

**ADAPTACIÓN, CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE NUEVAS LEGUMINOSAS FORRAJERAS ANUALES EN LA ZONA MEDITERRÁNEA DE CHILE. II. COMPORTAMIENTO DE LAS ESPECIES EN SUELOS GRANÍTICOS DEL SECANO INTERIOR SUBHÚMEDO**

**Adaptation, growth and production of new annual forage legumes in the Mediterranean zone of Chile. II. Species performance in granitic soils of the sub-humid interior dryland**

**Carlos Ovalle M.<sup>1</sup>, Alejandro del Pozo L.<sup>2</sup>, Julia Avendaño R.<sup>3</sup>, Fernando Fernández E.<sup>3</sup> y Susana Arredondo S.<sup>1</sup>**

**ABSTRACT**

In order to evaluate the productivity and persistence of new germplasm of annual forage legumes in degraded granitic soils of the interior dryland of the sub-humid Mediterranean climate region of Chile, a field experiment was carried out at the Cauquenes Experimental Center of the National Agricultural Research Institute (INIA), Chile, between July 2000 and March 2002. The studied species were *Biserrula pelecinus* (3 cultivars), *Ornithopus compressus* (7), *O. sativus* (2), *Trifolium michelianum* (1), *T. resupinatum* (1), *T. vesiculosum* (1). Cultivars of *Trifolium subterraneum sensu lato* (3) and of *Medicago polymorpha* (1) were included as controls, since these species are widely used in the study area. The experimental design was of random blocks with four replicates and plot size was 2 x 5 m. The results of phytomass production, seed and seed hardness indicated significant differences ( $P \leq 0.05$ ) between species and cultivars in the three years of evaluation. *B. pelecinus* had an outstanding performance in the third year, showing high phytomass (7,840-8,920 kg DM ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and seed (1,290-1,603 kg MS ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) production, as well as high persistence. *O. compressus* cvs. Madeira, Avila, Santorini and Paros had also a high potential for phytomass (6,650-8,720 kg DM ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) and seed production in the third year. Phytomass production of *O. sativus* cv. Cadiz was superior ( $P \leq 0.05$ ) to the *T. subterraneum* and *M. polymorpha* in the third year, but inferior to the best cultivars of *B. pelecinus* and *O. compressus*. On the other hand, *T. michelianum* cv. Paradana, *T. resupinatum* cv. Kymbro and *T. vesiculosum* had low productivity and persistence in this environment.

**Key words:** *Biserrula pelecinus*, *Ornithopus* spp., *Medicago polymorpha*, *Trifolium subterraneum*, *T. michelianum*, *T. resupinatum*, *T. vesiculosum*.

**RESUMEN**

Con el objetivo de evaluar la productividad y persistencia de nuevo germoplasma de leguminosas forrajeras anuales, en suelos graníticos degradados del secano interior mediterráneo sub-húmedo de Chile, se realizó un experimento de campo en el Centro Experimental Cauquenes, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile, entre julio de 2000 y marzo de 2002. Las especies estudiadas fueron *Biserrula pelecinus* (3 cultivares), *Ornithopus compressus* (7), *O. sativus* (2), *Trifolium michelianum* (1), *T. resupinatum* (1) y *T. vesiculosum* (1). Se incluyeron como testigo cultivares de *Trifolium subterraneum sensu lato* (3) y de *Medicago polymorpha* (1), puesto que ambas especies son de amplia utilización en la zona de estudio. Se utilizó un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones y el tamaño de las parcelas fue de 2 x 5 m. Los resultados de producción de fitomasa, semilla y dureza seminal indicaron diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre las especies y cultivares, en los tres años de evaluación. *B. pelecinus* destacó sobre todo en el tercer año, por una alta producción de fitomasa (7.840-8.920 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y de semillas (1.290-1.603 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>), y alta persistencia. *O. compressus* cvs. Madeira, Ávila, Santorini y Paros, también presentaron un alto potencial de producción de fitomasa (6.650-8.720 kg MS ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>) y de semilla en el tercer año de evaluación. La producción de *O. sativus* cv. Cádiz, en el tercer año fue superior ( $P \leq 0,05$ ) a *T. subterraneum* y *M. polymorpha*, pero inferior a los mejores cultivares de *B. pelecinus* y *O. compressus*. Por otra parte, *T. michelianum* cv. Paradana, *T. resupinatum* cv. Kymbro y *T. vesiculosum* presentaron una baja productividad y persistencia en este ambiente.

**Palabras clave:** *Biserrula pelecinus*, *Ornithopus* spp., *Medicago polymorpha*, *Trifolium subterraneum*, *T. michelianum*, *T. resupinatum*, *T. vesiculosum*.

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile. E-mail: covalle@inia.cl \*Autor para correspondencia.

<sup>2</sup> Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Casilla 537, Chillán, Chile.

<sup>3</sup> Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Experimental Cauquenes, Casilla 165, Cauquenes, Chile.

Recibido: 12 de marzo de 2003. Aceptado: 8 de septiembre de 2003.

## INTRODUCCIÓN

En extensas áreas de la región mediterránea de Chile, la productividad de las praderas está severamente limitada por una baja diversidad de especies valiosas, especialmente de leguminosas fijadoras de N, que son la base de los sistemas pastorales en países que muestran un alto desarrollo de los sistemas ganaderos (Ewing, 1995; Cocks y Bennett, 1999). Una muy baja frecuencia de especies de leguminosas anuales se observa en los suelos degradados ligeramente ácidos del secano interior, entre las cuales *Trifolium subterraneum* y dos especies de Medicagos anuales (*Medicago polymorpha* y *M. arabica*) son las más abundantes (Ovalle *et al.*, 1999). El mejoramiento de la productividad y la sostenibilidad ecológica y económica de los sistemas ganadero-pastorales en zonas mediterráneas, pasa necesariamente por incrementar la diversidad de especies de alto valor forrajero, y en particular de leguminosas anuales, con características morfo-funcionales apropiadas, tales como semillas pequeñas y duras, mayor amplitud en precocidad, alta capacidad de fijación de N atmosférico, alta producción y habilidad para dispersión de semilla, que aseguren la persistencia en estas zonas con regímenes plu-viométricos muy variables e impredecibles, y períodos de sequía prolongados (Cocks, 1999).

Se han desarrollado en Australia, durante los últimos años, numerosos cultivares de especies de leguminosas anuales diferentes de *T. subterraneum* y *Medicago* spp. Entre éstos se encuentran varios cultivares de serradela amarilla (*Ornithopus compressus*) y serradela rosada (*O. sativus*). Ambas especies presentan raíces profundas, aparentemente están bien adaptadas a suelos infértiles (Bignell, 1993) de textura liviana, ácidos y con altas concentraciones de Al y Mn (Michalk y Revell, 1993); producen forraje de buena calidad (Freebairn, 1994), poseen semillas más pequeñas que *M. polymorpha* y *T. subterraneum*, pero difieren en el porcentaje de dureza seminal. *O. compressus* tiene un porcentaje de semilla dura mucho mayor que *O. sativus* (Loi *et al.*, 1999). No obstante, ninguna de ellas tiene la capacidad de enterrar la semilla en el suelo, que es el prin-

cipal atributo y mecanismo de persistencia en los cultivares de *T. subterraneum* spp. *subterraneum*.

Diversos estudios demuestran que *O. compressus* es tolerante a suelos ligeramente ácidos (Bignell, 1993; Nutt, 1993) y estrés hídrico (Bignell, 1993; Freebairn, 1993; Revell e Ewing, 1993), presenta bajos requerimientos y/o una alta eficiencia en el uso de P (Paynter, 1990; Bolland y Baker, 1990; Paynter y Bolland, 1993; Bignell, 1993; Freebairn, 1993; Revell e Ewing, 1993) y de K (Pinkerton y Randall, 1993). Su escaso crecimiento aéreo en invierno se debe a que las bajas temperaturas reducen la tasa de fijación de N (Bolland, 1985b; Freebairn, 1993) en beneficio del crecimiento radicular (Revell e Ewing, 1993). Los altos niveles de semilla dura que presenta la especie (Fu *et al.*, 1996; Loi *et al.*, 2000), que en estudios ha superado el 84% (Loi *et al.*, 1999), se ven reducidos cuando ésta es enterrada a más de 2 cm de profundidad (Loi *et al.*, 1999; Taylor y Revell, 1999). Existe una baja recuperación seminal luego de la ingestión animal, debido al aumento del tamaño de la semilla por la segmentación de la vaina madura (Edward *et al.*, 2001).

*O. sativus* es una leguminosa resistente a sequías y heladas, con bajas exigencias de suelo; de uso potencial en suelos ácidos y áreas de precipitaciones anuales bajas (275-350 mm) (Nutt, 1993). La semilla es blanda o de fácil ablandamiento (Bolland, 1985a; Freebairn, 1993). Otras especies de interés son biserrula (*Biserrula pelecinus*) y trébol balansa (*T. michelianum*). La primera es endémica de la cuenca mediterránea y está bien adaptada a suelos bien drenados de textura liviana a media (Howieson *et al.*, 1995); tiene un hábito de crecimiento erecto, produce un gran número de semillas (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003; 2005) de tamaño pequeño, y de relativa fácil cosecha (Loi *et al.*, 1999). Los niveles de semilla dura son altos, alcanzando 90% sobre el segundo año, presentando una buena persistencia en condiciones climáticas adversas (Ovalle *et al.*, 2000; Loi *et al.*, 2000). El pequeño tamaño de la semilla hace que la recuperación en las fecas de semillas ingeridas por animales sea alta (Loi *et al.*, 2000; Porqueddu, 2000; Edward *et al.*, 2001).

Por su parte, el trébol balansa, endémico de Turquía, su principal característica es la alta tolerancia a suelos mal drenados; además posee semillas muy pequeñas (0,5-1,2 mm de diámetro y 0,314-0,933 mg de peso), y una alta producción de fitomasa consumible y semillas (Mitchell y Cooper 1989; Squella, 1992).

Existen otras especies de *Trifolium* que están siendo evaluadas además en otras zonas del secano (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2004) y que presentan características que les permiten ser integradas a estas zonas, como son *T. vesiculosum* y *T. resupinatum*. Esta última especie es muy resistente a períodos prolongados de inundación (Lacy *et al.*, 1999) y además es altamente tolerante a frío (Dear *et al.*, 2000). *T. vesiculosum* tiene como característica principal la raíz pivotante (1,5 m), que le permite encontrar agua en profundidad, para así prolongar significativamente su período de crecimiento. Además, una ventaja importante de esta especie es que resiste al frío y es muy tolerante a la sequía (Reed, 1999).

El presente artículo informa los resultados de un experimento de campo donde cultivares de *O.*

*compressus*, *O. sativus*, *T. michelianum*, *T. resupinatum*, *T. vesiculosum* y *B. pelecinus* fueron comparados con *M. polymorpha* y *T. subterraneum*, en el secano interior de la región de clima mediterráneo de Chile, durante tres años. El objetivo fue evaluar la productividad y persistencia de estas leguminosas anuales, y discutir su posible rol en los sistemas de producción y en programas de rehabilitación de suelos degradados del secano interior.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el Centro Experimental Cauquenes, VII Región (35°58' lat. Sur; 72°17' long. Oeste; 177 m.s.n.m.) perteneciente al Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). La siembra de 19 cultivares pertenecientes a ocho especies de leguminosas anuales (Cuadro 1), se realizó con una máquina sembradora de ensayo modelo Planet Junior (USA). La dosis de semilla se indica en el Cuadro 1 y la variación dentro de una misma especie se debió al distinto porcentaje de germinación que poseía la semilla disponible. La fecha de siembra fue el 6 de junio de 2000, con una resiembra el 4 de julio del mismo año, debido a pérdida de plantas ocasiona-

**Cuadro 1. Especies, origen, cultivar o accesión y dosis de semilla, de los cultivares de leguminosas evaluados en Cauquenes.**

**Table 1. Species, origin, cultivar or accession and sowing rate of the legume cultivars evaluated in Cauquenes.**

Especie	Origen	Cultivar o accesión	Dosis semilla (kg ha <sup>-1</sup> )
<i>Medicago polymorpha</i>	Chile, Cauquenes	Cauquenes-INIA	16
<i>Trifolium subterraneum</i> var. <i>subterraneum</i>	Australia	Seaton Park	16
<i>T. subterraneum</i> var. <i>brachycalycinum</i>	Australia	Clare	16
<i>T. subterraneum</i> var. <i>yanninicum</i>	Australia	Gosse	16
<i>T. michelianum</i>	Turquía	Paradana comercial	7
<i>Ornithopus compressus</i>	Mykonos, Grecia	Charano	9
<i>O. compressus</i>	Grecia	Paros	11
<i>O. compressus</i>	Santorini, Grecia	Santorini	11
<i>O. compressus</i>	Portugal	Madeira	10
<i>O. compressus</i>	s.i.	Pitman	11
<i>O. compressus</i>	s.i.	Tauro	9
<i>O. compressus</i>	España	Ávila	11
<i>O. sativus</i>	Sud Africa	Cádiz	14
<i>O. sativus</i>	s.i.	SP 1/13 0662	11
<i>Biserrula pelecinus</i>	Marruecos	Mor96	13
<i>B. pelecinus</i>	Marruecos	Mor99	13
<i>B. pelecinus</i>	Marruecos	Casbah	9
<i>T. resupinatum</i>	Turquía	Kymbro	9
<i>T. vesiculosum</i>	Europa meridional y central	s.i.	15

s.i.: sin información.

da por fuertes lluvias en ese período. Las semillas se inocularon con el rizobio específico a razón de 10 g kg<sup>-1</sup> de semilla. Se usó metil celulosa al 1% como adherente (1 L kg<sup>-1</sup> de semilla). Con esta mezcla se humedecieron las semillas, después se cubrieron y peletizaron con carbonato de calcio.

La fertilidad inicial del suelo indicó un nivel bajo de P (5 mg kg<sup>-1</sup>), bajo de N (19,8 mg kg<sup>-1</sup>), medio de K (128 mg kg<sup>-1</sup>), con un bajo contenido de materia orgánica (3,2%) y pH ligeramente ácido (5,9). Todos los tratamientos recibieron una fertilización a la siembra que consistió en 92 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a la forma de superfosfato triple, localizado, y 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a la forma de cloruro de potasio, al voleo, antes de pasar el rotovator. Las parcelas recibieron una fertilización de mantenimiento en julio de 2001, con el equivalente a 45 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> como superfosfato triple, 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a la forma de cloruro de potasio, 2,2 kg ha<sup>-1</sup> de B a la forma de boronatrocalcita, y 90 kg ha<sup>-1</sup> de S y 150 kg ha<sup>-1</sup> de Ca a la forma de sulfato de calcio.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones; el tamaño de las parcelas fue de 10 m<sup>2</sup>. Se realizó ANDEVA y en la comparación de medias se usó la prueba de Duncan (Little y Jackson, 1978) con un nivel de significación de 5%.

### Evaluaciones

Durante la primera temporada (2000) en el mes de agosto se evaluó la emergencia de plantas utilizando el método de point quadrat (Daget y Poissonet, 1971) mediante el recuento de presencia o ausencia de plantas en líneas de 2,4 m por parcela. Durante las temporadas 2001 (julio) y 2002 (junio y agosto) se realizó un recuento a partir de muestras extraídas en cilindros de 78,5 cm<sup>2</sup>.

La producción de fitomasa, en base MS, se evaluó en dos cortes anuales durante las tres temporadas de evaluación. En la temporada 2000 los cortes se realizaron el 30 de octubre y 04 de diciembre; durante la segunda temporada (2001), los cortes se realizaron el 01 de septiembre y 01 de diciembre, y finalmente en la tercera temporada (2002) estos se realizaron el 30 de mayo y el 3 de diciembre. La evaluación se realizó me-

dante el corte de la fitomasa circunscrita en cuadrante de 1 m<sup>2</sup>. La altura de corte fue de 5 cm. El material evaluado se secó en horno con circulación de aire forzado a 70°C por 72 h. La producción de frutos y semillas se evaluó mediante cuadrantes de 20 x 20 cm a razón de 2 submuestras por parcela y repetición. Se realizó separación manual y trilla del material correspondiente, y se determinó la producción de frutos, peso de 100 frutos, producción de semillas, número de semillas por legumbre, peso de 1.000 semillas, y número de semillas por gramo. La evaluación de producción de semillas se realizó sobre plantas que no habían sido sometidas a corte de otoño o invierno. La época de cosecha de frutos para todas las especies se realizó en el mes de noviembre el primer año (2000). En la segunda temporada (2001), los frutos se cosecharon el 15 de enero (2002) para todas las especies con excepción de *T. michelianum* que se cosechó el 07 de noviembre (2001). En la tercera temporada (2002), *T. michelianum* se cosechó el 29 de noviembre, y el resto de las especies se cosecharon el 05 de diciembre del mismo año.

Se determinó el porcentaje de germinación en dos épocas, la primera se efectuó al final de la temporada de crecimiento (diciembre) y la segunda medición se realizó en el otoño siguiente (abril). En la segunda evaluación, las semillas se dejaron expuestas al ambiente en las bancadas, desde la caída de frutos en diciembre hasta el otoño siguiente (abril), dispuestas en el interior de marcos de madera de 25 x 25 cm, con una base de tela y una cubierta de malla plástica. Para determinar la germinación, se colocaron 50 semillas de cada accesión en placas Petri, cubiertas con papel filtro húmedo, en cámara de germinación a 20°C. Al cabo de 20 días se contaron las semillas germinadas, para determinar la proporción de semillas que germinaron en relación al total.

Se realizaron ANDEVA y separación de medias mediante un test de Duncan ( $P \leq 0,05$ ), para las variables de porcentaje de semilla dura, número de semillas por gramo, peso de 1.000 semillas, número de semillas por fruto y peso de 100 frutos. Para la variable de dureza seminal se usó la transformación

angular de Bliss, para normalizar los datos, pues se asume que no tienen distribución normal.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Condiciones climáticas durante el período experimental

Durante el período experimental no se registraron años secos en Cauquenes, por el contrario, en los tres años y en especial en la tercera temporada (2002), las precipitaciones fueron superiores a la media histórica, que es de 663 mm (Figura 1). En cuanto a la distribución de las lluvias, el año 2002 también fue particularmente atípico debido a la ocurrencia del fenómeno de “El Niño”. En efecto, durante ese año tanto el monto total de agua caída (982 mm) como la lluvia registrada en el período fines de invierno-primavera (439 mm) fue muy superior a la media histórica (Figura 1), lo cual, como se verá más adelante, favoreció el crecimiento de los pastos. Además, se destacó el año 2000 (año de establecimiento de la pradera) por una fuerte concentración invernal de las lluvias en el mes de junio, en el cual precipitó más del 50% de la

lluvia anual. También en el mes de febrero de 2000 y en febrero y marzo de 2002, ocurrieron lluvias de verano de aproximadamente 50 mm, lo cual indujo el fenómeno de “falsa partida de la pradera” es decir, la germinación de un gran número de semillas y posteriormente ocurre una alta mortalidad de plántulas.

Desde el punto de vista térmico destacó como anormalmente frío el invierno del año 2002 (Figura 2), con temperaturas mínimas inferiores en aproximadamente 2°C a la media histórica, registrándose en los meses de junio y julio una temperatura media mínima de 2,5 y 2,8°C, respectivamente. También destacó el mes de julio de 2000, como anormalmente frío, con una media mínima de 2,6°C.

### Densidad de plántulas

En el año de siembra la densidad fue inferior a 500 plántulas m<sup>-2</sup>, considerada como óptima, lográndose como máximo una densidad de 358 plántulas m<sup>-2</sup>. Las poblaciones más altas ( $P \leq 0,05$ ) se observaron en *M. polymorpha*, *O. compressus* cv. Paros, *T. subterraneum* cvs.

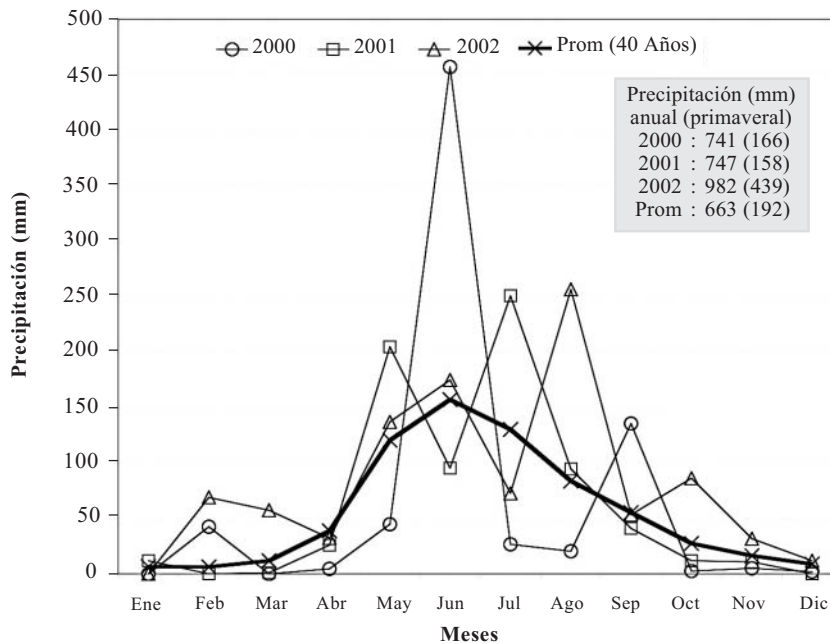


Figura 1. Precipitaciones mensuales durante el período experimental, en comparación con la media histórica de 40 años (del Pozo y del Canto, 1999) en Cauquenes.

Figure 1. Monthly rainfall during the experimental period, in comparison with the historical average of 40 years (del Pozo y del Canto, 1999) in Cauquenes.

Seaton Park y Clare, *B. pelecinus* accesión Mor 99, *T. resupinatum* y *T. michelianum*, con poblaciones que oscilaron entre 220 y 370 plantas m<sup>-2</sup> (Cuadro 2).

En el segundo año (2001), los cultivares y especies de menor dureza seminal (Cuadro 3) presentaron mayor ( $P \leq 0,05$ ) densidad de plántulas, tales como *T. subterraneum*, con sobre 3.000 plántulas m<sup>-2</sup>, seguido de *O. compressus* cvs. Pitman y Tauro, y *O. sativus* accesión SP1/130662 con densidades superiores a 1.000 plántulas m<sup>-2</sup>. También se obtuvo una alta regeneración en las especies que tuvieron alta producción de semillas y alto número de semilla por gramo (Cuadro 3), como *T. michelianum* y *M. polymorpha*. La resiembra de los cultivares de *B. pelecinus*, *T. vesiculosum* y de algunos cultivares de *O. compressus* fue muy deficiente en el segundo año, debido al alto porcentaje de semillas duras (Cuadro 3). En el tercer año, la densidad de plantas mejoró substancialmente en *B. pelecinus*, alcanzando niveles aproximados a las 1.000 plántulas m<sup>-2</sup>. Algo similar se observó en todos los cultivares

de *O. compressus*, aunque la densidad de plantas superó las 1.000 unidades m<sup>-2</sup> solo en los cvs. Pitman, Madeira y Ávila.

El “ablandamiento” de la semilla que ocurre a partir del tercer año, permitió que aumentara la población en la mayor parte de los cultivares de estas especies. Como era de esperar, en las especies de baja dureza seminal (*T. subterraneum* y *O. sativus*), la densidad de plantas fue elevada en el segundo y tercer año, siendo ésta más alta en el cv. Seaton Park de *T. subterraneum* (Cuadro 3). Sin embargo, una segunda evaluación realizada en agosto del tercer año (2002), permitió detectar una brusca caída en la densidad de plantas que se produjo en el período invernal. Todas las especies pertenecientes al género *Trifolium* fueron las que redujeron más la densidad de plantas, con porcentajes variables de mortalidad entre 20 y 85%, y *M. polymorpha* que presentó un 52% (Cuadro 4). Esto como consecuencia de las bajas temperaturas registradas en junio del 2002, donde hubo siete días consecutivos con temperaturas entre 0 y -4°C, lo que produjo una alta mortalidad de plantas y daño por heladas en esas especies.

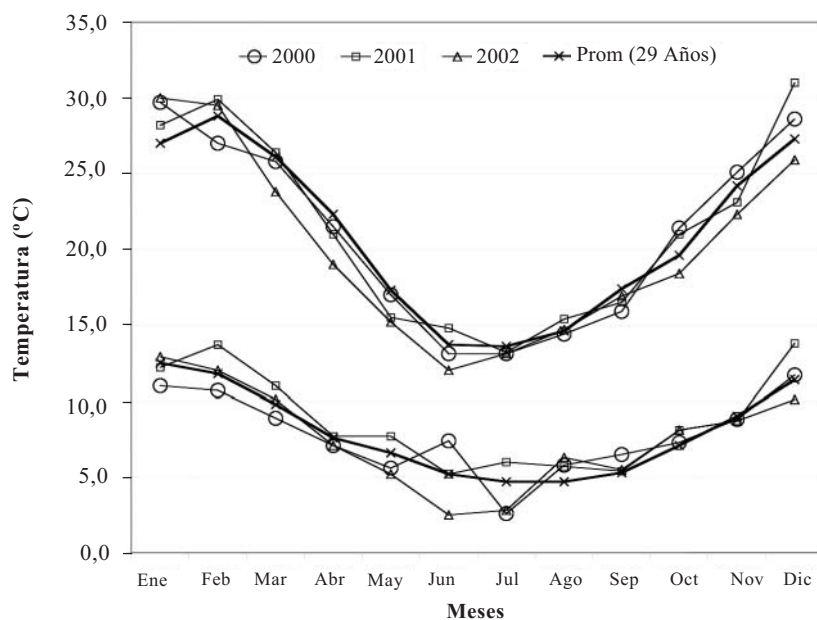


Figura 2. Temperaturas mensuales promedio (mínima y máxima) durante el período experimental, en comparación con la media histórica de 29 años (del Pozo y del Canto, 1999) en Cauquenes.

Figure 2. Average monthly temperatures (minimum and maximum) during the experimental period, in comparison with the historical average of 29 years (del Pozo y del Canto, 1999) in Cauquenes.

**Cuadro 2. Densidad de plantas (N° plantas m<sup>-2</sup>) durante tres temporadas de evaluación.**  
**Table 2. Plant density (N° plants m<sup>-2</sup>) during three seasons of evaluation.**

Especie	Accesión o cultivar	Densidad de plantas (N° plantas m <sup>-2</sup> )				
		Agosto 2000	Julio 2001	Junio 2002	Agosto 2002	
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor 99	220 abcd <sup>1</sup>	19 g	1.031 bcd	969 defgh	
	Mor 96	102 cd	57 g	1.069 bcd	988 defgh	
	Casbah	130 cd	44 g	981 bcd	1.031 defg	
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	358 ab	1.669 de	800 bcd	388 fgh	
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	109 cd	26 g	531 cd	525 efgh	
	Pitman	77 cd	2.525 cd	2.131 bc	1.981 abc	
	Madeira	134 bcd	256 fg	2.031 bc	2.006 abc	
	Tauro	92 cd	1.563 de	744 bcd	738 efgh	
	Paros	244 abcd	256 fg	819 bcd	819 efgh	
	Santorini	87 cd	132 fg	931 bcd	900 efgh	
	Ávila	64 d	175 fg	1.338 bcd	1.300 bcde	
	<i>Ornithopus sativus</i>	SP 1/13 0662	60 d	1.394 def	2.363 b	2.269 a
		Cádiz	147 bcd	781 efg	2.350 b	2.075 ab
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	304 abc	2.356 cd	1.850 bcd	256 gh	
<i>T. resupinatum</i>	Kymbro	208 abcd	469 efg	831 bcd	194 gh	
<i>T. vesiculosum</i>	Vesiculoso	63 d	13 g	363 d	94 h	
<i>T. subterraneum</i>	Seaton Park	379 a	4.794 a	4.150 a	1.350 bcde	
	Gosse	110 cd	3.756 ab	1.581 bcd	1.194 cdef	
	Clare	183 abcd	3.094 bc	2.350 b	1.838 abcd	

<sup>1</sup>Letras iguales en la columna indican que no existe diferencia significativa según test de Duncan ( $P \geq 0,05$ ).

Hasta la fecha no se disponía de información respecto a la evolución de la densidad de plantas dentro de una misma temporada de crecimiento. Este resultado indica la necesidad de efectuar estudios más detallados sobre la tolerancia de las especies y cultivares a bajas temperaturas, u otras fallas como nodulación, que pudieran estar determinando la alta mortalidad de plantas en el período invernal.

### Producción de fitomasa

Los resultados de producción de fitomasa revelan diferencias significativas ( $P \leq 0,05$ ) entre las especies y cultivares en los tres años de evaluación (Cuadro 5). En el año de establecimiento, la producción fue en general inferior a la de los otros años. Destacan entre las más productivas *B. pelecinus* accesión Mor 96 con 2.230 kg MS ha<sup>-1</sup>, y entre las de menor producción *T. resupinatum* cv. Kymbro con una producción de sólo 1.000 kg MS ha<sup>-1</sup>. En la segunda temporada, *T. michelianum* cv. Paradana fue la especie de mayor producción, con aproximadamente 4.000 kg MS ha<sup>-1</sup>. Los tres cultivares de *T. subterraneum* y *M. polymorpha* formaron parte

del grupo de materiales más productivos, al igual que varios cultivares de *O. compressus* (Tauro, Pitman y Madeira) y de *O. sativus*. En general, la producción de los tres cultivares de *B. pelecinus* fue significativamente ( $P \leq 0,05$ ) menor en relación a la mayor parte de las especies evaluadas. El mismo comportamiento experimentaron *T. resupinatum*, *T. vesiculosum* y *O. compressus* cv. Charano (Cuadro 5).

*B. pelecinus* se estableció bien en el primer año, sin embargo, como consecuencia de su alta dureza seminal (Howieson *et al.*, 1995; Loi *et al.*, 1999; Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003) la producción de MS y de semillas fue baja en el segundo año, conformando el grupo de especies de menor producción en ese año. No obstante, al tercer año, una vez producido el ablandamiento natural del banco de semilla, *B. pelecinus* fue la especie más productiva tanto en ese año, como al considerar la producción en el período total de tres años de evaluación. Un comportamiento similar había sido reportado en estudios preliminares realizados en la misma área agroecológica (Ovalle *et al.*, 2000).

**Cuadro 3. Dureza seminal y otras características de la semilla de 19 cultivares de especies de leguminosas forrajeras anuales.**

**Table 3. Seed hardness and other seed characteristics of 19 cultivars of species of annual forage legumes.**

Especie	Accesión o cultivar	Porcentaje semilla dura	Nº semillas por gramo	Peso 1.000 semillas (g)	Nº semillas por fruto	Peso de 100 frutos (g)
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor 99	100 a <sup>1</sup>	713 d	1,4 ghij	18,6 cd	5,56 efg
	Mor 96	100 a	842 c	1,2 hij	20,6 cd	5,06 fgh
	Casbah	99,3 ab	674 d	1,5 ghij	18,7 cd	5,56 efg
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	96,7 bc	223 k	4,5 c	6,7 d	6,17 defg
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	100 a	287 j	3,5 d	7,4 d	9,07 cd
	Pitman	71,8 e	435 g	2,3 efg	7,9 d	5,90 defg
	Madeira	97,5 abc	512 f	1,9 fgh	7,7 d	3,90 gh
	Tauro	52,1 f	498 f	2,0 fgh	7,0 d	3,47 gh
	Paros	99,9 a	386 h	2,6 def	8,5 d	6,20 defg
	Santorini	99,9 a	331 i	3,0 de	6,9 d	5,87 defg
	Ávila	99,1 ab	448 g	2,2 efg	8,7 d	4,43 gh
	<i>O. sativus</i>	SP 1/13 0662	68,2 e	602 e	1,7 fghi	6,8 d
	Cádiz	4,0 g	468 fg	2,2 efg	6,7 d	2,90 gh
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	93,3 cd	1.215 b	0,8 ij	63,2 b	15,9 b
<i>T. resupinatum</i>	Kymbro	86,1 d	1.721 a	0,6 j	32,1 c	4,67 gh
<i>T. vesiculosum</i>	Vesiculososo	99,8 ab	701 d	1,4 ghij	177,2 a	73,5 a
<i>T. subterraneum</i>	Seaton Park	53,0 f	143 l	7,0 b	4,4 d	10,2 c
	Gosse	74,2 e	144 l	7,3 b	3,8 d	8,30 defg
	Clare	63,8 ef	112 l	8,9 a	3,9 d	9,00 cde

<sup>1</sup> Letras iguales en la columna indican que no existe diferencia significativa según test de Duncan ( $P \geq 0.05$ ).

Los cultivares de *O. compressus* son un segundo grupo de plantas de alto interés y con buenas perspectivas para ser integradas en los sistemas de producción del secano interior. El patrón de comportamiento productivo interanual de esta especie fue similar a lo observado en *B. pelecinus*. En los tres años de evaluación, los cvs. Madeira y Ávila de *O. compressus* alcanzaron los 12.000 kg MS ha<sup>-1</sup>. Niveles de producción similares se obtuvieron en *B. pelecinus*, los que superaron ampliamente a los cultivares de *T. subterraneum* (Cuadro 5).

Los cultivares de *O. sativus* presentaron un comportamiento adecuado al observar el conjunto de años evaluados. La producción del tercer año fue superior a los testigos ( $P \leq 0,05$ ), pero menor a los mejores cultivares de *B. pelecinus* y *O. compressus*. La ausencia de dureza seminal en esta especie, hace que sea especialmente vulnerable a las “falsas partidas” (Bolland, 1985a).

*T. michelianum* cv. Paradana, *T. resupinatum* cv. Kymbro y *T. vesiculosum* no presentaron una alta persistencia de la producción en el conjunto de los años en los suelos de lomaje granítico del secano

**Cuadro 4. Mortalidad de plantas de varias especies de leguminosas forrajeras anuales durante el período invernal de la tercera temporada de crecimiento. Cauquenes, 2002.**

**Table 4. Plant mortality of several species of annual forage legumes during the winter period of the third growing season. Cauquenes, 2002.**

Especie	Accesión o cultivar	Mortalidad plantas (%)
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor 99	6,3
	Mor 96	8,0
	Casbah	0,0
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	52,0
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	3,1
	Pitman	6,6
	Madeira	0,9
	Tauro	2,9
	Paros	2,0
	Santorini	3,3
	Ávila	3,3
	<i>O. sativus</i>	SP 1/13 0662
	Cádiz	12,0
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	86,0
<i>T. resupinatum</i>	Kymbro	77,0
<i>T. vesiculosum</i>	Vesiculososo	74,0
<i>T. subterraneum</i>	Seaton Park	67,0
	Gosse	23,6
	Clare	22,0



**Cuadro 5. Producción de fitomasa (kg MS ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) de leguminosas forrajeras anuales, durante tres temporadas de evaluación, en el secano interior de la zona mediterránea subhúmeda. Cauquenes, Chile.**  
**Table 5. Phytomass production (kg DM ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>) of annual forage legumes, during three evaluation seasons, in the interior dryland of the sub-humid Mediterranean zone. Cauquenes, Chile.**

Especie	Accesión o cultivar	Producción de fitomasa (kg MS ha <sup>-1</sup> )		
		2000	2001	2002
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor 99	1.375 bc	180 c	7.840 abc
	Mor 96	2.230 a	1.260 b	8.733 a
	Casbah	1.808 ab	465 c	8.920 a
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	1.178 bc	2.730 ab	0 i
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	1.925 a	490 c	4.800 def
	Pitman	1.435 bc	3.460 a	5.250 def
	Madeira	1.598 abc	2.275 ab	8.640 a
	Tauro	1.875 ab	3.595 a	4.490 ef
	Paros	1.670 ab	1.145 b	6.650 bcd
	Santorini	1.753 ab	1.925 ab	6.680 bcd
	Ávila	1.485 abc	1.833 ab	8.720 ab
	<i>O. sativus</i>	SP 1/13 0662	1.055 c	3.147 a
	Cádiz	1.293 bc	1.453 ab	6.370 cd
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	1.360 bc	4.010 a	0 i
<i>T. resupinatum</i>	Kymbro	850 d	310 c	0 i
<i>T. vesiculosum</i>	Vesiculoso	1.545 abc	400 c	1.520 h
<i>T. subterraneum</i>	Seaton Park	1.458 bc	2.270 ab	2.110 gh
	Gosse	1.565 abc	2.070 ab	1.880 h
	Clare	1.870 ab	3.580 a	3.867 fg

Letras iguales en la columna indican que no existe diferencia significativa según test de Duncan ( $P \geq 0,05$ ).

interior. Presumiblemente, las dos primeras especies, de conocida adaptación a suelos de texturas pesadas sujetos a condiciones de hidromorfismo temporal (Oram, 1990; Craig y Ballard, 2000) y de madurez tardía, no encuentran las condiciones edáficas e hídricas óptimas para el crecimiento y producción en estos suelos. Respecto de *T. vesiculosum*, su producción estaría limitada por tratarse de una especie de madurez muy tardía para la zona (150 días a floración) (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003), y por las condiciones de profundidad de suelo que no permitirían la expresión de su sistema radicular profundizador.

El patrón productivo de *T. subterraneum* cvs. Clare, Gosse y Seaton Park fue diferente al de las especies analizadas anteriormente. Presentaron una producción sin tantas fluctuaciones interanuales, probablemente debido a su menor dureza seminal (Cuadro 3), con lo cual superaron en producción a varios cultivares de *Ornithopus* spp. y de *B. pelecinus*, especialmente en el segundo año, y además tuvieron un buen establecimiento

y producción de primer año. Sin embargo, el potencial productivo sobre un período de tres años fue superado por las especies anteriormente mencionadas, especialmente en el tercer año. Una constitución más lenta del banco de semilla, provocada por la menor capacidad de producción de semilla (Cuadro 6) y la menor dureza seminal, que los expuso a altas mortalidades de plantas derivadas de las falsas partidas del año 2002, unido a una alta mortalidad de plantas en el invierno 2002, provocaron una disminución severa de la densidad poblacional y con ello de la producción de MS especialmente en la tercera temporada.

El comportamiento del testigo *M. polymorpha* cv. Cauquenes INIA no fue bueno, especialmente en el tercer año de evaluación. Se produjo una fuerte disminución de la densidad de plantas en el invierno de 2002, entre los meses de julio y agosto. Condiciones térmicas invernales demasiado severas (Figura 2) y baja tolerancia de las cepas de *Rhizobium meliloti* a las condiciones de acidez del suelo (Howieson, 1996), o bien una

combinación de ambos factores, podrían explicar este comportamiento. El problema de fallas en la nodulación en *M. polymorpha* en suelos degradados del secano interior es un fenómeno que se ha observado en muchos ensayos y en siembras comerciales de praderas, por lo que se requiere de estudios más precisos. Estas hipótesis explicativas del comportamiento de las especies y cultivares, debieran ser confirmadas a futuro con estudios más detallados y evaluaciones más precisas (Del Pozo y Aronson, 2000; Del Pozo *et al.*, 2002) sobre la adaptación de estas especies a estos ambientes, incluyendo la prueba de otros cultivares y una mayor diversidad de condiciones de suelo y microclima.

### Características de la semilla

Se encontraron significativas diferencias ( $P \leq 0,05$ ) en dureza seminal entre las especies y cultivares evaluados (Cuadro 3). Los cultivares de *B. pelecinus* y de *O. compressus* (a excepción de Pitman y Tauro) presentaron una alta dureza seminal, la que fluctuó entre 97,5 y 100% de

semilla dura en el otoño siguiente a la temporada en que se produjo la semilla. Respecto de las otras especies del género *Trifolium*, *T. vesiculosum* fue la de mayor dureza, mientras que *T. michelianum* y *T. resupinatum* también tuvieron porcentajes altos (Cuadro 3). El testigo *M. polymorpha* cv. Cauquenes-INIA, también fue de alta dureza, pero ligeramente inferior ( $P \leq 0,05$ ) a las especies anteriores. El cv. Cádiz de *O. sativus* tuvo muy baja dureza, con sólo un 4%, mientras que la accesión S1/130662, tuvo un 68%, similar estadísticamente ( $P \leq 0,05$ ) a *T. subterraneum* (Cuadro 3).

Respecto al peso de la semilla y número de unidades por gramo, la de mayor peso individual y menor número de semilla por unidad de peso fue *T. subterraneum* (Cuadro 3). Por el contrario, las de menor peso y mayor número fueron en orden decreciente: *T. resupinatum*, *T. michelianum*, *B. pelecinus* y *T. vesiculosum*. Los cultivares de *Ornithopus* spp. fueron de tamaño y peso intermedios en relación a los grupos antes señalados (Cuadro 4). Las especies de menor

### Cuadro 6. Producción de semilla (kg ha<sup>-1</sup>año<sup>-1</sup>) de leguminosas forrajeras anuales, durante tres temporadas de evaluación, en el secano interior de la zona mediterránea subhúmeda de Chile.

Table 6. Seed production (kg ha<sup>-1</sup>yr<sup>-1</sup>) of annual forage legumes, during three evaluation seasons, in the interior dryland of the sub-humid Mediterranean zone of Chile.

Especie	Accesión o cultivar	Producción de semilla (kg ha <sup>-1</sup> )		
		2000	2001	2002
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor 99	718 a	206 cd	1.603 a
	Mor 96	914 a	173 cd	1.536 a
	Casbah	495 cd	175 c	1.290 a
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	359 cdefg	446 ab	0 e
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	331 cdefg	120 d	645 cd
	Pitman	358 cdefg	155 cd	813 b
	Madeira	236 efg	196 c	993 bc
	Tauro	395 cdef	129 d	683 c
	Paros	300 cdef	146 cd	885 bc
	Santorini	520 bc	235 bc	813 b
	Ávila	203 g	138 d	793 b
<i>O. sativus</i>	SP 1/13 0662	218 f	135 d	865 b
	Cádiz	283 cdefg	103 d	1.148 ab
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	454 cdef	538 a	0 e
<i>T. resupinatum</i>	Kymbro	288 cdef	30 d	83 e
<i>T. vesiculosum</i>	Vesiculoso	469 cd	155 cd	48 d
<i>T. subterraneum</i>	Seaton Park	209 g	393 ab	280 d
	Gosse	260 defg	153 cd	190 d
	Clare	441 cdefg	226 bc	280 d

Letras iguales en la columna indican que no existe diferencia significativa según test de Duncan ( $P \geq 0,05$ ).

tamaño y peso podrían presentar importantes ventajas desde el punto de vista de la persistencia de la pradera, debido al menor costo del insumo semilla, en comparación con semillas de mayor tamaño. Malo y Suarez (1995) determinaron que las semillas de tamaño pequeño se destruyen menos en el proceso de rumia de los ovinos. Los mismos autores señalaron que de acuerdo al análisis del excremento de ovejas, un 45% de la semilla ingerida de *B. pelecinus* volvía al suelo luego que los animales las habían consumido.

### Producción de semilla

De manera análoga a lo que sucedió con la producción de forraje, las especies presentaron patrones de producción diferentes en cuanto a producción de semilla a lo largo de los años, debido no solamente a un potencial de rendimiento diferente sino debido a diferencias en dureza seminal. *B. pelecinus* produjo más semillas ( $P \leq 0,05$ ) que *T. subterraneum* y *M. polymorpha* en el primer y tercer año, pero no así en el segundo año, en que fue la especie menos productiva (Cuadro 6), debido a la alta dureza seminal. No obstante, si se observa el conjunto de los tres años (Cuadro 6), *B. pelecinus* tuvo el rendimiento de semillas más alto, similar a lo observado en Australia (Howieson *et al.*, 1995, Howieson *et al.*, 1999; Loi *et al.*, 2000) y otros estudios en Chile (Ovalle *et al.*, 2000; Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2004). La mayor parte de los cultivares de *O. compressus* tuvieron una producción de semilla menor ( $P \leq 0,05$ ) que las de *B. pelecinus*, pero un patrón de producción similar, es decir, baja producción en el segundo año, y una producción mayor en el tercer año. A pesar de la menor dureza seminal, *O. sativus* presentó un patrón de producción similar a *O. compressus*, destacando la alta producción del tercer año, especialmente del cv. Cádiz con una producción de aproximadamente 1.000 kg ha<sup>-1</sup>. Si se considera que el peso de la semilla de *B. pelecinus* es inferior a la de *Ornithopus*, el número de semillas por m<sup>2</sup> en *B. pelecinus* fue muy superior a la de *Ornithopus*. La producción de semillas de *T. resupinatum*, *T. vesiculosum* y *T. michelianum* en el tercer año fue inferior a la de *T. subterraneum* (Cuadro 5), debido a la baja densidad de plantas (Cuadro 2) y escaso crecimiento. La producción de semillas de *T. subterraneum* presentó menores fluctuaciones

interanuales, probablemente debido a la menor dureza seminal (Cuadro 3), no obstante en el tercer año se observó una producción significativamente más baja ( $P \leq 0,05$ ) respecto a *Ornithopus* spp. y *B. pelecinus*. La producción de semilla de *M. polymorpha* cv. Cauquenes INIA fue nula en el tercer año, debido a la baja densidad de plantas y crecimiento.

Según Puckrigde y French (1983), en leguminosas anuales, una adecuada cantidad de semilla en el suelo con alta dureza seminal (90%) equivale a 700 kg de semillas ha<sup>-1</sup>, lo que permitiría establecer de 1.000 a 2.000 plantas m<sup>-2</sup>, dado que sólo un 10% del total de semilla germina anualmente, y sólo un 50% de éstas se establece. Estos antecedentes estarían indicando que las producciones obtenidas en el presente estudio permitirían perpetuar las praderas sólo luego del segundo año y en algunos casos en el tercer año. Las producciones de *Ornithopus* en este estudio fueron superiores a las obtenidas por Freebairn (1993) especialmente en el tercer año, quién reportó 300 kg ha<sup>-1</sup> en condiciones de secano y manejo adecuado. En general, las especies y cultivares de alta producción y bajo peso seminal aportaron un mayor número de semillas, lo que podría traducirse en una mayor persistencia en la pradera.

### CONCLUSIONES

*B. pelecinus* es la especie que presentó el mejor potencial productivo de fitomasa y semillas. Esta nueva especie posee semilla de tamaño pequeño, alta dureza seminal y una alta persistencia. De la misma manera, se determinó que *O. compressus*, presentó buen comportamiento y alto potencial de producción en este ambiente. En particular, se destacaron los cvs. Madeira, Ávila, Santorini y Paros, los cuales presentaron altos rendimientos de fitomasa y semilla en el conjunto de las tres temporadas de evaluación.

*T. michelianum* cv. Paradana, *T. resupinatum* cv. Kymbro, y *T. vesiculosum* no presentaron una alta persistencia de la producción en el conjunto de los años, en los suelos de lomaje granítico del secano interior, debido a que el ciclo de crecimiento de estas especies es muy largo para este ambiente.

## LITERATURA CITADA

- Bignell, M. 1993. Establishment of yellow serradela (*O. compressus*) in the South East Australia. p. 53-54. Proceedings National Alternative Pasture Legumes Workshop, 2<sup>nd</sup>. York, Australia.
- Bolland, M.D. 1985a. Serradela (*Ornithopus* sp.): maturity range and hard seed studies of some strains of five species. Aust. J. Exp. Agric. 25:580-587.
- Bolland, M.D. 1985b. Effect of nitrogen and cobalt application on herbage and seed yield of serradela and subterranean clover. Aust. J. Exp. Agric. 25:588-594.
- Bolland, M.D. and M. Baker. 1990. Effect of seed source and seed phosphorus concentration on the yield response of yellow serradela to superphosphate applications. Aust. J. Exp. Agric. 30:811-815.
- Bustos, P. 2002. Caracterización fenológica y agronómica de leguminosas forrajeras anuales para la zona mediterránea subhúmeda y húmeda de Chile. 70 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Adventista de Chile, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Cocks, P.S. 1999. Reproductive strategies and genetic structure of wild and naturalized legume populations. p. 20-31. In Cocks, P.S. and Bennett, S.J. (eds.). Genetic resources of Mediterranean pasture and forage legumes. Kluwer Academic Publisher, London, England.
- Cocks, P.S., and S.J. Bennett. 1999. Role of pasture and forage legumes in Mediterranean farming systems. p. 9-19. In Cocks, P.S. and Bennett, S.J. (eds.). Genetic resources of Mediterranean pasture and forage legumes. Kluwer Academic Publisher, London, England.
- Craig, A., and R. Ballard. 2000. Balansa clover (*Trifolium michelianum*): a forage legume for temperate pasture. 10<sup>th</sup> Meeting of the FAO. CIHEAM sub-network on the Mediterranean pastures and fodder crops. Cahiers Options Méditerranéennes 45:177-180.
- Daget, P.H., et J. Poissonet. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies, critères d'application. Annales Agronomiques 22:5-41.
- Dear, B., J. Lacy, and G. Sandral. 2000. Persian clover. 11 p. Available in: <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/5487> Accessed: August 2001.
- Del Pozo, A., y P. Del Canto. 1999. Zonas agroclimáticas y sistemas productivos de la VII y VIII Región. p. 53-54. Serie Quilamapu N° 113. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu, Chillán, Chile.
- Del Pozo, A., and J. Aronson. 2000. Ecophysiology of annual legumes. Cahiers Options Méditerranéennes 45:223-230.
- Del Pozo, A., C. Ovalle, J. Aronson, and J. Avendaño. 2002. Ecotypic differentiation in *Medicago polymorpha* along an environmental gradient in Central Chile. II. Winter growth as related to phenology and temperature. Plant Ecol. 160:53-59.
- Edward, A.Y., M.A. Ewing and C.K. Revell. 2001. Fate of serradela, medic and biserrula seeds in pods ingested by sheep. Aust. Agron. Conference-Papers. Available at <http://me.csv.edu.au/agronomy/papers> Accessed November 2001.
- Ewing, M. 1995. Pâturages à légumineuses annuelles: un élément essentiel pour la restauration et la réhabilitation des écosystèmes méditerranéens à faible pluviométrie. p. 161-186. In Pontanier, R., M'Hiri, A., Akrimi, N., Aronson, J., Le Floc'h, E. (eds.). L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait.? John Libbey, Montrouge, France.
- Freebairn, R.D. 1993. Serradela: An advisory perspective. p. 61-65. Proceedings National Alternative Pasture Legumes Workshop, 2<sup>nd</sup>. York, Australia.
- Freebairn, R.D. 1994. Serradela: An advisory perspective. In Michalk, D., Craig, A., and Collins, B. Technical Report N° 219. p. 61-65. Primary Industries South Australia, Australia.
- Fu, S.M., J.G. Hampton., M.J. Hill, and K.A. Hill. 1996. Breaking hard seed of yellow and slender serradela (*Ornithopus compressus* and *O. pinnatus*) by sulphuric acid scarification. Seed Sci. Technol. 24:1-6.
- Howieson, J.G. 1996. Factors limiting the nodulation of *Medicago polymorpha* in the dryland Secano Interior of Chile. 25 p. A consultancy report. Center for Legumes in Mediterranean Agriculture, Perth, Australia.
- Howieson, J., A. Loi, and J. Carr. 1995. *Biserrula pelecinus* L. a legume pasture species with potential for acid, duplex soil which is nodulated by unique root-nodule bacteria. Aust. J. Agric. Res. 46: 997-1009.
- Howieson, J., A. Loi and J. Paterson. 1999. Casbah a new and promising pasture legume for low to medium rainfall environments. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture. Available at <http://www.agric.wa.gov.au>. Accessed July 2000.

- Lacy, J., C. Bourke, and K. Condon. 1999. Persian clover. 3 p. Available in: <http://www.agric.nsw.gov.au> Accessed: July 2001.
- Little, T.M., y F.H. Jackson. 1978. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. 270 p. Trillas, México.
- Loi, A., P.S. Cocks, J.G. Howieson, and S.J. Carr. 1999. Hardseedness and the pattern of softening in *Biserrula pelecinus* L., *Ornithopus compressus* L., and *Trifolium subterraneum* L. seeds. *Aust. J. Exp. Agric.* 50:1073-1081.
- Loi, A., B. Nutt, R. McRobb, and M. Ewing. 2000. Potential new alternative annual pasture legumes for Australian Mediterranean farming system. *Cahiers Options Méditerranéennes* 45:51-54.
- Malo, E., and F. Suarez. 1995. Cattle dung and the fate of *Biserrula pelecinus* L. in a Mediterranean pasture: Seed dispersal, germination and recruitment. *Bot. J. Linn. Soc.* 118:139-148.
- Michalk, D.L. and C.K. Revell. 1993. Serradela (*Ornithopus* spp.) research: An Australian overview. p. 39-46. Proceedings National Alternative Pasture Legumes Workshop, 2<sup>nd</sup>. York, Australia.
- Mitchell, G., and J. Cooper. 1989. Growing Paradana balansa clover. Experience in the mid-North areas of S.A. *Bulletín* 3/89. 20 p. Department of Agriculture, South Australia, Australia.
- Nutt, B. 1993. Serradela for acid sandy soils in Western Australia. p. 50-52. Proceedings National Alternative Pasture Legumes Workshop, 2<sup>nd</sup>. York, Australia.
- Oram, R.N. 1990. *Trifolium balansae* Boiss (balansa clover). p. 165. In R.N. Oram (ed.). Register of Australian herbage plant cultivars. 3<sup>rd</sup> ed. CSIRO, Melbourne, Australia.
- Ovalle, C., J. Aronson, A. Del Pozo, and J. Avendaño. 1999. Restoration and rehabilitation of mixed espinales in central Chile: 10-year report and appraisal. *Arid Soil Res.* 13:369-381.
- Ovalle, C., S. Arredondo, A. Del Pozo, J. Avendaño, y F. Fernández. 2004. Atributos y antecedentes del comportamiento de *Biserrula pelecinus*: nueva leguminosa forrajera anual, para Chile mediterráneo. *Agric. Téc. (Chile)* 64:74-81.
- Ovalle, C., J. Avendaño, A. Del Pozo, C. Porqueddu, and S. Arredondo. 2000. 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, S. Arredondo y J. Chavarría. 2005. Adaptación, crecimiento y producción de nuevas leguminosas forrajeras anuales en la zona mediterránea de Chile. I. Comportamiento de las especies en la precordillera andina. *Agric. Téc.* 65:35-47.
- Paynter, B.H. 1990. Comparative phosphate requirements of yellow serradela (*Ornithopus compressus*), burr medic (*Medicago polymorpha* var. *Brevispina*) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). *Aust. J. Exp. Agric.* 30:507-514.
- Paynter, B.H., and M.D.A Bolland. 1993. Comparison of the phosphate requirements of burr medic and yellow serradela with that of wheat in the low rainfall wheatbelt of Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 33:145-157.
- Pinkerton, A., and P.J. Randall. 1993. A comparison of the potassium requirements during early growth of *Lotus pedunculatus*, *Medicago murex*, *M. polymorpha*, *M. truncata*, *Ornithopus compressus*, *Trifolium balansae*, *T. resupinatum*, *Pennisetum clandestinum*, and *Phalaris aquatica*. *Aust. J. Exp. Agric.* 33:31-39.
- Porqueddu, C. 2000. Screening germplasm and varieties for forage quality: Constraints and potential in annual medics. *Cahiers Options Méditerranéennes* 45:89-98.
- 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.
- Reed, K. 1999. Persian clover. 2 p. Agriculture Notes. Department of Primary Industries, State of Victoria, Australia.
- Revell, C.K., and M.A. Ewing. 1993. Status of Serradela (*Ornithopus* spp.) research in western Australia. p. 47-49. Proceedings National Alternative Pasture Legumes Workshop, 2<sup>nd</sup>. York, Australia.
- 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.
- Taylor, G.B., and C.K. Revell. 1999. Effect of pod burial, light, and temperature on seed softening in yellow serradela. *Aust. J. Agric. Res.* 50:1203-1209.