

REVISIÓN

SERRADELA AMARILLA (*Ornithopus compressus*) Y SERRADELA ROSADA (*O. sativus*): DOS NUEVAS ESPECIES DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS ANUALES PARA LA ZONA MEDITERRÁNEA DE CHILE

Yellow serradella (*Ornithopus compressus*) and pink serradella (*O. sativus*): two new species of annual legumes for the Mediterranean climate zone of Chile

Carlos Ovalle M.¹ *, Susana Arredondo S.¹ y Oriella Romero Y.²

ABSTRACT

Yellow serradella (*Ornithopus compressus* L.) and pink serradella (*Ornithopus sativus* Brot.) are two new annual forage legume species for infertile, acidic, and light texture soils, in dryland areas of the Mediterranean zone of Chile. Seven cultivars of yellow serradella and one cultivar of pink serradella, developed by the Center for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Australia, were characterized. *O. compressus* presented a high to medium hardseededness (53 to 100% at the beginning of the second growth season), while *O. sativus* presented a very low hardseededness (4%). A variable range of precocity was detected (108 to 143 days to flowering). The growth habit is semi-erect to erect, flowers are yellow in *O. compressus* and pink in *O. sativus*. The dry matter and seed production is comparable, and in some years superior, to that of species of traditional use in these areas, like subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) and hualputra (*Medicago polymorpha* L.), standing out serradellas especially for their high production in infertile soils of the interior dry lands of Cauquenes, in the third year of evaluation (2200 to 4200 kg DM ha⁻¹, 650 to 1440 kg seeds ha⁻¹). The available phenological and productive data allow to think that the development of pastures based on serradellas, could mean an important contribution to the improvement of the pastoral production of extensive marginal areas of the non-irrigated Mediterranean land of Chile.

Key word: serradella, *Ornithopus* sp., infertile soils, annual legume pastures, Mediterranean zone.

RESUMEN

La serradela amarilla (*Ornithopus compressus* L.) y la serradela rosada (*Ornithopus sativus* Brot.) son dos nuevas especies de leguminosas forrajeras anuales para suelos ácidos infértiles, de texturas livianas, en zonas de secano mediterráneo de Chile. Se caracterizaron siete cultivares de serradela amarilla y uno de serradela rosada, desarrollados por el Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA) de Australia. *O. compressus* presentó una dureza seminal media a alta (53 a 100% al inicio de la segunda temporada de crecimiento), mientras que *O. sativus* presentó una dureza seminal muy baja (4%). Se detectó un rango de precocidad variable (entre 108 y 143 días a floración). El hábito de crecimiento fue semi-erecto a erecto, flores de color amarillo en el caso de *O. compressus* y rosadas en el caso de *O. sativus*. La producción de materia seca y de semillas fue comparable, y en algunos años superior, al de las especies de uso tradicional en estas zonas, como trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) y hualputra (*Medicago polymorpha* L.), destacándose las serradellas por su alta producción, especialmente en suelos infértiles del secano interior de Cauquenes, al tercer año de evaluación (2200-4200 kg MS ha⁻¹, 650-1440 kg semilla ha⁻¹). Los antecedentes de fenología y comportamiento productivo permiten vislumbrar que el desarrollo de praderas en base a serradellas, podría significar un importante aporte al mejoramiento de la producción pastoral de extensas áreas marginales del secano mediterráneo de Chile.

Palabras clave: serradela, *Ornithopus* sp., suelos infértiles, praderas leguminosas anuales, zona mediterránea.

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

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Carillanca, Casilla 58-D, Temuco, Chile. Recibido: 25 de enero de 2006. Aceptado: 31 de marzo de 2006.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de nuevas especies y cultivares de leguminosas forrajeras anuales para ambientes mediterráneos, en que la mayor parte de los suelos se encuentra en fuerte estado de degradación, es una tarea difícil. El germoplasma no sólo debe reunir características funcionales concordantes con un ambiente climático como el mediterráneo, que impone fuertes limitantes al crecimiento vegetal, sino que se requieren atributos adicionales, como tolerancia a algunos factores del medio fuertemente alterados.

En efecto, para estos ambientes se necesitan especies y cultivares que sean capaces de lograr altas tasas de sobrevivencia y adecuados niveles de producción bajo condiciones de acidez, bajos niveles de materia orgánica, altos contenidos de aluminio, bajo contenido de macronutrientes y carencia de algunos micronutrientes. Por otra parte, la degradación de los suelos, debido al bajo contenido de materia orgánica, va acompañada de un fuerte deterioro de la actividad microbiológica, con lo cual la sobrevivencia de los rizobios en las fases saprofitas en el suelo y la fijación biológica de nitrógeno, se encuentran fuertemente inhibidas. Las especies de uso más común en el país, como el trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) y la hualputra (*Medicago polymorpha* L.) han mostrado un mal comportamiento en suelos graníticos degradados del secano interior, probablemente debido a estos factores limitantes.

El objetivo de la presente revisión fue: a) analizar las principales características de dos especies del género *Ornithopus*, que podrían presentar un mejor comportamiento que las especies de uso tradicional en ambientes mediterráneos con suelos degradados, b) entregar una síntesis de resultados del comportamiento de estas especies en algunas áreas del país, relativos a fenología, producción de fitomasa, producción de semilla, valor nutritivo y utilización, y c) discutir las perspectivas futuras de la eventual incorporación de estas nuevas especies en sistemas pastoriles en áreas de secano mediterráneo de nuestro país.

Antecedentes generales del género *Ornithopus*

La palabra '*Ornithopus*' es de origen griego y significa 'pie de pájaro' y se refiere a la forma en racimos que poseen las vainas de las especies de

este género. Pertenece a la familia Leguminosae, subfamilia Papilionoideae, tribu Coronilleae (Woodgate *et al.*, 1999). Las serradelas son nativas de la cuenca mediterránea de Europa central y noroccidental. El género comprende un total de seis especies (Polhill, 1981), tres de las cuales han sido desarrolladas en Australia y Nueva Zelanda como especies forrajeras. Se trata de serradela amarilla (*Ornithopus compressus* L.), serradela rosada (*Ornithopus sativus* Brot.) y serradela fina (slender serradela, *Ornithopus pinnatus* M.). Los primeros antecedentes de la utilización de estas especies como plantas forrajeras se remontan al año 1950 en el estado de Western Australia (Freebairn y Gardner, 2001). Actualmente es una de las especies de mayor importancia en el sur y oeste de Australia, reemplazando en muchos casos al trébol subterráneo y a los medicagos anuales (Devenish, 1999; Ovalle *et al.*, 2000; Albertsen, 2001; Freebairn y Gardner, 2001).

Descripción morfológica de la planta

Las serradelas son especies anuales, con hábito de crecimiento variable, existiendo cultivares postrados, semipostrados o erectos. Sus hojas son pinadas (10 a 20 pares oblongas-elípticas), el follaje es frondoso, cubierto con pequeños pelos blancos. Presenta tallos finos de 15-38 cm de largo. Las plantas adultas alcanzan una altura de 20-50 cm. Las estípulas son muy pequeñas y no se encuentran desarrolladas en la base de las hojas superiores. La inflorescencia es una umbela de 3-5 flores con un pedúnculo largo. Las flores son pequeñas, de 5 a 6 mm, amarillas o rosadas, el cáliz es tubular. Las vainas son aplanadas, de 2,5-4 cm de largo y 3 mm de ancho, ligeramente curvadas, duras y coriáceas, con un pico encorvado, de color negro cuando se encuentran maduras, y contienen 6-9 semillas (Oram, 1990; Lonchamp, 2000; Freebairn y Gardner, 2001). Las semillas son amarillas o cafés, oblongas aplanadas, de 2,5 mm de largo y 1,8 mm de ancho (Oram, 1990; Lonchamp, 2000).

Condiciones de suelo

Una de las características más importantes de esta especie es su tolerancia a la acidez edáfica, desarrollándose bien en suelos con pH entre 4 a 6,5, condición en que muchas otras especies de leguminosas no presentan un buen crecimiento (Albertsen, 2001; Freebairn y Gardner, 2001). Algunos cultivares de serradela tienen una tolerancia notable a altos niveles de Al soluble en suelos muy ácidos, soportando sobre 35% de Al en el complejo de

intercambio (Nutt, 1994; Tang *et al.*, 1998; Devenish, 1999; Albertsen, 2001; Freebairn y Gardner, 2001; Freebairn y Bourke, 2002).

El segundo atributo importante reportado por investigaciones llevadas a cabo en Australia, señalan que *O. compressus* tiene un menor requerimiento de fósforo que el trébol subterráneo (Paynter, 1992; Bolland y Paynter, 1992; Paynter, 1993). En efecto, se determinó en suelos ácidos que para lograr el 90% de producción máxima el *T. subterraneum* requiere 1,8 veces más fósforo que *O. compressus*, mientras que *M. polymorpha* requiere 1,4 veces más fósforo que *T. subterraneum* (Paynter, 1990). Los bajos niveles de fósforo en el suelo, unido a problemas de acidificación, son dos de los problemas más frecuentes de los suelos graníticos degradados del secano interior, de allí la importancia de esta especie para estos ambientes.

Otra característica importante es que las serradelas poseen raíces profundas, en contraste con muchas otras leguminosas, tales como trébol subterráneo o medicagos anuales (Freebairn y Gardner, 2001; Freebairn y Bourke, 2002). Por esta razón, para establecerse con éxito necesita de suelos con una profundidad mayor a los 60 cm, de preferencia de textura media a liviana. No se adapta bien a suelos arcillosos pesados, y no soporta excesos de humedad ni problemas de mal drenaje (Fu *et al.*, 1994; Lloyd y Johnson, 2001; Freebairn y Bourke, 2002). En suelos arenosos profundos puede extraer agua y nutrientes hasta profundidades mayores a 2 m. Presumiblemente, esta capacidad de explorar una mayor profundidad en el perfil del suelo le permite prosperar en suelos infértiles. Debido a lo anterior, la planta puede continuar creciendo, floreciendo y sembrando bajo condiciones de primaveras secas y calurosas (Nutt y Paterson, 1997).

Adicionalmente se ha observado que la especie mejora la estructura del suelo, aumenta los niveles de nitrógeno y de materia orgánica, e incrementa la actividad biológica, como por ejemplo el número de organismos de tierra como larvas de insectos (Sanford *et al.*, 1994; Unkovich *et al.*, 1997; Peoples y Baldock, 2001). Además, previene el riesgo de erosión, sobre todo cuando se siembra junto a gramíneas perennes (ej. *Lolium multiflorum*) (Freebairn y Gardner, 2001). Sin embargo, estos atributos también son aplicables a las otras especies de leguminosas forrajeras anuales y perennes.

Las serradelas son especies tolerantes al frío, sin embargo, en la literatura no se reportan rangos térmicos ni duración del período con heladas (Bolland, 1985a; Revell e Ewing, 1993). La experiencia nacional indica que los cultivares precoces como Santorini y Charano son afectados por heladas en la precordillera de Ñuble, al igual que la serradela rosada cv. Cádiz, mientras que el cultivar tardío Ávila, fue mucho menos susceptible a las condiciones térmicas invernales imperantes en la zona, a una altitud de 400 m.s.n.m. (Muñoz, 2002).

En Australia, los cultivares de madurez temprana se comportan bien en zonas con precipitaciones desde 300 a 400 mm anuales, mientras que los cultivares intermedios y tardíos han demostrado mayor persistencia y productividad en las zonas costeras o con lluvias anuales que van desde los 500 a 1000 mm (Freebairn y Gardner, 2001).

Fijación de nitrógeno

Las raíces de serradela forman nódulos con *Bradyrhizobium* spp. (Bowman *et al.*, 1995, Unkovich *et al.*, 1997), la misma especie de rizobio con que realizan simbiosis los lupinos (*Lupinus* spp.), por lo tanto es absolutamente necesario inocular la semilla con *Bradyrhizobium* spp. cuando se siembra serradela en un suelo en que nunca se ha establecido ninguna de las dos especies. La inoculación se requiere tanto para siembras en vaina como en semilla (Bowman *et al.*, 1995). Una vez establecido en el suelo el *Bradyrhizobium* spp. es altamente persistente, lo cual está bien demostrado en numerosos estudios realizados en Australia (Parker 1962; Chatel y Greenwood, 1973; Slattery y Coventry, 1989). Al respecto, Bowman *et al.* (1995) en Australia registraron sobrevivencias de la cepa comercial WU425 durante cuatro años, en suelos donde la temperatura en verano excedió los 40°C, y donde las condiciones de humedad fueron extremadamente bajas. Bushby y Marshall, citado por Bowman *et al.* (1995), atribuyeron esta resistencia al estrés, porque *Bradyrhizobium* entra en dormancia más rápidamente y sobrevive a la desecación en mejor forma que otras especies de rizobium, debido a que es capaz de mantener un mayor contenido de agua interna que otras especies, a menores potenciales de agua.

Antecedentes entregados por Sanford *et al.* (1994) en serradela amarilla, indican que esta especie presenta una alta tasa de fijación de N, y que la

proporción de N derivado de la fijación atmosférica fue en promedio de 76% (entre cultivares 25 a 100%), siendo comparativamente superior a *T. subterraneum* y *Medicago* spp. Al respecto, Freebairn y Gardner (2001) señalaron que cuando la especie nodula en buena forma, fija cantidades significativas de N. En suelos de baja fertilidad, una buena pradera de leguminosa normalmente fija alrededor de 15 a 20 kg de N por cada tonelada de MS producida por hectárea. Mientras que en una pradera donde domina la leguminosa, bien manejada y fertilizada, la fijación biológica puede llegar a 40 kg de N ha⁻¹año⁻¹ (Unkovich *et al.*, 1997). En algunas ocasiones y con buenas condiciones climáticas se han logrado hasta 100 kg de N ha⁻¹año⁻¹.

Días a floración

Existe una amplia variación en precocidad entre los cultivares de *O. compressus* y *O. sativus* que se han introducido al país. En efecto, evaluaciones realizadas en el secano interior de Cauquenes (Ovalle *et al.*, 2003) durante la temporada 2000, muestran un rango entre emergencia y floración de 108 a 143 días (Cuadro 1). Los cvs. Charano, Paros y Santorini son los de mayor precocidad, con una fenología similar a hualputra (*M. polymorpha*) y al *T. subterraneum* cv. Seaton Park; los cvs. Madeira y Tauro se asemejan al cv. Clare de *Trifolium brachycalicinum*, mientras que los más tardíos, Pitman, Ávila y Cádiz, se asemejan al *T. subterraneum* cv. Mount Barker (Cuadro 1). A pesar de las diferencias

en días encontradas entre emergencia y floración, en la etapa de maduración de fruto estas diferencias son menores (entre 177 y 190 días a maduración) (Cuadro 1) (Ovalle *et al.*, 2003).

Características de la semilla

La semilla de serradela está contenida en vainas, que poseen distintos grados de segmentación. Cuando se cosechan, las vainas de la mayor parte de los cultivares se quiebran en segmentos, cada uno de los cuales encapsula una semilla. En Australia, la serradela se siembra en segmentos de vainas o como semilla, en cuyo caso la vaina es removida o trillada mecánicamente (Weeldenburg y Smith, 1969). La semilla en vaina generalmente tiene un porcentaje de semilla dura mucho mayor que la semilla trillada (Freebairn, 1994), por lo que puede continuar germinando varios años después de la siembra. La dureza seminal se reduce con el proceso de la trilla o separación de la semilla desde la vaina. El proceso de extracción de la semilla es difícil y requiere de maquinaria especializada, lo cual encarece el costo (Michalk y Revell, 1993).

Otra característica que diferencia a serradela de otras especies como trébol subterráneo, es el tamaño y peso individual de las semillas. Se puede observar en el Cuadro 2 que tiene una mayor cantidad de semillas por gramo (entre 287 y 512), y un bajo peso de 1000 semillas (entre 1,9 y 3,5 g), diferenciándose del testigo trébol subterráneo, pero no de la hual-

Cuadro 1. Fenología de cultivares de *Ornithopus compressus* y *O. sativus* en Cauquenes (2000).

Table 1. Phenology of cultivars of *Ornithopus compressus* and *O. sativus* in Cauquenes (2000).

Especie	Cultivar o accesión	Días a primera flor ¹	Días a primer fruto	Días a la maduración
<i>Ornithopus compressus</i>	Charano	108 (± 3,5) (P)	132 (± 2,3)	177 (± 3,5)
<i>O. compressus</i>	Paros	109 (± 3,5) (P)	130 (± 2,3)	182 (± 4,5)
<i>O. compressus</i>	Santorini	114 (± 4,0) (P)	133 (± 0,0)	171 (± 5,8)
<i>O. compressus</i>	Madeira	124 (± 4,0) (I)	136 (± 0,6)	179 (± 6,4)
<i>O. compressus</i>	Tauro	133 (± 3,5) (I)	144 (± 2,3)	183 (± 1,7)
<i>O. compressus</i>	Pitman	135 (± 1,7) (T)	146 (± 2,3)	185 (± 0,0)
<i>O. compressus</i>	Avila	143 (± 6,4) (T)	156 (± 2,0)	190 (± 2,3)
<i>O. sativus</i>	Cádiz	135 (± 1,7) (T)	147 (± 0,0)	182 (± 0,0)
<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park	111 (± 2,3) (P)	125 (± 2,3)	189 (± 4,0)
<i>T. subterraneum</i>	Clare	130 (± 2,3) (I)	154 (± 3,5)	188 (± 2,3)
<i>T. subterraneum</i>	Mount Barker	140 (± 9,1) (T)	152 (± 4,0)	195 (± 3,5)
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	111 (± 2,3) (P) ¹	129 (± 2,3)	174 (± 4,4)

¹ Clasificación por precocidad (días a floración): muy precoz MP (< 101); precoz P (102-117); intermedia I (118-133); tardía T (134-149); muy tardía MT (150-165).

Fuente: Bustos (2002); Ovalle *et al.* (2003).

Cuadro 2. Características de la semilla de cultivares de *Ornithopus compressus* y *O. sativus* evaluados en Chile.
Table 2. Seed characteristics of cultivars of *Ornithopus compressus* and *O. sativus* evaluated in Chile.

Especie	Accesión o cultivar	Porcentaje semilla dura	Nº semillas por gramo	Peso 1000 semillas (g)	Peso de 100 frutos (g)	Esfuerzo reproductivo ¹
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	96,7	223	4,5	6,17	0,87
<i>O. compressus</i>	Charano	100,0	287	3,5	9,07	1,31
	Pitman	71,8	435	2,3	5,90	0,86
	Madeira	97,5	512	1,9	3,90	1,06
	Tauro	52,1	498	2,0	3,47	0,78
	Paros	99,9	386	2,6	6,20	1,38
	Santorini	99,9	331	3,0	5,87	1,31
	Ávila	99,1	448	2,2	4,43	0,65
<i>O. sativus</i>	Cádiz	4,0	468	2,2	2,90	0,73
<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park	53,0	143	7,0	10,20	0,41
	Clare	63,8	112	8,9	9,00	0,42

¹ Coeficiente entre la producción de frutos y semillas/fitomasa de hojas y tallos

Fuente: Bustos (2002); Ovalle *et al.* (2003)

putra. No obstante, estas especies no tienen la capacidad de enterrar la semilla en el suelo, que es el principal atributo y mecanismo de persistencia en los cultivares de *T. subterraneum* var. *subterraneum*.

Dureza seminal

El porcentaje de semilla dura de *O. compressus* es mayor que *O. sativus* (Bolland, 1985b; Devenish, 1999; Loi *et al.*, 1999; Albertsen, 2001; Freebairn y Gardner, 2001; Ovalle *et al.*, 2003). Esta característica también ha sido observada en la mayor parte de los cultivares de *Ornithopus* spp. evaluados en el país (Cuadro 2) (Ovalle *et al.*, 2003). Esto representa una ventaja respecto de la mayor parte de los tréboles subterráneos que se cultivan en el país, que son de dureza seminal baja a media. Sin embargo, el cv. Cádiz de *O. sativus* presentó muy baja dureza seminal (sólo 4%) (Cuadro 2), lo que es concordante con lo obtenido para la especie en Australia, donde no presenta dureza seminal (Bolland, 1985b; Freebairn, 1994; Loi *et al.*, 1999). Esta diferencia en dureza entre semillas de serradela amarilla y rosada permite que se complementen perfectamente al sembrarlas en mezcla, de manera que mientras serradela rosada contribuye a la productividad de la pradera durante los primeros años, serradela amarilla no produce al segundo año, pero sí contribuye a un aumento de la reserva de semillas en el suelo, y realiza un aporte importante en la producción a partir del tercer año y en el largo plazo (Nutt, 1994; Ovalle *et al.*, 2003).

Comportamiento productivo de praderas de serradela

Las serradellas son especies con un patrón de crecimiento típicamente mediterráneo; germinan en otoño con las primeras lluvias efectivas, crecen en invierno y primavera, aunque su crecimiento invernal es muy dependiente de la humedad y de la temperatura (Bolland, 1985a; Freebairn, 1994; Freebairn y Bourke, 2002); esta última restringe el crecimiento invernal, debido a que las bajas temperaturas reducen la tasa de fijación de N (Bolland, 1985a; Freebairn, 1994) en beneficio del crecimiento radicular.

La mayoría de los cultivares tienen hábito de crecimiento indeterminado, lo que les permite continuar las fases de floración y desarrollo de la semilla mientras exista disponibilidad de agua en el suelo y las temperaturas sean moderadas. En *O. compressus*, se ha obtenido un 94% de semillas germinadas con una temperatura de suelo de 15°C, pero al aumentar la temperatura a 20°C este porcentaje se reduce a un 40% (Fu *et al.*, 1996).

Un carácter importante de las serradelas con relación a los tréboles subterráneos se refiere al índice de esfuerzo reproductivo (relación entre la biomasa de frutos y semillas/biomasa de hojas y tallos) (Cuadro 2). En evaluaciones realizadas en ocho cultivares de *Ornithopus* spp., se determinó que la biomasa invertida en órganos reproductivos representó en

promedio un 113% en relación a la biomasa de hojas y tallos, mientras que la misma relación en trébol subterráneo fue de sólo un 41% (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003). Esta característica, junto con una alta producción de semilla y dureza seminal, contribuyen a la formación de un banco de semillas más estable y resistente a las perturbaciones o accidentes climáticos o de manejo, lo cual constituye uno de los mecanismos a través de los cuales la especie persiste a través del tiempo.

Estudios nacionales sobre el comportamiento productivo de estas especies se han realizado en el secano interior de Cauquenes (35°58' lat. Sur; 72°17' long. Oeste; 690 mm de precipitación anual), en el secano interior de la VI Región, Peralillo (34°30' lat. Sur; 71°40' long. Oeste; 450 mm de precipitación anual), en el secano de la precordillera de Ñuble (36°49' lat. Sur; 71°45' long. Oeste; 1.200 mm de precipitación anual) y en el secano interior perhúmedo de la IX Región (38°41' lat Sur; 72°25' long Oeste; 1.400 mm anuales). En Cauquenes, el primer ensayo se estableció en 1997 y se encontró buen comportamiento de los cvs. Madeira, y Pitman de *O. compressus*, demostrando superioridad en producción de fitomasa y semilla al tercer año, respecto de los cvs. Clare y Seaton Park de trébol subterráneo y de la hualputra cv. Cauquenes INIA (Ovalle *et al.*, 2000). Posteriormente, a partir del año 2000 se realizó una segunda introducción de germoplasma, el cual fue evaluado en suelos

graníticos degradados del secano interior de Cauquenes, Serie Maule, orden Entisol (Ovalle *et al.*, 2004b). Al observar la evolución de la producción de fitomasa sobre un período de tres años (Cuadro 3), se aprecia una clara superioridad de la mayor parte de los cultivares de *O. compressus* y *O. sativus*, respecto de los testigos (dos cultivares de trébol subterráneo y uno de hualputra).

Similar tendencia se observó en la producción de semilla (Cuadro 4), obteniendo la mayor producción el cv. Cádiz de serradela rosada, con una producción de 1.146 kg de semilla ha⁻¹ al tercer año; las demás serradelas fueron estadísticamente superiores ($P \leq 0,05$) a los testigos hualputra cv. Cauquenes-INIA y a los tréboles subterráneos cvs. Clare y Seaton Park. Serradela presenta un alto índice de esfuerzo reproductivo (Cuadro 2), especialmente aquellos materiales de alta precocidad (Bustos, 2002; Ovalle *et al.*, 2003), con lo cual expresan un alto potencial de producción de semillas, comparado a otras especies de leguminosas forrajeras anuales.

En el secano interior de la VI Región (Comuna de Peralillo), sobre suelos pumicíticos, orden Histosol, de textura liviana, el año 1997 se evaluó un conjunto de leguminosas anuales alternativas, destacándose el buen comportamiento de la serradela rosada cv. Cádiz (Cuadro 5). El comportamiento del cv. Madeira de *O. compressus* no fue óptimo, y no superó en producción a los tréboles subterráneos de

Cuadro 3. Producción de fitomasa de cultivares de *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum* en Cauquenes durante tres temporadas. 2000-2002.

Table 3. Phytomass production of cultivars of *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* and *Trifolium subterraneum* in Cauquenes for three years. 2000-2002.

Especie	Cultivar	Producción de fitomasa (kg MS ha ⁻¹)		
		2000	2001	2002
<i>O. compressus</i>	Madeira	1598 abc	2275 ab	8640 a
	Ávila	1485 abc	1585 bc	7570 ab
	Santorini	1753 abc	1925 ab	6680 abc
	Pitman	1435 abc	3460 a	5250 bc
	Tauro	1875 ab	3595 a	4490 cd
	Paros	1670 abc	1145 bc	6650 abc
	Charano	1925 a	245 c	4800 cd
<i>O. sativus</i>	Cádiz	1115 c	2300 ab	6370 abc
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	1178 bc	2730 ab	0 e
<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park	1458 abc	2270 ab	0 e
	Clare	1870 ab	3580 a	2900 d

Letras distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre sí, según test de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 4. Producción de semilla de cultivares de *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum* en Cauquenes durante tres temporadas. 2000-2002.

Table 4. Seed production of cultivars of *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* and *Trifolium subterraneum* in Cauquenes for three years. 2000-2002.

Especie	Cultivar	Producción de fitomasa (kg MS ha ⁻¹)		
		2000	2001	2002
<i>O. compressus</i>	Santorini	520 a	235 b	810 abc
	Madeira	236 bc	196 b	994 ab
	Paros	300 bc	146 b	887 abc
	Pitman	358 abc	155 b	812 abc
	Tauro	395 abc	129 b	683 bc
	Ávila	203 c	138 b	792 bc
	Charano	331 abc	120 b	646 c
<i>O. sativus</i>	Cádiz	283 bc	103 b	1146 a
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	359 abc	446 a	0 d
<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park	209 c	393 a	279 d
	Clare	441 ab	226 b	279 d

Letras distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre sí según test de Duncan ($P \leq 0,05$).

Cuadro 5. Producción de fitomasa de cultivares de *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Trifolium michelianum*, *Biserrula pelecinus*, *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum* en Peralillo (VI Región), temporada 1997.

Table 5. Phytomass production of cultivars of *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Trifolium michelianum*, *Biserrula pelecinus*, *Medicago polymorpha* and *Trifolium subterraneum* in Peralillo (VI Region), 1997 season.

Especie	Cultivar o accesión	Producción de fitomasa (kg MS ha ⁻¹) 1997
<i>O. compressus</i>	Madeira	8975 ab
<i>O. sativus</i>	Cádiz	10504 a
<i>Trifolium michelianum</i>	Paradana	6070 bc
<i>Biserrula pelecinus</i>	Mor96	6060 bc
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	8900 abc
	Circle Valley	8010 abc
<i>Trifolium subterraneum</i>	Seaton Park	6913 bc
	Clare	6140 bc
	Gosse	7335 abc
	Dalkeith	5404 c

Letras distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre sí según test de Duncan ($P \leq 0,05$).

uso común en esa zona. Cultivares de mayor precocidad como Santorini, Charano u otros podrían experimentar un mejor comportamiento dado que se trata de suelos ligeramente ácidos, de baja fertilidad y textura liviana.

Los primeros resultados en suelos trumaos, orden Andisol, de la precordillera andina, fueron reportados por Chavarría *et al.* (2000) en la provincia de Ñuble (VIII Región), donde se demostró el alto potencial productivo de serradela amarilla cvs.

Madeira y Pitman, los cuales obtuvieron producciones de entre 12,3 y 13,7 t MS ha⁻¹, respectivamente, en el segundo año de producción. Trabajos posteriores realizados en la misma área agroecológica (Ovalle *et al.*, 2004a), permitieron evaluar un mayor número de cultivares y compararlos con la productividad de la especie de uso más común en el área como es el trébol subterráneo cv. Mount Barker. En este estudio, los cvs. Ávila, Madeira y Pitman de serradela amarilla presentaron altos niveles de producción de forraje, sin embargo,

la producción al tercer año no fue estadísticamente superior al testigo trébol subterráneo (Cuadro 6). También se determinó que los cultivares precoces de *O. compressus* (Santorini y Charano) y el cv. Cádiz de *O. sativus* no presentaron un buen comportamiento, presumiblemente por su baja tolerancia a las condiciones de frío invernal existentes en áreas de la precordillera andina.

En zonas de mayor pluviometría, en el secano de la IX Región, trabajos realizados por Rojas *et al.* (2002) compararon en el sector de Victoria, sobre un suelo de textura franco limosa, orden Andisol, la producción primaria y secundaria de una pradera naturalizada de serradela amarilla con la de trébol subterráneo, obteniendo una clara superioridad de la serradela en los 2 años de evaluación (4,7 vs. 5,9 t ha⁻¹ en el primer año y 4,7 vs. 7,1 t ha⁻¹ en el segundo año, entre trébol y serradela, respectivamente). En la misma área agroecológica, pero sobre un suelo volcánico de transición de textura arcillo limosa, Romero, O. y Rojas, C. (Investigadores del INIA Centro Regional Carillanca, comunicación personal), evaluaron un conjunto de leguminosas en términos de producción anual, en dos años, sin estudiar la resiembra natural de las especies. Para este ambiente, dos cultivares de *Trifolium michelianum* (Bolta y Paradana) fueron significativamente más productivos ($P \leq 0,05$) que las serradelas y que el testigo trébol subterráneo cv. Denmark, presentando niveles de producción de 10,1 y 10,5 t MS ha⁻¹,

respectivamente, en el segundo año evaluado. Los dos cultivares de *O. compressus* (Charano y Madeira) y el cv. Cádiz de *O. sativus* produjeron entre 2,9 y 7,4 t MS ha⁻¹ año⁻¹. En síntesis, los antecedentes recogidos en los estudios realizados en el país, muestran que en condiciones de suelo más degradado, como los graníticos de bajo contenido de materia orgánica del secano interior de Cauquenes, y suelos de mayor acidez en precordillera andina, las serradelas tuvieron mayor producción que las especies tradicionales (trébol subterráneo y hualputra). Según antecedentes reportados por estudios realizados en Australia, estos resultados se explicarían en parte por una mayor tolerancia de *Bradyrhizobium* a la acidez edáfica y una mayor eficiencia en el uso del P, que las especies leguminosas de uso común en el país.

Composición química y valor nutritivo

El forraje producido por las serradelas no contiene estrógenos, compuestos que en algunos casos son responsables de la producción de alteraciones en las funciones reproductivas de los animales (Freebairn, 1994; Lloveras e Iglesias, 1998). Ambas especies presentan un buen valor nutritivo, muy palatables y no producen meteorismo al compararlas con otras leguminosas (Freebairn y Bourke, 2002). Contienen taninos condensados que protegen la proteína, incrementando la absorción y la eficiencia digestiva de este elemento en el rumen (Lloveras e Iglesias, 1998). En calidad es equivalente a la mayoría de los

Cuadro 6. Producción de fitomasa de cultivares de *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* y *Trifolium subterraneum* en precordillera durante tres temporadas. 2000-2002.

Table 6. Phytomass production of cultivars of *Ornithopus compressus*, *O. sativus*, *Medicago polymorpha* and *Trifolium subterraneum* in the foothills for three years. 2000-2002.

Especie	Cultivar	Producción de fitomasa (kg MS ha ⁻¹)		
		2000	2001	2002
<i>O. compressus</i>	Ávila	3049 a	1691 cd	5190 a
	Pitman	948 cd	3562 b	4465 ab
	Tauro	1434 bc	5503 a	1788 cd
	Madeira	1224 c	2037 bc	4785 ab
	Santorini	1037 cd	223 d	705 cd
	Charano	582 cd	136 d	1193 cd
	Paros	38 d	11 d	580 d
<i>O. sativus</i>	Cádiz	1553 bc	2536 bc	270 d
<i>Medicago polymorpha</i>	Cauquenes-INIA	1004 cd	152 d	0 d
<i>Trifolium subterraneum</i>	Mount Barker	2583 a	2154 bc	3280 abc
	Clare	2405 ab	1459 cd	2330 bcd

Letras distintas entre columnas presentan diferencias significativas entre sí, según test de Duncan ($P \leq 0,05$).

cultivares de trébol subterráneo en todos los estados de crecimiento (Lloveras e Iglesias, 1998; Lloyd y Johnson, 2001). Al respecto, Romero y Rojas (2004) (datos no publicados) determinaron un contenido de proteína similar a *T. subterraneum*, con valores que fluctuaron entre un 17,8 y 19,9%, observándose un menor contenido proteico en *O. sativus* (Cuadro 7) en evaluaciones realizadas en noviembre.

El contenido de fibra detergente ácido (FDA) en trébol subterráneo cv. Denmark y en serradela amarilla cv. Madeira, fue de alrededor de 22%, mientras que en serradela rosada y el cultivar precoz de serradela amarilla Charano, el contenido fue alrededor de 30% (Cuadro 7). Una tendencia concordante con el comportamiento de la FDA se observó en los valores de energía metabolizable (EM) y digestibilidad en las mencionadas especies y cultivares (Cuadro 7).

Utilización en pastoreo

El pastoreo de serradela amarilla y rosada necesita ser cuidadosamente regulado, especialmente durante la floración, para asegurar una alta producción de semilla, sobre todo en los 2 ó 3 primeros años de vida de la pradera, cuando el banco de semillas aún no está bien constituido (Michalk y Revell, 1993; Conlan *et al.*, 1994). La clave para asegurar una buena regeneración de la pradera es pastorearla continuamente a lo largo de la estación de crecimiento, y de forma moderada durante la floración (Lloyd y Johnson, 2001; Freebairn y Gardner, 2001).

El consumo de semillas también es un aspecto sensible del manejo del pastoreo en verano, ya que se ha encontrado que en ambas especies de *Ornithopus* existe un bajo nivel de recuperación de semillas (10% o menos) luego que éstas han pasado

por el tracto digestivo de las ovejas. En el caso del cv. Ávila, la producción de semilla fue reducida entre un 30 a 55% por un pastoreo tardío realizado a fines de primavera (Conlan *et al.*, 1994). El distinto grado de segmentación de las vainas que presentan los cultivares de serradela amarilla no parece influir en la recuperación de semillas ingeridas, pero puede influir en la facilidad con que las ovejas recogen las vainas de la superficie del suelo (Edward *et al.*, 1998). El nivel de semillas recuperadas aún más bajo en el cv. Cadiz de *O. sativus* se debe probablemente a la alta proporción de semillas blandas, las cuales podrían ser afectadas de manera más intensa en el paso por el tracto digestivo de los animales (Edward *et al.*, 1998).

En cuanto a manejo del pastoreo, serradela persiste bien bajo condiciones de pastoreo continuo, con una carga de 1,5 a 6 ovejas por hectárea (Conlan *et al.*, 1994), dependiendo del potencial climático de la zona y del cultivar.

En cuanto a producción animal, Rojas *et al.* (2002) señalaron que los incrementos de peso vivo (PV) en ganado bovino evaluados durante dos temporadas fueron mayores en una pradera de serradela amarilla (1,410 y 1,326 kg d⁻¹) en comparación a una pradera de trébol subterráneo (1,324 y 1,309 kg d⁻¹), para la primera y segunda temporada, respectivamente, concluyendo que la pradera de serradela produjo 27 y 17% más MS y PV, respectivamente, que el trébol subterráneo con una composición química similar.

Establecimiento y manejo

La siembra de serradela debe realizarse temprano en otoño, previa inoculación de la semilla con el inoculante específico *Bradyrhizobium lupini* (Unkovich *et al.*, 1997), con el fin de asegurar un

Cuadro 7. Contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA), digestibilidad de la materia seca (DMS) y energía metabolizable (EM) de cultivares de *Ornithopus compressus* y *O. sativus*. Temuco 2000.
Table 7. Crude protein content (PC), acid detergent fiber (FDA), dry matter digestibility (DMS) and metabolizable energy (EM) of cultivars of *Ornithopus compressus* and *O. sativus*. Temuco 2000.

Especie	MS (%)	PC (%)	FDA (%)	DMS (%)	EM (Mcal kg ⁻¹ MS)
<i>O. compressus</i> cv. Madeira	86,4	19,9	22,8	86,3	2,8
<i>O. sativus</i> cv. Cádiz	87,8	17,8	31,3	77,1	2,5
<i>O. compressus</i> cv. Charano	88,7	18,2	30,5	75,1	2,4
<i>Trifolium subterraneum</i> cv. Denmark	92,3	18,9	22,2	86,3	2,7

Fuente: Romero y Rojas, 2004. Comunicación personal.

buen desarrollo de las plantas en suelos con un pH de 5,5 a 7,5 (Lloyd y Johnson, 2001). Al contrario de la mayoría de las otras leguminosas, esta especie no requiere de la aplicación de cal cuando las condiciones del suelo son muy ácidas (Freebairn y Gardner, 2001). Para obtener una pradera de serradela amarilla altamente productiva en un período de 1 a 2 años se requiere una dosis de 3 a 5 kg ha⁻¹ de semilla pura descascarada, o el equivalente a 8-10 kg de vaina ha⁻¹. Si se siembra en mezcla con serradela rosada, la dosis a usar es 1 a 3 kg ha⁻¹ de semilla descascarada de *O. compressus* además de 3 a 4 kg ha⁻¹ de *O. sativus*. Debido al tamaño pequeño de su semilla se debe sembrar a una profundidad que no sobrepase los 2 cm, idealmente debe ser establecida a 1 cm (Devenish, 1999; Albertsen, 2001; Freebairn y Gardner, 2001; Lloyd y Johnson, 2001).

O. compressus presenta un alto porcentaje de semillas duras, y aunque la exposición de éstas a fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche durante el verano y el otoño causan el ablandamiento de la testa (Revell *et al.*, 1998; 1999), una alta proporción de semilla permanece dura por uno o varios años, por tales razones es necesario escarificar la semilla previo a la siembra. Diversos estudios señalan que sometiendo las semillas a escarificación en ácido sulfúrico (98%) por 30 min, la dureza seminal se reduce hasta un 88% para *O. compressus*, sin causar daño a la semilla, con un porcentaje de viabilidad de la semilla de 90%. La escarificación mecánica de la semilla, que consiste en una máquina que lija la semilla, es el método más efectivo, y permite aumentar el porcentaje de germinación a niveles superiores al 80% (Michalk y Revell, 1993; Fu *et al.*, 1996).

La serradela requiere una buena fertilidad de suelo para obtener la máxima producción de forraje. A pesar que la especie presenta raíces profundas y es eficiente en el uso de fósforo, es necesario corregir las deficiencias, especialmente de P y S. Investigaciones realizadas en Australia han demostrado que la especie responde bien a aplicaciones de P y S (Revell e Ewing, 1993; Freebairn, 1994; Bolland y Paynter, 1994; Dodd y Orr, 1995). Cuando existe deficiencia de micronutrientes como Mo, Cu, Zn y B, éstos se deben aplicar al momento de la siembra. Se recomienda, además, realizar una fertilización de mantención cada dos años con P y S para aumentar la producción (Lloyd y Johnson, 2001; Freebairn y

Bourke, 2002). Además, *O. compressus* tiene un bajo requerimiento y una alta eficiencia en la utilización de K (Pinkerton y Randall, 1993).

Existen estudios que han señalado que la producción de semillas de *Ornithopus* spp. se relacionó directamente a la aplicación de P, aumentando la producción de 7 a 24 kg de semilla ha⁻¹ por cada kilogramo de P aplicado ha⁻¹, concluyendo que en producción de semilla la respuesta a la aplicación de P se debe a un aumento en el número de inflorescencias y aumento en la producción de vainas (Bolland, 1985c). Por otra parte, Bolland (1985a) señaló que aplicaciones invernales de N aumentan la producción de forraje en *Ornithopus* spp., mientras que aplicaciones realizadas en primavera sólo tienen un pequeño efecto.

Origen del germoplasma nacional y cultivares

O. compressus y *O. sativus* son las únicas dos especies de serradelas presentes en la flora vascular de Chile (Marticorena y Quezada, 1985). El origen de este germoplasma es desconocido y la historia de la introducción y naturalización de la especie en Chile debiera ser reciente. El origen más probable pudo haber sido la introducción casi inadvertida desde Europa en los siglos XVI ó XVII, como maleza en los cereales u otros cultivos que los colonizadores españoles ingresaron al país. No existen estudios sobre la diversidad genética de este germoplasma y este recurso debiera ser estudiado a futuro, dado que, al igual que en otras especies de leguminosas anuales, como *Medicago polymorpha*, es posible esperar la existencia de ecotipos adaptados a las diversas condiciones ambientales del país (Ovalle *et al.*, 1997; Del Pozo *et al.*, 2001; 2002).

En algunas zonas de Chile existen praderas naturalizadas de serradela amarilla. El caso más notable por la extensión de la pradera y la abundancia de la especie, se observó en Victoria, IX Región. De acuerdo a antecedentes entregados por Rojas *et al.* (2002) esta pradera correspondería a siembras realizadas en la década del 50, y según análisis filogenéticos disponibles correspondería al cultivar australiano Madeira (Rojas *et al.*, 2002). Además, se conoce la existencia de praderas de serradela amarilla naturalizada en algunas áreas de suelos arenosos de la provincia de Arauco y Concepción en la VIII Región, y en suelos graníticos del Centro Experimental Cauquenes, en la VII Región.

En relación a cultivares comerciales, Australia es el único país donde se desarrolla un programa de introducción, selección y mejoramiento genético de esta especie. Todos los materiales evaluados hasta la fecha en Chile (Cuadros 1 y 8) son de ese origen, y la mayor parte de estos cultivares están disponibles en ese mercado. Estos cubren una amplia gama de precocidad (Cuadro 1) como la que se requiere en el país, dada su amplia diversidad en duración de la estación de crecimiento, no obstante, se requeriría de un programa de introducción y selección de mucha mayor magnitud, cobertura y orientado a la realidad medioambiental del país, de manera de poder recomendar cultivares en distintas áreas del secano mediterráneo.

En relación a importaciones recientes de semilla desde Australia, en el año 1996 se efectuó una importación de los cvs. Madeira y Pitman, con los que se realizaron los primeros ensayos en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), tanto en secano interior como en precordillera andina, y siembras a escala comercial en la zona de Cauquenes. Los cvs. Madeira y Pitman son antiguos y de alto costo de semilla, por la dificultad que presentan para ser trilladas. La importación más reciente de cultivares modernos, Santorini, Charano, Ávila y Cádiz, cuya descripción se señala en el Cuadro 8, se realizó en el año 2003, y correspondió a materiales liberados por el grupo de investigadores del Departamento de Agricultura del Estado de Western Australia.

CONCLUSIONES

La revisión de los resultados de los primeros ensayos realizados, en tres áreas agroecológicas del país, en suelos ligeramente ácidos, de textura media y de bajos niveles de P, utilizando varios cultivares de *O. compressus* y *O. sativus*, indicaron un buen comportamiento de ambas especies en dichos ambientes. Los antecedentes mostraron que en condiciones de suelo más degradado (granítico de bajo contenido de materia orgánica del secano interior de Cauquenes), las diferencias en producción con las especies tradicionales (trébol subterráneo y hualputra) fueron mayores en las serradelas.

Respecto de composición química y valor nutritivo, los pocos antecedentes nacionales disponibles de materiales de fenología similar, indican que poseen niveles similares a otras leguminosas anuales en términos de digestibilidad de la materia seca, energía metabolizable, proteína cruda y fibra detergente ácido.

En lo referente a cultivares, la introducción y evaluación de germoplasma realizada a la fecha ha permitido conocer el comportamiento de la mayor parte de los cultivares disponibles en Australia a escala comercial. Se dispone de un rango de precocidad relativamente amplio, sin embargo, la selección realizada en Australia ha sido enfocada a cubrir necesidades de zonas de alta aridez, suelos infértiles y con temperaturas invernales relativa-

Cuadro 8. Características de cultivares de *Ornithopus compressus* y *O. sativus*.
Table 8. Cultivar characteristics of *Ornithopus compressus* and *O. sativus*.

Cultivar	Precocidad ¹	Tipo ²	Tolerancia a Al ³	Tipo de vaina ⁴	Precipitaciones (mm) ^{2,3}
Charano	Precoz	Amarilla	Alta	Moderadamente segmentada	300-500
Paros	Precoz	Amarilla	Alta	Segmentada	300-500
Santorini	Precoz	Amarilla	Alta	Segmentada	300-500
Madeira	Intermedia	Amarilla	Baja	Moderadamente segmentada	> 600
Tauro	Intermedia	Amarilla	S/I	S/I	> 600
Pitman	Tardía	Amarilla	S/I	S/I	600-1000
Ávila	Tardía	Amarilla	Alta	Poco segmentada	600-1000
Cádiz	Tardía	Rosada	Moderada	Segmentada	600-1000

¹ Fuente: Ovalle *et al.* (2003).

² Fuente: Gladstones (1987); Gladstones *et al.* (1989, 1990); Drew (1989); Nutt y Paterson (1998a, b).

³ Fuente: Freebairn y Gardner (2001).

⁴ Las vainas segmentadas se abren fácilmente en la madurez, las poco segmentadas no lo hacen (Devenish, 1999) S/I: sin información.

mente moderadas. Para Chile, además sería necesario disponer de materiales de mayor tolerancia a frío, pues la mayor parte de los cultivares estudiados son muy precoces y/o presentan baja tolerancia a las condiciones imperantes en zonas de mayor altitud, como la precordillera andina o en zonas de alta pluviometría como los secanos de la IX Región.

Las serradelas podrían jugar un papel importante en el aprovechamiento ganadero de suelos de baja

fertilidad, de la zona mediterránea de Chile. Para ello se debería implementar una línea de investigación propia en selección de germoplasma y producción de cultivares, que apunte a los requerimientos específicos del país en esta materia. El área cubierta con ensayos de prueba del comportamiento de germoplasma con éstas y otras especies de nuevas leguminosas forrajeras anuales, es aún insuficiente y debiera ampliarse en el corto plazo

LITERATURA CITADA

- Albertsen, T. 2001. Alternative annual pasture legumes. 3 p. Farmonte N° 29. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Western Australia, Australia.
- Bolland, M.D.A. 1985a. Effect of nitrogen and cobalt application on herbage and seed yields of serradella and subterranean clover. *Aust. J. Exp. Agric.* 25:588-594.
- Bolland, M.D.A. 1985b. Serradella (*Ornithopus* sp.): maturity range and hard seed studies of some strains of five species. *Aust. J. Exp. Agric.* 25:580-587.
- Bolland, M.D.A. 1985c. Effects of phosphorus on seed yields of subterranean clover, serradella and annual medics. *Aust. J. Exp. Agric.* 25:595-602.
- Bolland, M.D.A., and B.H. Paynter. 1992. Comparative responses of annual pasture legume species to superphosphate applications in medium and high rainfall areas of Western Australia. *Fert. Res.* 31:21-33.
- Bolland, M.D.A., and B.H. Paynter. 1994. Critical phosphorus concentrations for burr medic, yellow serradella, subterranean clover, and wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:385-394.
- Bowman, A., D. Hebb, D. Munnich, G. Rummery, and J. Brockwell. 1995. Field persistence of *Bradyrhizobium* sp. (Lupinus) inoculant for serradella (*Ornithopus compressus* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 35:357-365.
- Bustos, P. 2002. Caracterización fenológica y agronómica de una colección 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.
- Chatel, D.L., and R.M. Greenwood. 1973. The location and distribution in soil of rhizobia under senesced annual legume pastures. *Soil Biol. Biochem.* 5:799-808.
- Chavarría, J., G. Klee, C. Ovalle, y N. Caro. 2000. Serradella: una especie forrajera anual para suelos ácidos de baja fertilidad. *Informativo Agropecuario BIO-LECHE – INIA Quilamapu* 13(2):50-52.
- Conlan, D.J., B.S. Dear, and N.E. Coombes. 1994. Effect of grazing intensity and number of grazings on herbage production and seed yields of *Trifolium subterraneum*, *Medicago murex*, and *Ornithopus compressus*. *Aust. J. Exp. Agric.* 34:181-188.
- Del Pozo, A., C. Ovalle, J. Aronson, and J. Avendaño. 2001. Ecotypic differentiation in *Medicago polymorpha* along an environmental gradient in Central Chile. I. Phenology, winter vigor and biomass production. *Plant Ecology* 159:119-130.
- 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 Ecology* 160:53-59.
- Devenish, K. 1999. Preparing and harvesting serradella pasture seed. 4 p. Farmonte N° 88. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Western Australia, Australia.
- Dodd, M.B., and S.J. Orr. 1995. Seasonal growth, flowering patterns, and phosphate response of 18 annual legume species grown in a hill-country soil. *N.Z. J. Agric. Res.* 38:21-32.
- Drew, T.P. 1989. *Ornithopus compressus* L. (yellow serradella) cv. Avila. *Aust. J. Exp. Agric.* 29:302-303.
- Edward, A.Y., M.A. Ewing and C.K. Revell. 2001. Fate of serradella, medic and biserrula seeds in pods ingested by sheep. *Aust. Agron. Conference-Papers*. Available at <http://me.csv.edu.au/agronomy/papers>. Accessed October 2003.
- Freebairn, R.D. 1994. Serradella: an advisory perspective. p. 61-65. Technical Report N° 219. In Michalk, D. Craig, A., and Collins, P. (eds.). *Primary Industries South Australia*, Adelaide, Australia.
- Freebairn, B., and C. Bourke. 2002. Yellow serradella *Ornithopus compressus*. Available at <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/1481>. Accessed June 2003.

- Freebairn, B., and P. Gardner. 2001. Serradella. Available at <http://www.agric.nsw.gov.au/reader/7746>. Accessed March 2003.
- Fu, S.M., J.G. Hampton, and W.M. Williams. 1994. Description and evaluation of serradella (*Ornithopus compressus* L.) accessions. N. Z. J. Agric. Res. 37:471-479.
- Fu, S.M., J.G. Hampton, M.J. Hill, and K.A. Hill. 1996. Breaking hard seed of yellow and slender serradella (*Ornithopus compressus* and *O. pinnatus*) by sulphuric acid scarification. Seed Sci. Technol. 24:1-6.
- Gladstones, J.S. 1987. New pasture plant release: *Ornithopus compressus* L. (yellow serradella) cv. Tauro. Tropical Grasslands 21:191-192.
- Gladstones, J.S., M.D.A. Bolland, and D.L. Lloyd. 1989. *Ornithopus compressus* L. (yellow serradella) cv. Madeira. Aust. J. Exp. Agric. 29:304-305.
- Gladstones, J.S., M.D.A. Bolland, and C.K. Revell. 1990. *Ornithopus compressus* L. (yellow serradella) cv. Paros. Aust. J. Exp. Agric. 30:443-444.
- Loi, A., J.G. Howieson, P.S. Cocks, and S.J. Carr. 1999. Genetic variation in populations of two Mediterranean annual pasture legumes (*Biserrula pelecinus* L. and *Ornithopus compressus* L.) and associated rhizobia. Aust. J. Agric. Res. 50:303-313.
- Lonchamp, J.P. 2000. *Ornithopus compressus* L. Available at http://www.dijoninra.fr/malherbo/hyppa-a/oroco_ah.htm. Accessed May, 2003.
- Lloveras, J., and I. Iglesias. 1998. Accumulation of dry matter and evolution of nutritive value in serradella (*Ornithopus sativus* Brot.) Agron. J. 90:59-63.
- Lloyd, D.L., and B. Johnson. 2001. Serradella. Available at <http://www.dpi.qld.gov.au/pastures/4154.html>. Accessed May 2003.
- Marticorena, C., y M. Quezada. 1985. Catálogo de la flora vascular de Chile. Gayana Botánica 42:1-157.
- Michalk, D., and C. Revell. 1993. Serradella (*Ornithopus* spp.) research: an Australian overview. p. 39-46. Technical Report N° 219. In Michalk, D., Craig, A. and Collins, P. (eds.). Alternative pasture legumes 1993. Primary Industries South Australia, Adelaide, Australia.
- Muñoz, H. 2002. Estudio de la adaptación, crecimiento y producción de leguminosas anuales en precordillera andina. 55 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Adventista de Chile, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile.
- Nutt, B. 1994. Serradella for acid soils in Western Australia. p. 50-52. Technical Report N° 219. In Michalk, D., Craig, A., and Collins, P. (eds.). Alternative pasture legumes 1993. Primary Industries, South Australia, Perth, Australia.
- Nutt, B., and J. Paterson. 1997. Cadiz French serradella - a new pasture variety for deep acid soils. 3 p. Farmonte N° 12. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Western Australia, Perth, Australia.
- Nutt, B., and J. Paterson. 1998a. Charano: a new yellow serradella for low rainfall areas. 2 p. Farmonte N° 29. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Western Australia, Perth, Australia.
- Nutt, B., and J. Paterson. 1998b. Santorini: new yellow serradella for medium rainfall areas. 2 p. Farmonte N° 30. Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA), Western Australia, Perth, Australia.
- Oram, R.N. 1990. Register of Australian herbage plant cultivars. 3^d ed. 303 p. CSIRO, Melbourne, Australia.
- 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. 2004a. 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. (Chile) 65:35-47.
- Ovalle, C., A. Del Pozo, J. Avendaño, F. Fernández, y S. Arredondo. 2004b. 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. Agric. Téc. (Chile) 65:265-277.
- Ovalle, C., A. Del Pozo, J. Avendaño, y J. Aronson. 1997. Características fenológicas y productivas de 34 accesiones de hualputra (*Medicago polymorpha*) colectadas en la zona mediterránea de Chile. Agric. Téc. (Chile) 57:261-270.
- Parker, C.A. 1962. Light lands in Western Australia. 3. Microbial problems in the establishment of legumes on light lands. J. Dep. Agric. Western Australia 3:713-716.
- Paynter, B.H. 1990. Comparative phosphate requirements of yellow serradella (*Ornithopus compressus*), burr medic (*Medicago polymorpha* var. *brevispina*) and subterranean clover (*Trifolium subterraneum*). Aust. J. Exp. Agric. 30:507-514.

- Paynter, B.H. 1992. Comparison of the phosphate requirements of burr medic and yellow serradella with subterranean clover in the low rainfall wheatbelt of Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 32:1077-1086.
- Paynter, B.H. 1993. Effect of external phosphorus and seed phosphorus supply on the shoot and root growth of yellow serradella, burr medic, and subterranean clover. *J. Plant Nutr.* 16:2313-2331.
- Peoples, M.B., and J.A. Baldock. 2001. Nitrogen dynamics of pastures: nitrogen fixation inputs, the impact of legumes on soil nitrogen fertility, and the contributions of fixed nitrogen to Australian farming systems. *Aust. J. Exp. Agric.* 41:327-346.
- Pinkerton, A., and P.J. Randall. 1993. A comparison of the potassium requirements during early growth of *Lotus pedunculatus*, *Medicago murex*, *M. polymorpha*, *M. truncatula*, *Ornithopus compressus*, *Trifolium balansae*, *T. resupinatum*, *Pennisetum clandestinum*, and *Phalaris aquatica*. *Aust. J. Exp. Agric.* 33:31-39.
- Polhill, R.M. 1981. Coronilleae. p. 375. *In* Polhill, R.M. and P.H. Raven (eds.). *Advances in legume systematics*. Royal Botanic Gardens, Kew, Australia.
- Revell, C.K., and M. Ewing. 1993. Status of serradella (*Ornithopus* spp.) research in Western Australia. p. 47-49. *In* Michalk, D., Craig, A., and Collins, P. (eds.). *Alternative pasture legumes*. Technical Report N° 219. Primary Industries South Australia, Adelaide, Australia.
- Revell, C.K., G.B. Taylor, and P.S. Cocks. 1998. Long-term softening of surface and buried hard seeds of yellow serradella grown in a range of environments. *Aust. J. Agric. Res.* 49:673-685.
- Revell, C.K., G.B. Taylor, and P.S. Cocks. 1999. Effect of length of growing season on development of hard seeds in yellow serradella and their subsequent softening at various depths of burial. *Aust. J. Agric. Res.* 50:1211-1223.
- Rojas, C., O. Romero, y L. Barrientos. 2002. Producción de carne bovina en praderas naturalizadas de serradella amarilla (*Ornithopus compressus* L.) y trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum* L.) en condiciones de secano de la IX Región, Chile. *Agric. Téc. (Chile)* 62:519-529.
- Sanford, P., J.S. Pate, and M.J. Unkovich. 1994. A survey of proportional dependence of subterranean clover and other pasture legumes on N₂ fixation in South-West Australia utilizing ¹⁵N natural abundance. *Aust. J. Agric. Res.* 45:165-181.
- Slattery, J.F., and D.R. Coventry. 1989. Populations of *Rhizobium lupini* in soils used for cereal-lupin rotations in North-East Victoria. *Soil Biol. Biochem.* 21:1009-1010.
- Tang, C., L. Barton, and C. Raphael. 1998. Pasture legume species differ in their capacity to acidify soil. *Aust. J. Agric. Res.* 49:53-58.
- Unkovich, M., J.S. Pate, and P. Sanford. 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian mediterranean agriculture. *Aust. J. Agric. Res.* 48:267-293.
- Weeldenburg, J.R. and R.W. Smith. 1969. Dehulling and scarifying serradella seed. *J. Dep. Agric. Western Australia* 10:230-231.
- Woodgate, K., N. Maxted, and S.J. Bennett. 1999. A generic conspectus of the forage legumes of the Mediterranean basin. *Genetic Resources of Mediterranean Pasture and Forage Legumes* 33:182-226.