of Primary Industries, South Australia, Australia.
- Howieson, J.G., A. Loi, and S.J. Carr. 1995. *Biserrula pelecinus* L. - a legume pasture species with potential for acid, duplex soils which is nodulated by unique root-nodule bacteria. *Aust. J. Agric. Res.* 46:997-1009.
- Kareiva, P. 1996. Diversity and stability on the prairie. *Nature* 379:673-674.

- Loi, A., S. Carr, and C. Porqueddu. 1995. Alternative pasture legumes and rhizobium collection in Sardinia. Occasional publication N° 6. 16 p. Center for Legumes in Mediterranean Agriculture, Perth, Australia.
- López, H. 1996. Especies forrajeras mejoradas. p. 41-108. In I. Ruiz (ed.). Praderas para Chile. 2a. ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Mitchell, G., and J. Cooper. 1989. Growing Paradana balansa clover. Experience in the mid-north areas of S.A. Bulletin 3/89. 20 p. Department of Agriculture, South Australia, Australia.
- Ovalle, C., J. Avendaño, H. Acuña, y P. Soto. 1987. La carga animal con ovinos en el espinal de la zona mediterránea subhúmeda. II. Efecto sobre la productividad y composición botánica del estrato herbáceo. Agric. Téc. (Chile) 47:201-210.
- Ovalle, C., J. Avendaño, A. Del Pozo, C. Porqueddu, and S. Arredondo. 2000a. Ten new annual legumes tested for unirrigated lands of the Mediterranean-climate region of Chile. Cahiers Options Méditerranéennes 45:161-165.
- Ovalle, C., P. Bustos, A. Del Pozo, J. Avendaño, y S. Arredondo. 2003. Caracterización preliminar de una colección de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea de Chile. Agric. Téc. (Chile) 63:156-168.
- Ovalle, C., A. Del Pozo, J. Avendaño, T. Aravena, y M.E. Díaz. 2001. Cauquenes-INIA, nuevo cultivar de hualputra chilena (*Medicago polymorpha*) para áreas de secano mediterráneo. Agric. Téc. (Chile) 61:89-92.
- Ovalle, C., A. Del Pozo, J. Avendaño, y J. Aronson. 1997a. Características fenológicas y productivas de 34 accesiones de hualputra (*Medicago polymorpha*) colectadas en la zona mediterránea de Chile. Agric. Téc. (Chile) 57:261-270.
- Ovalle, C., A. Del Pozo, F. Squella, S. Arredondo, y R. Cussen. 1997b. Leguminosas forrajeras anuales. Recomendación de especies y cultivares para el secano mediterráneo de Chile. Serie Quilamapu 79. 32 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán, Chile.
- Ovalle, C., A. Fraga, J. Avendaño, y H. Acuña. 2000b. Trébol balansa (*Trifolium michelianum*): nueva forrajera leguminosa anual para suelos con problema de drenaje. Boletín INIA N° 42. p.155-157. In C. Pérez (ed.). Propositiones tecnológicas para un desarrollo sustentable del secano. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Ovalle, C., y F. Squella. 1996. Terrenos de pastoreo con especies anuales en el área de influencia climática mediterránea. p. 429-466. In I. Ruiz (ed.). Praderas para Chile. 2ª ed. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Ovalle, C., F. Squella, S. Arredondo, A. Del Pozo, y J. Avendaño. 1997c. Trébol balansa (*Trifolium michelianum*) una leguminosa forrajera promisorio para sistemas pastorales del secano mediterráneo de Chile. Agric. Téc. (Chile) 57:50-57.
- Paynter, B.H. 1990. Comparative phosphate requirements of yellow serradela (*Ornithopus compressus*), burr medic (*Medicago polymorpha*) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). Aust. J. Exp. Agric. 30:507-514.
- Puckridge, D.W., and R.J. French. 1983. The annual legume pasture in cereal - ley farming systems of Southern Australia: a review. Agric. Ecosyst. Environ. 9:229-267.
- Revell, C.K. 1992. New Serradela varieties for low rainfall pastures. J. Agric. Western Australia 3:121-127.
- Revell, C.K., L. Cransberg, and B. Nutt. 1994. New developments in Serradela. 17 p. Cooperative Research Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture. Bulletin 4328. Department of Agriculture, Western Australia, Australia.
- Revell, C.K., G.B. Taylor, and P.S. Cocks. 1998. Long-term softening of surface and buried hard seeds of yellow serradela grown in a range of environments. Aust. J. Agric. Res. 49:673-685.
- Squella, F. 1992. The ecological significance of seed size in Mediterranean annual pasture legumes. 466 p. Ph. D. thesis. The University of Australia, South Australia, Australia.
- Steel, R.G.D., and J.H. Torrie. 1960. Principles and procedures of statistics. 481 p. Mc Graw-Hill, New York, USA.
- Tilman, D., J. Knops, D. Wedin, P. Reich, M. Ritchie, and E. Siemann. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. Science 277:1300-1302.
- Tilman, D., D. Wedin, and J. Knops. 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature 379:718-720.
- Wardle, D.A., and K.E. Giller. 1996. The quest for a contemporary ecological dimension to soil biology. Soil Biol. Biochem. 28:1549-1554.