

INVESTIGACIÓN

DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y PRODUCCIÓN DE SEMILLAS DE ALFILERILLO, *Erodium moschatum* (L.) L' Hér.

Rainfall distribution and seed production of filaree, *Erodium moschatum* (L.) L' Hér.

Alfredo Olivares^{1*}, Myrna Johnston² y Eugenio Salas²

ABSTRACT

The effect of the distribution of rainfall was studied on production and quality of seeds of filaree, *Erodium moschatum* (L.) L' Hér. Four treatments of rainfall for a simulated normal year were compared: early, normal and late distributions, and a control without water restriction. Ten seeds, previously scarified, were sown, and after emergence were thinned to leave four seedlings per pot. Rainfall, corresponding to a real year, was applied using a serum dispenser. This treatment with no water restriction produced an average of 4,025 seeds and 14.8 g total vegetative DM per pot; normal rainfall produced, in the best case, 1,710 seeds and 1.2 g total vegetative DM per pot. Vegetative growth was best (12.5 g total DM per pot) in the early rainfall distribution, which produced only 638 seeds per pot. It was concluded that seed production is strongly influenced by the occurrence of rainfall during the reproductive period, thus, distribution of rain is important as it determines availability of water during the reproductive phase, particularly during development and maturation of seeds.

Key words: phenological stages, water deficit, reproductive efficiency.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la distribución de la precipitación en la producción y calidad de semillas de alfilerillo, *Erodium moschatum* (L.) L' Hér. Se usaron cuatro tratamientos de precipitación simulada de un año normal: distribución temprana; distribución normal; distribución tardía, y un tratamiento control sin restricción hídrica. Se sembraron 10 semillas, previamente escarificadas, y luego de la emergencia se raleó dejando cuatro plantas por maceta. La precipitación, correspondiente a un año real, se aplicó mediante un dispensador de suero. Esta especie sin restricción hídrica produjo en promedio 4.025 semillas y 14,8 g de MS vegetativa total por maceta; la precipitación normal en cantidad produjo, en el mejor caso, 1.710 semillas y 1,2 g de MS vegetativa total por maceta. El crecimiento vegetativo fue superior (12,5 g de MS vegetativa total por maceta) con la distribución temprana que sólo produjo 638 semillas por maceta. Se concluyó que la producción de semillas está fuertemente determinada por la ocurrencia de precipitaciones durante el período reproductivo, por lo tanto, la distribución de la lluvia influye en la medida que determina la disponibilidad hídrica durante la fase reproductiva, y particularmente, durante el desarrollo y maduración de las semillas.

Palabras clave: etapas fenológicas, déficit hídrico, eficiencia reproductiva.

¹ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Casilla 1004, Santiago, Chile. E-mail: aolivare@uchile.cl

² Ingeniero Agrónomo, actividad privada.

* Autor para correspondencia.

Recibido: 31 de enero de 2003. Aceptado: 26 de mayo de 2003.

INTRODUCCIÓN

La persistencia de la pradera anual de clima mediterráneo depende, en gran medida, de la capacidad de producción de semillas de las especies que la componen. Esta capacidad, a su vez, tiene relación con los factores climáticos, en especial del régimen pluviométrico. La pluviometría en la zona mediterránea semiárida de Chile presenta gran variabilidad entre y dentro de los años, siendo común la alternancia de años secos, normales y lluviosos, con concentración de lluvias en los meses de otoño-invierno (Contreras, 1997; Olivares *et al.*, 1998).

Las respuestas de las plantas no sólo se relacionan con la precipitación acumulada, sino que con la oportunidad en que ocurren, es decir, con su frecuencia e intervalo (Gutiérrez, 1993). Según Bolger y Turner (1999), la relación positiva entre la precipitación y la producción de la pradera resulta efectiva en la medida que la mayor precipitación provoque prolongación del período de crecimiento de las plantas. Cuando la distribución de la precipitación es inadecuada no se logra el nivel máximo de producción. Armesto *et al.* (1993) señalaron que la germinación de las terófitas ocurre en respuesta a la primera precipitación efectiva; para las terófitas de clima mediterráneo la primera lluvia otoñal efectiva es aquella superior a 15 mm o dos lluvias consecutivas que sumen 20 mm (Contreras, 1997).

Después de la germinación, la composición florística de la pradera es consecuencia de las etapas de emergencia y establecimiento de las plántulas de las distintas especies. Esto último tiene directa relación con el inicio de las lluvias y con la ocurrencia de sequías posteriores a la germinación, dada la capacidad diferencial de las especies para germinar y para resistir sequías tempranas (Espigares y Peco, 1993). Las especies de climas áridos y semiáridos protegen sus semillas mediante el proceso de instauración de dormancia, el que con altas temperaturas o fluctuaciones extremas de éstas, produce un lento quiebre de la dureza seminal (Norman *et al.*, 1998).

La respuesta de la planta al estrés hídrico puede ser una disminución de su tamaño y reducción en la brotación de nuevas hojas, disminuyendo así la superficie de transpiración (Fernández *et al.*, 1993), también puede acelerar la senescencia (Santibáñez *et al.*, 1980), o bien, aumentar la relación peso raíz/peso vástago (Turner y Begg, 1977).

Lorenzetti (1993) señaló que, una vez producida la inducción floral, son necesarias lluvias moderadas y bien distribuidas durante el período de crecimiento vegetativo en invierno y primavera, seguido de pequeñas lluvias durante el llenado de granos, y de un período seco y soleado en la etapa de maduración de las semillas. El éxito reproductivo de una planta dependerá de que la floración ocurra en el momento más adecuado de su desarrollo y cuando las condiciones ambientales sean favorables (Roldan y Martínez, 2000).

En zonas áridas las plantas anuales han desarrollado adaptaciones frente al déficit hídrico mediante transición temprana a la fase reproductiva, ciclos de vida más cortos, mayor plasticidad en la inducción de senescencia debido a escasez de agua y mayor esfuerzo reproductivo (Aronson *et al.*, 1993). Estas mismas especies en clima mediterráneo encuentran una mayor competencia, y por ello desarrollan menor esfuerzo reproductivo y mayor asignación de biomasa hacia estructuras vegetativas, mejorando así sus habilidades competitivas; esto determina que la reproducción se produzca en condiciones que limitan la acumulación de biomasa, en especial la escasez de agua (Fenner, 1992; Bolger y Turner, 1999).

Las consecuencias del estrés hídrico sobre el desarrollo de las semillas dependen del momento de su ocurrencia; si se presenta inmediatamente después de la polinización, produce aborto de embriones y, por lo tanto, reducción del número total de semillas; si ocurre durante el desarrollo, se reduce el peso o tamaño, causado fundamentalmente por reducción de compuestos carbonados dada la disminución de la fotosíntesis ante la restricción hídrica. Esto último se puede atenuar por translocación de asimilados de reserva desde otros órganos (Bradford, 1994).

La magnitud de la reducción del peso total de semillas por disminución en el número y tamaño de éstas, depende del momento en que se presente el déficit hídrico con relación a la antésis; un déficit temprano (floración o antes) reduce el número de semillas, en cambio un déficit posterior a la antésis afecta su tamaño (Fenner, 1992).

Rice (1990) determinó que la producción de semillas en dos especies del género *Erodium*, dependía de la distribución de la precipitación, así, la menor producción se daba con déficit hídrico durante la floración. La familia Geraniaceas, que incluye al género *Erodium*, en Chile está representada por cuatro especies: *E. botrys*, *E. malacoides*, *E. moschatum* y *E. cicutarium*, las que están presentes en distintas proporciones en la pradera anual de clima mediterráneo.

Como hipótesis de trabajo se planteó que la producción de semillas está regulada no sólo por la cantidad de precipitación sino por su distribución. Los objetivos planteados fueron: evaluar la influencia de tres distribuciones de la precipitación de un año normal en cantidad sobre la producción y calidad de semillas, y determinar en éstas el efecto de los déficits de agua momentáneos.

MATERIALES Y MÉTODOS

En invernadero frío (sin control de temperatura) se sembró alfilerillo, *Erodium moschatum*, en macetas, con suelo previamente esterilizado, y se sometió a cuatro tratamientos correspondientes a las distribuciones de la pluviometría de un año normal de la Estación Experimental Agronómica de la Universidad de Chile (33°28' lat. Sur y 70°50' long. Oeste), representativa de la zona semiárida del secano interior de la Región Metropolitana.

Los tratamientos se definieron a partir de la caracterización pluviométrica de la zona realizada por Contreras (1997), quién analizó 40 años de registros de lluvias, considerando el período abril-septiembre que comienza con la primera lluvia efectiva. En cada año la lluvia se agrupó en períodos de 15 días y se determinaron las precipi-

taciones quincenales relativas con respecto al ciclo pluviométrico total. De esta forma, se definieron años lluviosos (más de 381 mm), normales (247-380 mm), y secos (menos de 246 mm). Además, se definieron años de precipitación temprana, como aquellos en que el 70% o más de la precipitación total ocurría en la primera mitad del ciclo, años tardíos en que el 70% o más del total de lluvia se producía en la segunda mitad del ciclo, y años normales aquellos en que no se presentaba una concentración mayor al 70% en ninguno de los períodos anteriores. Los años con pluviometría total normal se agruparon de acuerdo a su distribución, se calculó el promedio de la cantidad relativa de precipitación en cada quince-na para cada tipo de distribución, determinándose así un año promedio de distribución relativa normal, uno de distribución relativa temprana, y otro de distribución relativa tardía. En cada distribución se determinó el año real de mejor ajuste al año promedio de distribución relativa, mediante el método de mínimos cuadrados.

Los tratamientos fueron: año normal con distribución temprana (T_1); normal con distribución normal (T_2); normal con distribución tardía (T_3) y tratamiento control sin restricción hídrica, mantenido con humedad superior al 50% de capacidad de campo (T_0). Cada tratamiento correspondió al régimen pluviométrico de un año real.

La siembra se hizo en macetas de polietileno negro de 30 cm de altura y 16 cm de diámetro, con 8 kg de suelo de la serie Piedmont Cuesta Barriga (Typic Haploxerolls). Se sembraron 10 semillas previamente escarificadas por maceta, y una vez finalizada la emergencia de plántulas, se raleó dejando cuatro plantas por maceta. Finalizada la siembra, se inició la aplicación de las lluvias según el régimen pluviométrico de cada tratamiento; la precipitación se aplicó mediante un dispensador de suero, que permitió simular la cantidad de agua correspondiente a cada lluvia. Además, la evapotranspiración real de cada maceta (E_{tr}) se determinó por diferencia según la siguiente fórmula de balance hídrico:

$$\Delta H = P_e - P_p - E_t$$

donde: ΔH = Cambio en el contenido de humedad del suelo (por diferencia de peso de la maceta antes de cada lluvia aplicada y 48 h después de finalizada); P_e = precipitación (agua incorporada); P_p = percolación (por diferencia de peso del recipiente de drenaje antes y después de la lluvia); y E_t = evapotranspiración. La E_t del tratamiento testigo se consideró como una E_t sin restricción hídrica (E_{ts}), con lo que se determinó el grado de satisfacción hídrica de cada tratamiento mediante la relación E_{tr}/E_{ts} .

Se registraron las diferentes etapas fenológicas; para ello se consideró como fecha de inicio de cada etapa, cuando el 50% de las plantas de una maceta en cada tratamiento presentaba la etapa, y como fecha de término, cuando la última maceta de cada tratamiento la evidenció. Las etapas fenológicas consideradas fueron: germinación y emergencia (E), elongación de tallos (ET), botón floral (BT), antésis (A), fruto verde (FV), semilla formada (SF) y senescencia (SN). Al final del ciclo se midió fitomasa total, separando el material vegetativo aéreo (tallos y hojas), el subterráneo y el material reproductivo (tallos florales, inflorescencias y frutos). También se midió peso de frutos por maceta, número de semillas y de inflorescencias, y se determinó la eficiencia reproductiva mediante un índice que relaciona biomasa reproductiva con la vegetativa (Aronson *et al.*, 1993). Para evaluar calidad de semillas se midió: peso de 100 semillas, relación peso semilla/peso fruto (PS/PF), germinación de semillas con testa intacta y semillas escarificadas (un orificio hecho con aguja entomológica), y viabilidad (ISTA, 1976).

Se usó un diseño completamente aleatorizado con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones; la unidad experimental fue una maceta con cuatro plantas. Se realizó ANDEVA para la producción de semillas, producción de MS y calidad de semillas. Cuando hubo diferencias significativas se aplicó el test de comparación múltiple de Duncan. En el caso de las variables discretas (porcentaje de germinación y de viabilidad), previamente se realizó la transformación de arco seno. Además se realizó el estudio de regresión múltiple entre las variables producción de semillas y

evapotranspiración en los distintos estados fenológicos.

Adicionalmente se dispuso de macetas en cada tratamiento, en las cuales se pesó el material vegetal recién iniciada la etapa reproductiva (día 70 post siembra), separando estructuras aéreas de raíces, con el propósito de obtener una apreciación del crecimiento vegetativo previo al desarrollo de la etapa reproductiva. Las raíces se extrajeron mediante lavado del suelo con agua corriente, luego de mantenerlas inmersas en recipientes con agua durante 24 h.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los registros pluviométricos determinó que los años 1983 (280,2 mm), 1970 (282,1 mm) y 1989 (281,4 mm) fueron los más representativos de una distribución temprana, normal y tardía, respectivamente, para un año con precipitación total normal (Figura 1). Por lo tanto, se usaron los montos y momentos de lluvia registrados en cada uno de ellos.

El año con distribución de precipitación tardía presentó un falso quiebre ("false break events") en el que, luego de la primera lluvia efectiva otoñal, sigue un largo período de sequía. Esta situación es importante en ambientes de clima mediterráneo como lo determinaron Chapman y Asseng (2001). Estos autores encontraron en la zona mediterránea del oeste australiano, que este fenómeno tiene alta frecuencia (61-72%), con mayor ocurrencia al inicio de otoño, lo que presenta un riesgo para las especies de semillas con poca dormancia o del tipo transitorio.

Los tratamientos con distribución temprana y sin restricción hídrica tuvieron un desarrollo fenológico similar así como aquellos con distribución normal y tardía. *Erodium moschatum* se caracterizó por presentar en todas las condiciones probadas una primera etapa sólo de crecimiento vegetativo de 48 días, luego mostró simultáneamente, crecimiento vegetativo y reproductivo, lo que indica que es una especie de crecimiento indeterminado (Figura 2). En los individuos que no tuvieron restricción hídrica y en aquellos so-

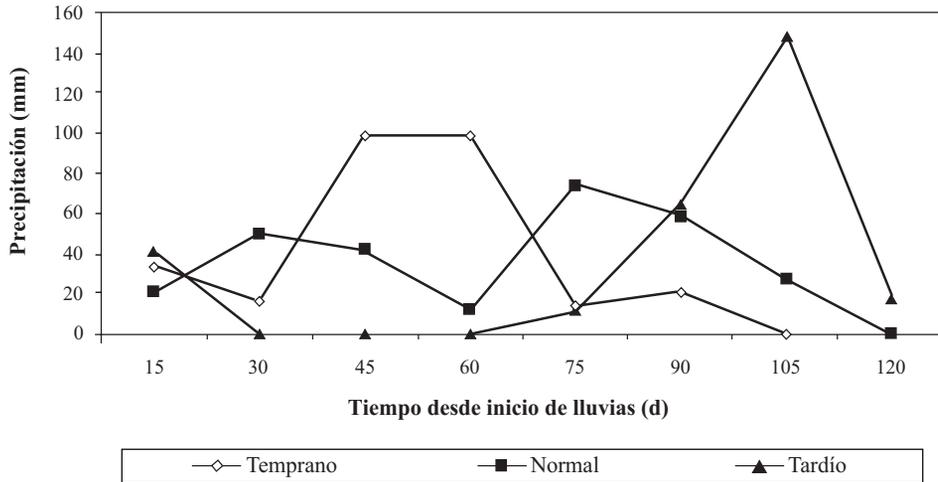


Figura 1. Año promedio de precipitación total normal con distribución temprana, normal y tardía, agrupadas cada 15 días.

Figure 1. Average year of total normal rainfall with early, normal and late distributions, clustered every 15 days.

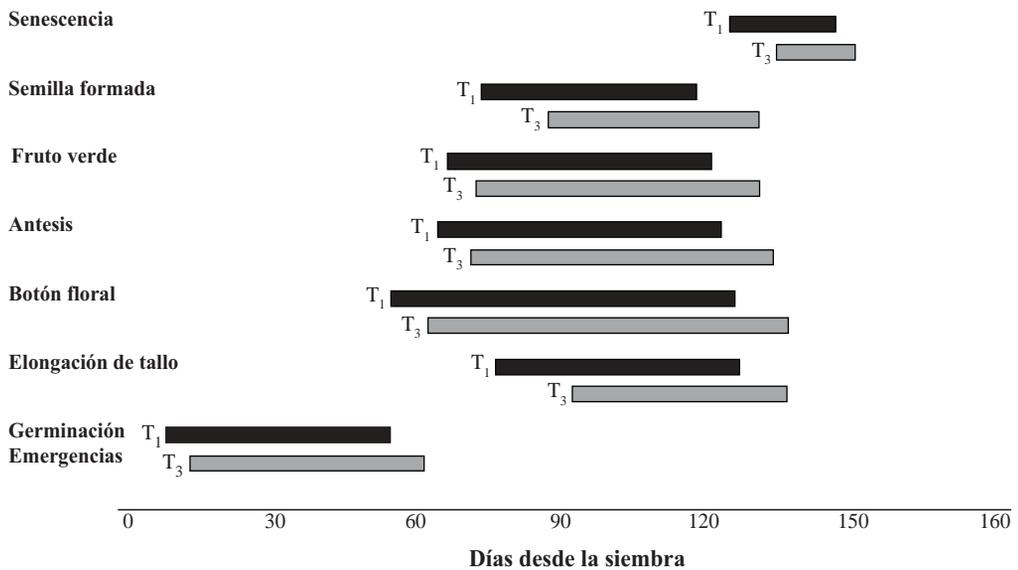


Figura 2. Ocurrencia y duración de los estadios fenológicos de *Erodium moschatum* desde la siembra con simulación de lluvias de un año normal con una distribución temprana (T₁) y tardía (T₃).

Figure 2. Occurrence and duration of phenological stages of *Erodium moschatum* from seeding with simulated rainfalls of a normal year with early (T₁) and late (T₃) distributions.

metidos a distribución temprana de la lluvia (T_1) el período de floración comenzó el día 58 después de la siembra y se prolongó por 69 a 75 días. La etapa reproductiva duró entre 65 y 75 días dependiendo del tratamiento, lo que implica una superposición de estadios fenológicos. La duración del período de formación de semillas dependió de la disponibilidad de humedad; cuando no hubo restricción hídrica (T_0) el proceso se inició simultáneamente con el tratamiento de distribución temprana, pero se prolongó 11 días más (65 en T_0 y 54 en T_1), y finalizó junto con las plantas sometidas a distribución tardía de la lluvia, el día 135 de iniciada la siembra.

En general, el ritmo de las etapas fenológicas no presentó mayores variaciones, con excepción del año tardío que se retrasó en 8 días el comienzo de la floración. El severo déficit hídrico a que estuvieron sometidas las plantas del tratamiento tardío (Figura 1), se reflejó en una primera etapa con bajo crecimiento (Figura 3) que habría retrasado el inicio de la etapa reproductiva, de acuerdo a lo expresado también por Fischer y Turner (1978); este retraso significó una diferencia en el desarrollo reproductivo posterior. Es probable,

que si bien la planta destinó parte de sus recursos a crecimiento vegetativo, al reiniciarse el período de lluvias, y una vez alcanzado un tamaño suficiente, inició su desarrollo reproductivo, el que coincidió con buena disponibilidad de humedad.

E. moschatum logró completar todas sus etapas fenológicas con las distintas distribuciones pluviométricas, y sólo hubo una diferencia de 10 días en la entrada en senescencia entre las distribuciones de precipitación temprana y tardía. Este comportamiento explicaría, en parte, la gran persistencia de la especie, pues pudo recuperarse y generar brotación de hojas y elongación de tallos, a pesar que estuvo sometida a 35 días de fuerte déficit hídrico en la distribución tardía.

El desarrollo vegetativo al día 70 del ciclo estuvo directamente relacionado con la cantidad de agua recibida (Figura 3, Cuadro 1). Las plantas sin restricción hídrica y aquellas con distribución temprana lograron un mayor desarrollo de 14,8 y 12,5 g MS maceta⁻¹, respectivamente, habiendo recibido 292,6 mm el primero y 259,5 mm el segundo; en aquellas con distribución normal (193 mm), y las tardías (52 mm), a la fecha del

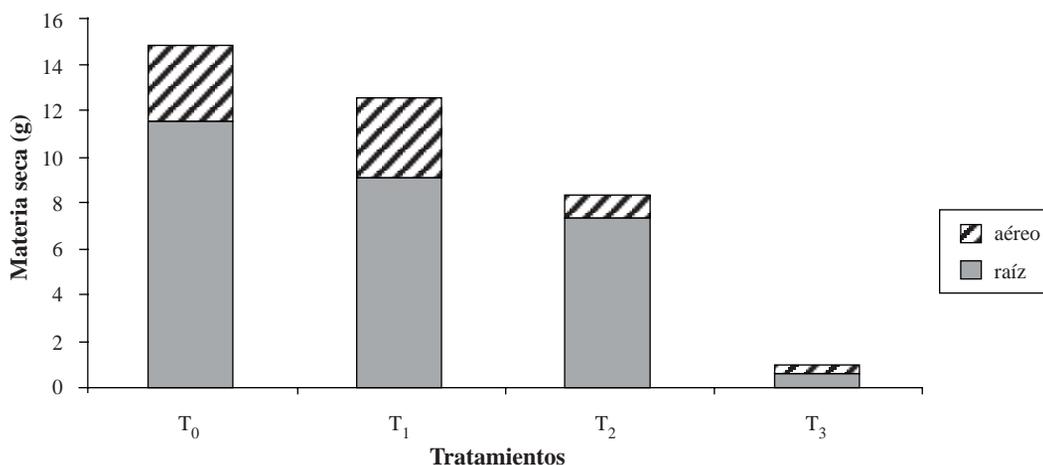


Figura 3. Fitomasa vegetativa total (al día 70 post siembra) producida por *Erodium moschatum* (g MS maceta⁻¹) con simulación de distribución temprana (T_1), normal (T_2) y tardía (T_3) de las lluvias y sin restricción hídrica (T_0).

Figure 3. Total vegetative phytomass (at day 70 post seeding) produced by *Erodium moschatum* (g MS pot⁻¹) with a simulation of early (T_1), normal (T_2) and late (T_3) rainfall distribution and without hydric restriction (T_0).

Cuadro 1. Calendario de aplicación de lluvias (mm) simuladas de un año normal con distribuciones de precipitaciones temprana según el año 1983 (T_1), con distribución normal según el año 1970 (T_2), con distribución tardía según el año 1989 (T_3) y del tratamiento sin restricción de humedad (T_0).

Table 1. Rainfall application schedule (mm) of simulated normal year with early distribution according to the year 1983 (T_1), with normal distribution according to the year 1970 (T_2), with late distribution according to the year 1989 (T_3) and the treatment without water stress (T_0).

Día desde siembra	Fecha	T_1 (1983)	T_2 (1970)	T_3 (1989)	T_0
1	28/07/00	26,9	20,1	22,2	24,0
11	07/08/00	6,5			50,0
15	11/08/00			18,6	
18	14/08/00				32,0
22	18/08/00	15,7			
25	21/08/00		49,1		7,3
32	28/08/00	50,4			
35	31/08/00	48,4			11,0
40	05/09/00		16,2		
43	08/09/00		25,1		
49	14/09/00	53,1	8,4		
52	17/09/00	37,2			
56	21/09/00	7,6	3,5		39,7
62	27/09/00		21,0	11,5	32,5
67	02/10/00	13,7			61,5
70	05/10/00		53,0		34,6
Subtotal		259,5	196,4	52,3	292,6
76	11/10/00				60,9
78	13/10/00	13,3			35,3
81	16/10/00	7,4	44,6	20,0	43,4
85	20/10/00			43,6	49,0
88	23/10/00		13,6		33,0
91				40,0	
92	27/10/00		27,5	12,8	49,0
95	30/10/00			38,5	49,0
98	02/11/00			12,6	38,4
104	08/11/00			44,0	49,0
109	13/11/00			17,7	43,0
TOTAL		280,2	282,2	281,4	742,6

control, sólo tenían 9,3 y 0,9 g MS maceta⁻¹, respectivamente. Es importante destacar el escaso desarrollo alcanzado por las plantas con distribución tardía, que sólo habían recibido 52 mm; de sus 0,9 g sólo 0,3 g correspondieron a peso de raíz. En el tratamiento control y los de distribución temprana y normal se presentó abundante desarrollo radicular. Esto podría ser un indicador de plasticidad fenotípica de la especie.

La senescencia se inició con la muerte de hojas, aproximadamente el día 75 del ciclo, cuando la evapotranspiración en la distribución temprana y normal fue más alta (Figura 4, Cuadro 2). El proceso se intensificó en la segunda etapa, pero fue más lento en las plantas sometidas a régimen pluviométrico tardío. Si se considera la suma del material muerto como una fracción de la producción total del material aéreo, se comprueba que las plantas sin restricción tuvieron un bajo por-

Cuadro 2. Evapotranspiración total (mm) y relativa a los valores máximos sin restricción hídrica en las etapas vegetativa, reproductiva, y de producción de semillas en *Erodium moschatum*.

Table 2. Total relative evapotranspiration (mm) to maximum values without a hydric restriction in the vegetative, reproductive and of seed production stages in *Erodium moschatum*.

	Distribución temprana (T ₁)	Distribución normal (T ₂)	Distribución tardía (T ₃)	Sin restricción hídrica (T ₀)
Evapotranspiración total:				
Etapa vegetativa	108,0	70,7	36,8	118,0
Etapa reproductiva	90,2	194,8	238,0	608,6
Total	198,2	265,5	274,8	726,6
Evapotranspiración relativa:				
Etapa vegetativa	0,915	0,599	0,312	1,00
Etapa reproductiva	0,8	0,320	0,391	1,00
Producción de semillas	0,122	0,325	0,373	1,00

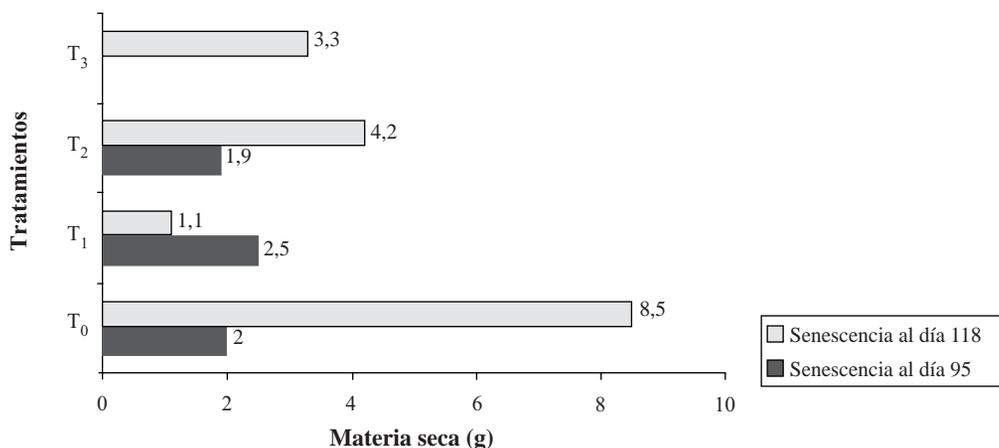


Figura 4. Peso de hojas muertas (g MS maceta⁻¹) a los días 95 y 118 después de la siembra en *Erodium moschatum* con simulación de diferente distribución de lluvias, temprana (T₁), normal (T₂), tardía (T₃) y sin restricción hídrica (T₀).

Figure 4. Weight of dead leaves (g MS pot⁻¹) at days 95 and 118 after seeding in *Erodium moschatum* with a simulation of early (T₁), normal (T₂), late (T₃) rainfall distributions and without water stress (T₀).

Cuadro 3. Fitomasa (g MS maceta⁻¹) en *Erodium moschatum* sometido a simulación de tres tipos de distribución de la precipitación de un año normal en cantidad.

Table 3. Phytomass (g MS pot⁻¹) in *Erodium moschatum* submitted to a simulation of three types of rainfall distribution with the quantity of a normal year.

Tratamiento	Fitomasa vegetativa	Fitomasa reproductiva	Total
Sin restricción hídrica (T ₀)	25,6 a *	28,2 a	53,8 a
Distribución temprana (T ₁)	11,3 b	3,5 c	14,8 c
Distribución normal (T ₂)	13,3 b	8,3 b	21,6 b
Distribución tardía (T ₃)	13,1 b	10,6 b	23,6 b

*Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (P < 0,05).

centaje de hojas muertas (22%) en comparación a aquellas sometidas a distribución temprana (37%). El tratamiento con menor porcentaje de hojas secas fue el tardío (16%). Si se observa el calendario de precipitaciones aplicado (Cuadro 1), se puede deducir que la senescencia comenzó luego que se suspendió la aplicación de agua en el tratamiento temprano, el cual mostró un escaso tamaño en la segunda etapa de mediciones (días 96 al 118), lo que probablemente le permitió resistir la sequía al bajar su evapotranspiración. En las plantas sin déficit hídrico hubo formación de hojas hasta el final del ciclo de vida; esto fue notorio también en la distribución tardía. La mayor fitomasa, tanto vegetativa como reproductiva, se obtuvo en el tratamiento sin restricción hídrica (Cuadro 3). Una misma cantidad de precipitación aplicada con distintas distribuciones no provocó diferencias en el desarrollo vegetativo. En cambio, las plantas con distribución tardía presenta-

ron mayor cantidad de material reproductivo que con la distribución temprana.

Durante la etapa reproductiva hubo una gran demanda evaporativa (Cuadro 2); además, dado que la maceta tenía poca profundidad, pudo haber un efecto de menor crecimiento de raíces, lo que pudo generar rápido agotamiento de la humedad del suelo luego de suprimido el aporte de agua. La distribución de precipitación también influyó en los índices reproductivos (Cuadro 4), pues hubo mayor cantidad de tejidos reproductivos en distribución tardía y menor con distribución temprana, es probable que el corto período juvenil y el crecimiento indeterminado diera como resultado más tiempo para el desarrollo reproductivo, y por ello se vio poco afectado por la sequía estival. El material vegetativo de raíces fue superior en las plantas sin restricción, y en los otros tratamientos no se observó diferencias significativas.

Cuadro 4. Índices reproductivos (relación fitomasa reproductiva/fitomasa vegetativa) y fitomasa radical (g MS maceta⁻¹) en *Erodium moschatum* sometido a simulación de distintas distribuciones de pluviometría al final del ciclo anual.

Table 4. Reproductive indexes (the relation reproductive phytomass/vegetative phytomass) and root phytomass (g MS pot⁻¹) in *Erodium moschatum* submitted to different rainfall distributions at the end of annual cycle.

Tratamiento	Índice reproductivo	Fitomasa radical (g MS maceta ⁻¹)
Sin restricción hídrica (T ₀)	1,10 a	7,4 a *
Distribución temprana (T ₁)	0,31 d	4,9 b
Distribución normal (T ₂)	0,62 c	3,1 b
Distribución tardía (T ₃)	0,81 b	2,9 b

*Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (P < 0,05).

Cuadro 5. Producción total de frutos (g) y número de inflorescencias en *Erodium moschatum* sometido a simulación de diferentes distribuciones pluviométricas.

Table 5. Total fruit production (g) and number of inflorescences in *Erodium moschatum* submitted to a simulation of different rainfall distributions.

	Producción de frutos (g)			Inflorescencias (N°)
	Pequeños	Grandes	Total	
Sin restricción hídrica (T ₀)	1,94 a	15,83 a *	17,76 a	114 a
Distribución temprana (T ₁)	1,26 a	0,66 d	1,92 c	23 d
Distribución normal (T ₂)	1,83 a	3,46 c	5,29 b	55 c
Distribución tardía (T ₃)	1,67 a	4,22 b	6,49 b	78 b

*Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (P < 0,05).

Dado que se observaron efectos del déficit hídrico en el tamaño de frutos, éstos se separaron en pequeños (< 14 mm), y grandes (> 14 mm), y se hizo lo mismo con sus semillas. Tanto la producción de frutos grandes como el número de inflorescencias fue significativamente superior en plantas sin restricción y los valores menores se presentaron con lluvias tempranas (Cuadro 5). Es importante hacer notar que no hubo diferencias en la producción de frutos pequeños, incluso comparado con el tratamiento sin restricción, esto indicaría que la primera estrategia de la planta sometida a estrés hídrico durante la etapa reproductiva, sería disminuir el tamaño de sus frutos y semillas asegurando una porción mínima de diseminulas. En la medida en que dispuso de mayor humedad, produjo mayor proporción de semillas y frutos grandes. Se observó también una disminución en la proporción de flores que llegó a formar frutos a medida que aumentó el estrés hídrico, concordando con Smith *et al.* (1998a). Esto hace pensar en la gran capacidad de *E. moschatum* para asegurar la producción de un mínimo de semillas viables, explicando así también su persistencia en la pradera.

La producción de semillas fue significativamente mayor en el tratamiento sin restricción hídrica (Figura 5), lo que podría interpretarse como que los otros tratamientos sufrieron déficit hídrico en algún momento de su ciclo de crecimiento, avalado esto por las menores evapotranspiraciones medidas (Cuadro 2). Resultados similares encontraron Smith *et al.* (1998b) en *Trifolium glomeratum* L.

A pesar que la distribución tardía y el tratamiento control tuvieron aportes de agua parecidos durante el período de formación de semillas (Cuadro 1), la producción fue diferente. En cambio, con distintos aportes de agua durante el mismo período, no se presentaron diferencias entre los tratamientos tardío y normal. Es probable que las plantas con distribución tardía, por su tamaño pequeño, cuando recuperaron el nivel hídrico destinaron inicialmente gran parte de su energía a crecimiento vegetativo y no reproductivo, esto se comprobaría al examinar el ritmo de formación de semillas (Figura 6), pues la mayor parte de esta formación fue posterior al resto. Según el calendario

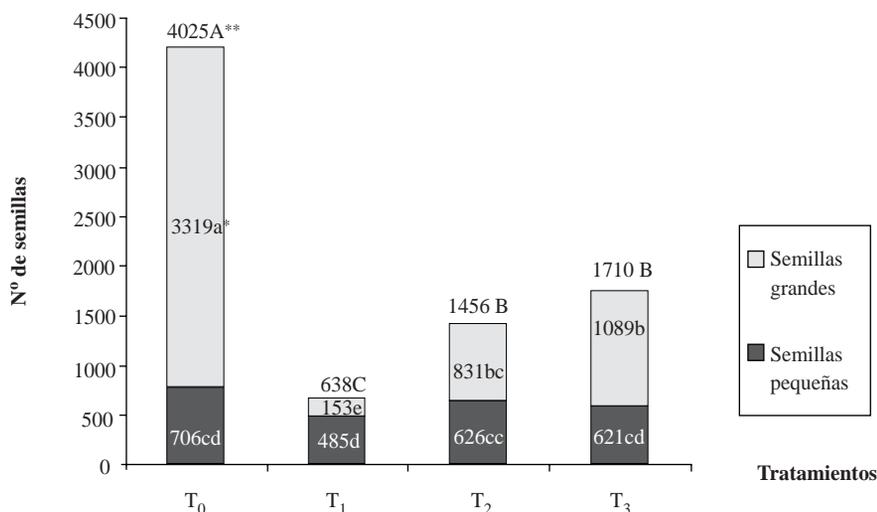


Figura 5. Número de semillas grandes y pequeñas producidas en *Erodium moschatum* con distribución temprana (T₁), normal (T₂) y tardía (T₃) de las lluvias y sin restricción hídrica (T₀).

Figure 5. Number of large and small seeds produced by *Erodium moschatum* with early (T₁), normal (T₂) and late (T₃) rainfall distributions and without water stress (T₀).

* Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas según Duncan ($P \leq 0,05$) las cantidades parciales de semillas.

**Letras mayúsculas distintas en las columnas indican diferencias significativas según Duncan ($P \leq 0,05$) en los totales de semillas.

Cuadro 6. Peso de 100 semillas (PS 100), germinación, viabilidad y relación peso semilla/peso fruto (PS/PF) en semillas de *Erodium moschatum* sometidos a simulación de tres distribuciones pluviométricas.
Table 6. Weight of 100 seeds (PS100), germination, viability and proportion seed weight/fruit weight (PS/PF) in *Erodium moschatum* seeds submitted to three simulated rainfall distributions.

Tratamientos/ Tamaño sem.	PS 100 (g)	Germinación escarificada (%)	Germinación s/escarificar (%)	Viabilidad s/escarificar (%)	PS/PF
T ₀ Pequeñas	0,111 a	100 a *	12,7 a	100 a	0,401 a
T ₀ Grandes	0,165 b	100 a	11,0 a	100 a	0,346 b
T ₁ Pequeñas	0,111 a	100 a	9,0 a	100 a	0,427 a
T ₁ Grandes	0,149 b	100 a	7,8 a	100 a	0,346 b
T ₂ Pequeñas	0,118 a	100 a	10,6 a	100 a	0,404 a
T ₂ Grandes	0,156 b	100 a	13,6 a	100 a	0,375 b
T ₃ Pequeñas	0,108 a	100 a	12,5 a	100 a	0,401 a
T ₃ Grandes	0,153 b	100 a	10,4 a	100 a	0,346 b

*Letras iguales en una misma columna indican diferencias significativas según Duncan (P < 005).

T₀: sin restricción hídrica; T₁: distribución temprana; T₂: distribución normal; y T₃: distribución tardía

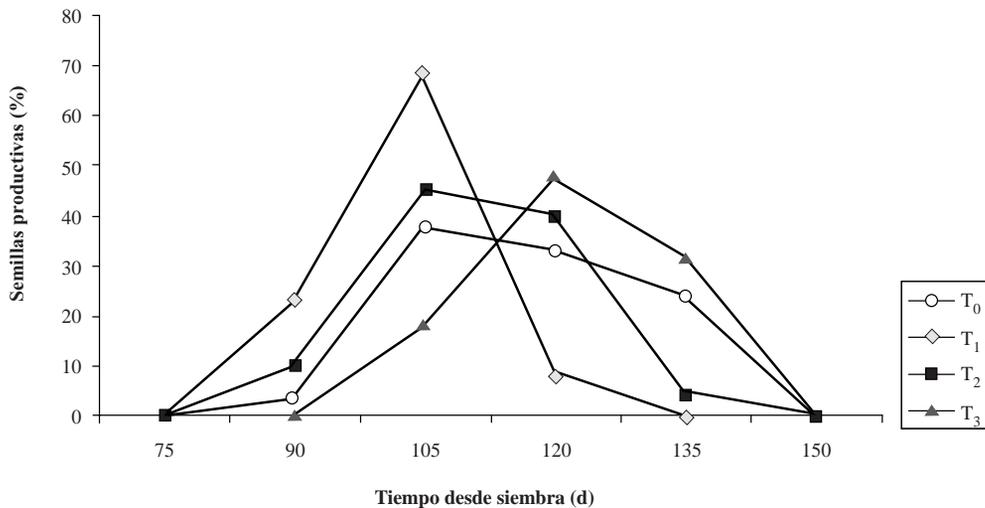


Figura 6. Ritmo de producción relativa de semillas en *Erodium moschatum* con simulación de distribución de lluvias temprana (T₁), normal (T₂), tardía (T₃), y sin restricción hídrica (T₀).

Figure 6. Rhythm of relative seed production of *Erodium moschatum* with a simulation of early (T₁), normal (T₂) and late (T₃) rainfall distributions, and without water stress (T₀).

pluviométrico (Cuadro 1), la distribución temprana tuvo aportes hasta 15 días después de iniciada la fase reproductiva, la distribución normal hasta 28 días y la distribución tardía y sin restricción hasta 59 días. Por ello se podría deducir que la diferencia en producción de semillas está dada, en

primer lugar, por la diferencia de humedad suficiente en la fase reproductiva, y en segundo término, sería determinante la magnitud de fitomasa vegetativa, pues representa una fuente de recursos para fabricarlos y/o reasignarlos.

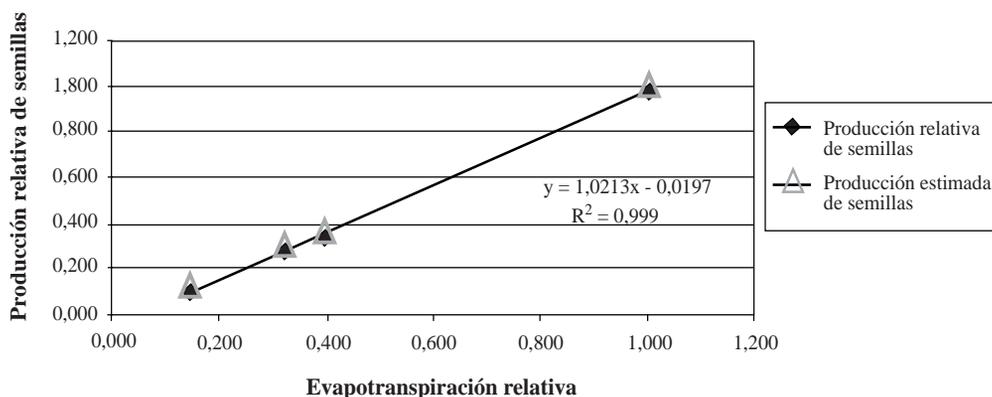


Figura 7. Relación entre la evapotranspiración relativa durante la etapa reproductiva y la producción relativa de semillas en *Erodium moschatum*.

Figure 7. Relation between the relative evapotranspiration during the reproductive stage and the relative seed production in *Erodium moschatum*.

Se pudo establecer que la distribución de precipitación y los períodos de mayor o menor déficit hídrico no influyeron en la calidad de semillas (Cuadro 6). Los valores de capacidad germinativa y viabilidad coinciden con los datos aportados por Johnston *et al.* (2003), quienes obtuvieron 100% de germinación y 100% de viabilidad en semillas escarificadas y baja germinación en semillas sin escarificar, lo que comprueba su dormancia tegumentaria.

Dado que se presentó una superposición de etapas fenológicas, éstas se separaron en dos, una vegetativa y otra reproductiva; la primera comprendió los primeros 60 días. La mayor parte de la evapotranspiración se dió en la etapa reproductiva, probablemente, debido a su corta fase juvenil y largo período reproductivo (Cuadro 2).

La regresión múltiple [$P = -0,0158 + (0,007 \times Vg) + (1,024 \times Rp)$] entre las variables Vg (crecimiento vegetativo), Rp (crecimiento reproductivo) y P (producción relativa de semillas), indicó una relación lineal entre estas variables, con un coeficiente de determinación (R^2) de 0,997.

La regresión fue significativa ($P < 0,05$) sólo para la variable Rp (1,024). Lo anterior indicaría alta relación entre la evapotranspiración relativa du-

rante la fase reproductiva y la producción relativa de semillas, mientras que la evapotranspiración durante la etapa vegetativa tendría escasa influencia en la producción de semillas en las condiciones experimentales en que se trabajó. La regresión simple entre estas dos variables indica una alta correlación (R^2 de 0,999), la función obtenida (Figura 7) muestra que la intercepción en X tiene un valor de -0,0197, indicando que la evapotranspiración en la etapa reproductiva debe superar cierto valor crítico para producir semillas. Estos resultados reflejan gran sensibilidad al déficit hídrico durante la etapa reproductiva de semillas.

CONCLUSIONES

Se puede concluir, por lo tanto, que la producción de semillas en estas condiciones experimentales está fuertemente determinada por la ocurrencia de precipitaciones durante el período reproductivo y, por ello, la distribución de la precipitación influye en la medida que determina la disponibilidad hídrica durante la fase reproductiva y particularmente durante el desarrollo y maduración de semillas, y secundariamente por determinar la magnitud de la fitomasa vegetativa que sustentará dicha producción.

LITERATURA CITADA

- Armesto, J., P. Vidiella, and J. Gutiérrez. 1993. Plant communities of the fogfree coastal desert of Chile: Plant strategies in a fluctuating environment. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 66:271-282.
- Aronson, J., J. Kigel, and A. Shmida. 1993. Reproductive allocation strategies in desert and Mediterranean population of annual plants grown with and without water stress. *Oecología (Heidelb.)* 93:336-342.
- Bolger, T., and N. Turner. 1999. Water use efficiency and water use of Mediterranean annual pastures in Southern Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 50:1035-1046.
- Bradford, K. 1994. Water stress and water relations of seed development: A critical review. *Crop Sci.* 34:1-11.
- Chapman, R., and S. Asseng. 2001. An analysis of the frequency and timing of false break events in the Mediterranean region of Western Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 52:367-376.
- Contreras, X. 1997. Influencia del régimen pluviométrico en la expresión de la reserva de semillas de la pradera anual de clima mediterráneo semiárido. 101 p. Tesis Mg. Sc. Universidad de Chile, Facultad de Ciencia Agrarias y Forestales, Santiago, Chile.
- Espigares, T., and B. Peco. 1993. Mediterranean pasture dynamics: the role of germination. *J. Vegetation Sci.* 4:198-194.
- Fenner, M. 1992. Environmental influences on seed size and composition. *Hortic. Rev.* 13:1983-209.
- Fernández, A., J. Laffarga, and F. Ortega. 1993. Strategies in Mediterranean grassland annuals in relation to stress and disturbance. *J. Vegetation Sci.* 4:313-322.
- Fischer, R., and N. Turner. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 29:277-317.
- Gutiérrez, J. 1993. The effect of water, nitrogen and human induced desertification on the structure of ephemeral plant communities of the fogfree coastal desert of Chile: Plant strategies in fluctuating environment. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 66:271-282.
- ISTA. 1976. Reglas internacionales para ensayos de semillas. 184 p. Ministerio de Agricultura, Dirección General de la Producción Agraria, Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero (ISTA), Madrid, España.
- Johnston, M., A. Olivares, y J. Laura. 2003. Producción y calidad de semillas en cuatro poaceas. Efecto de cortes con distintas frecuencias y en diversas etapas fenológicas. *Agric. Téc. (Chile)* 63:146-155.
- Lorenzetti, F. 1993. Achieving potencial herbage seed yields in species of temperate regions. p. 1621-1628. *Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Vol. 2. Palmerston North Hamilton, Lincoln, New Zeland. 8-21 February 1993.* Grassland Association (ed.), New Zealand.
- Norman, H. P. Cooks, F. Smith, and B. Nutt. 1998. Reproductive strategies in Mediterranean annual clovers: germination and hardseededness. *Aust. J. Agric. Res.* 19:473-983.
- Olivares, A., M. Johnston, y X. Contreras. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región metropolitana. *Avances Produc. Animal.* 23:35-43.
- Rice, K. 1990. Reproductive hierarchies in *Erodium*: Effects of variation in plant density and rainfall distribution. *Ecology* 71:1316-1322.
- Roldán, M., y J. Martínez. 2000. Floración y su control ambiental. p. 402-417. *In Azcon-Bieto, J. y M. Talón (eds.). Fundamentos de fisiología vegetal.* McGraw-Hill Interamericana, Madrid, España.
- Santibáñez, F., M. Silva, y A. Mansilla. 1980. Bases físicas y biológicas para la elaboración de modelos de producción primaria. 319 p. *In Silva, M. y A. Mansilla (eds.). Enfoque de sistemas en la investigación ganadera.* Universidad de Chile, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile.
- Smith, F., P. Cocks, and M. Ewing. 1998a. Seed production in cluster clover (*Trifolium glomeratum* L.). 1. Flowering time, abortion, seed size and hardseededness along branches. *Aust. J. Agric. Res.* 49:961-964.
- Smith, F., P. Cocks, and M. Ewing. 1998b. Seed production in cluster clover (*Trifolium glomeratum* L.). 2. Effect of sowing time and sowing rate on flowering time, abortion, seed size and hardseededness. *Aust. J. Agric. Res.* 49:965-971.
- Turner, N., and J. Begg. 1977. Response of pasture plants to water deficit. p. 50-66. *In J. Wilson (ed.). Plant relation in pasture.* CSIRO, Melbourne, Australia.