

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

ESCUELA DE AGRONOMIA

**EFECTO DEL MICRORELIEVE Y LA INFLUENCIA DE *Acacia caven* (Mol.)
Mol. EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PRADERA ANUAL
DE CLIMA MEDITERRÁNEO**

LUIS FELIPE PIÑA MORAGA

Santiago, Chile.
2008

UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

ESCUELA DE AGRONOMIA

**EFFECTO DEL MICRORELIEVE Y LA INFLUENCIA DE *Acacia caven* (Mol.) Mol. EN
EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PRADERA ANUAL DE CLIMA
MEDITERRÁNEO**

**EFFECT OF MICRORELIEF AND THE INFLUENCE OF *Acacia caven* (Mol.) Mol. IN
THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF ANNUAL MEDITERRANEAN
GRASSLAND**

LUIS FELIPE PIÑA MORAGA

Santiago, Chile.
2008

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ESCUELA DE AGRONOMIA

**EFFECTO DEL MICRORELIEVE Y LA INFLUENCIA DE *Acacia caven* (Mol.) Mol. EN
EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LA PRADERA ANUAL DE CLIMA
MEDITERRÁNEO**

Memoria para optar al Título
Profesional de Ingeniero Agrónomo

Mención: Producción Animal

Luis Felipe Piña Moraga

PROFESOR GUIA	CALIFICACIONES
Sr. Alfredo Olivares E. Ingeniero Agrónomo, M.Sc.	7,0
PROFESORES EVALUADORES	
Sr. Alberto Mansilla M. Profesor de Matemáticas, M.Sc.	7,0
Sr. Marcos Mora G. Ingeniero Agrónomo, Dr.	7,0

Santiago, Chile.
2008

A mis padres
A mi Polita

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente a todas las personas que ayudaron en la realización de esta Memoria y en forma muy especial:

A mi profesor guía, don Alfredo Olivares, por su apoyo e incondicional ayuda en la realización de este trabajo y por todos sus consejos para hacer de mí un mejor profesional.

A don Alberto Mansilla, por sus consejos y revisión de la parte estadística de este trabajo.

Al profesor Óscar Seguel, por su colaboración en el análisis de los datos de las muestras de suelo.

Al Departamento de Producción Animal, por todo el apoyo durante la realización de esta Memoria.

A mi novia, por su interminable paciencia y su gran aporte en la parte experimental de este trabajo.

Finalmente, a mis padres, por permitirme estudiar y por brindarme todo su apoyo y cariño en los buenos y malos momentos.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
MATERIALES Y MÉTODOS	5
Lugar del ensayo	5
Materiales.....	5
Métodos.....	5
Análisis estadístico.....	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
Humedad de suelo	10
Temperatura de suelo	13
Efecto en los estados fenológicos	18
Efecto en la composición botánica.....	21
Efecto en la producción de materia seca.....	26
CONCLUSIONES	33
LITERATURA CITADA	34
APÉNDICES.....	37

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto del microrelieve y la influencia del estrato arbóreo, en este caso constituido por *Acacia caven*, en el crecimiento y desarrollo de la pradera anual de clima mediterráneo. Este estudio se llevó a cabo en la Estación Experimental Germán Greve Silva, Rinconada de Maipú.

En una plantación de 10 años de *Acacia caven*, la cual presentaba un marco de plantación de 6 x 6 m, se ubicaron franjas de estudio. Estas franjas constituyeron los tratamientos a evaluar, los cuales fueron: sin microrelieve y sin influencia arbórea (T0), sin microrelieve y con influencia arbórea (T1), con microrelieve e influencia arbórea (T2) y con microrelieve, pero sin influencia arbórea (T3). Se midió temperatura y humedad de suelo durante el ciclo de crecimiento del pastizal. Se caracterizó el desarrollo fenológico y la composición botánica con observaciones cada 15 días. Al término del período de crecimiento de la pradera, se estimó la producción de materia seca, cortando el contenido de 3 cuadrantes de 50 x 50 cm, en cada parcela. Luego, las distintas especies fueron separadas manualmente, para determinar el aporte de cada especie al rendimiento total.

Los resultados mostraron que la humedad de suelo fue mayor en los tratamientos con cobertura arbórea. En los tratamientos con microrelieve, el contenido de agua es mayor en la zona baja de éste. Así también, se observó que en los tratamientos con cobertura arbórea, la humedad aprovechable se mantuvo sobre el punto de marchitez permanente por un mayor período de tiempo. En relación a la temperatura del suelo, se observó que los tratamientos con cobertura arbórea presentaron menores temperaturas máximas en los meses finales del crecimiento de la pradera, principalmente el tratamiento con microrelieve.

La evaluación de composición botánica mostró que el microrelieve y la influencia del estrato arbóreo permiten aumentar la proporción de especies con valor forrajero del pastizal.

La mayor producción de materia seca de la pradera se produjo en el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea, fundamentalmente por el aporte generado por la zona baja del microrelieve, la cual representa un 63,26% de la producción.

Se concluye que el microrelieve y la influencia de *Acacia caven*, actuando en forma sinérgica, modifican las características microambientales y permiten aumentar la producción de materia seca del pastizal, como también modificar la composición botánica a favor de especies de mayor valor forrajero.

Palabras clave: microambiente, humedad de suelo, temperatura de suelo, materia seca.

ABSTRACT

The main objective of this experiment was to evaluate the effect of microrelief and influence of arboreal layer, in this case formed by *Acacia caven*, in the growth and development of annual Mediterranean grassland. This study was developed in the Experimental Station Germán Greve Silva, Rinconada de Maipú.

In a 10-year *Acacia caven* plantation, which presented a cultivation frame of 6 x 6 m, were located rows of study. These rows formed the treatments, which were without microrelief and without tree influence (T0), with tree influence and without microrelief (T1), with microrelief and tree influence (T2) and with microrelief, but without tree influence (T3). Temperature and soil moisture were measured during the growth cycle of pasture. The phenological development and botanical composition were measured with observations every 15 days. At the end of the period of growth of the grassland, was estimated production of dry matter, cutting the content of 3 quadrants of 50 x 50 cm, in each plot. Then, the various species were separated manually to determine the contribution of each species to the total production.

The results showed that soil moisture was higher in treatments with tree coverage. In microrelief treatments, the water content is higher in the lowland areas of microrelief. Also, it was observed that in treatments with tree coverage, the available moisture remained at a value above the permanent wilting point by a longer period of time. In relation to the soil temperature, it was observed that treatment with tree coverage showed lower maximum temperatures in the final months of growth of the pasture, mainly the treatment with microrelief.

The evaluation of botanical composition showed that the microrelief and influence of arboreal layer allows to increase the proportion of species with forage value in the grassland.

The highest production of dry matter was obtained in the treatment with microrelief and tree influence, primarily by the contribution generated by the lower area of microrelief, which represents 63.26% of production.

It is concluded that the microrelief and influence of *Acacia caven*, acting in synergy, alter the microenvironmental characteristics and allows increased production of dry matter of the grassland, as well as modify the botanical composition in favour of higher value forage species.

Key words: microenvironment, soil moisture, soil temperature, dry matter.

INTRODUCCIÓN

La pradera anual de clima mediterráneo es una de las principales fuentes de alimentación para rumiantes menores en el secano interior de la zona central del país. Por tanto, efectuar prácticas de manejo que permitan aumentar la producción de estos pastizales, puede tener un alto impacto en la productividad de esta actividad.

El uso de la tierra se ha basado en la explotación del recurso más conocido o de mayor valor económico a corto o mediano plazo, sin preocuparse por la presencia de otros recursos ni menos de sus interacciones (Olivares, 2006).

Un importante objetivo debería ser establecer una explotación sustentable de los recursos naturales y, al mismo tiempo, lograr beneficios económicos. Al respecto, Olivares (2006) señala que el desarrollo de ecosistemas pluriestratificados hace posible incrementar la producción en la medida que se aproveche el efecto sinérgico que se crea cuando aumenta la interacción positiva en las zonas de contacto entre dos o más estratos diferentes.

Para alcanzar este objetivo se deben elaborar prácticas que sean realizables por los agricultores, de modo tal que puedan desarrollar una actividad agropecuaria que no genere daños al ecosistema.

Estudios realizados por Planchon *et al.* (2001), comprueban que, al generar microrelieve mediante labranza de suelos, aumenta la cantidad de agua acumulada en éste, en comparación a zonas que no presentan microrelieve, pero que también fueron labradas.

En relación a su efecto en la temperatura, Geiger (1965) señala que diferencias de pocos centímetros en elevación, generan diferencias significativas en las temperaturas del suelo.

Cornaglia *et al.* (2005), señalan que la humedad del suelo durante la germinación de las semillas y la emergencia determina, en gran medida, el buen establecimiento de las plantas, particularmente en el caso de gramíneas perennes de estación cálida. Esto es importante no sólo bajo condiciones áridas o semiáridas, sino también en climas húmedos, donde pueden ocurrir sequías de variable intensidad y duración.

Con respecto a la influencia arbórea, los ciclos de desarrollo de la pradera se ven afectados por la presencia o ausencia de ésta. Estudios realizados por Olivares *et al.* (1989), comprobaron que la emergencia de la pradera fue similar, pero la senescencia total se retrasó con respecto a aquella que creció sin cobertura arbórea.

Del mismo modo, las temperaturas del suelo se ven afectadas; así, en verano tienden a ser mayores hacia el límite externo de la proyección de copa. Sin embargo, en invierno y primavera tienden a mantenerse más estables bajo la proyección de copa (Cornejo y Gándara, 1980; Castillo *et al.*, 1988).

Según Ben Wu *et al.* (2001), cambios en la cobertura arbórea en pastizales semiáridos pueden alterar significativamente las pérdidas por evapotranspiración. Además, la presencia de árboles en los sistemas agrícolas influencia el ciclo hidrológico al afectar la interceptación de lluvias, el escurrimiento, la evapotranspiración y la infiltración de agua por parte del perfil del suelo (Dulormne *et al.*, 2004).

Realizar microrelieve mediante labranza del suelo en las características microambientales, acompañado de la influencia arbórea, puede significar un aporte sustancial en el crecimiento y desarrollo del pastizal, lo que permitiría que esta práctica sea considerada como una alternativa para establecer un sistema de manejo silvopastoril.

Por tanto, si se aplican estrategias adecuadas de manejo, se puede lograr una formación con potencial silvoagropecuario de importancia económica (Olivares, 2006).

Se establece como hipótesis que la presencia de microrelieve modifica positiva o negativamente la curva de crecimiento y la disponibilidad de materia seca de la pradera anual de clima mediterráneo, bajo influencia de un estrato arbóreo constituido por el espino.

El presente estudio plantea como objetivo general, cuantificar el efecto de la presencia de microrelieve en el crecimiento, producción de materia seca y desarrollo de la pradera, para utilizar estos resultados como un respaldo para elaborar una posible estrategia de manejo silvopastoril.

Como objetivos específicos, se establecen:

- a) Cuantificar el efecto del microrelieve y la presencia arbórea en el rendimiento total (Kg. M.S. há⁻¹) de la pradera.
- b) Determinar el efecto del microrelieve y la presencia arbórea en el desarrollo fenológico y la composición botánica de la pradera anual de clima mediterráneo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar del ensayo

El estudio se realizó en el área de secano, de la Estación Experimental Germán Greve Silva, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agronómicas, Rinconada de Maipú (33°29' S; 70°52' O). Los análisis de suelos fueron realizados en el laboratorio de Física de Suelos, mientras que las mediciones de materia seca fueron realizadas en el laboratorio de Manejo de Praderas, ambos pertenecientes a la Facultad.

Materiales

Para efectuar el ensayo se utilizó un sector de 1296 m² (54 m de largo; 24 m de ancho), en el cual se encuentra establecida una plantación de *Acacia caven* de 10 años de antigüedad, en un marco de plantación de 6 x 6 m. El estrato herbáceo evaluado corresponde a la pradera anual mediterránea, el cual ha permanecido sin alteraciones durante 3 años.

El suelo del ensayo, de origen coluvial con influencia aluvial, pertenece a la fase franco arenosa, delgada, bien drenada, ligeramente pedregosa, de la Serie de Suelo *Piedmont Cuesta Barriga* (Chile – Comisión Nacional de Riego, 1981), y ha sido clasificado como Typic Haploxeroll (Luzio, 1996).

El registro de temperaturas fue tomado con un datalogger LI-1000 (LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska, USA), mientras que las precipitaciones fueron registradas por dos pluviómetros ubicados en la sección de Ovejería, perteneciente a la Estación Experimental Germán Greve Silva.

Métodos

El estudio fue realizado en un período de 6 meses (mayo a octubre de 2007). Los tratamientos establecidos en el ensayo fueron:

- T0: Sin microrelieve y sin influencia arbórea.
- T1: Sin microrelieve, con influencia arbórea.
- T2: Con microrelieve e influencia arbórea.
- T3: Con microrelieve, sin influencia arbórea.

Considerando la heterogeneidad propia de un ecosistema pastoril y, dado que las situaciones que se estudiaron estaban pre-establecidas (condiciones de influencia arbórea y microrelieve) y estabilizadas, los tratamientos no fueron establecidos al azar, por lo que el ensayo se plantea como un estudio descriptivo.

En cada espacio entre las hileras de espinos, se establecieron franjas de estudio, las cuales determinaron los tratamientos a evaluar. Estas franjas fueron divididas en 10 parcelas de 4,5 x 1,95 m, las cuales constituyeron la unidad experimental. Se utilizaron 2 parcelas para tomar las muestras de suelo y 8 parcelas para las mediciones de la pradera.

Para establecer los tratamientos sin cobertura arbórea, se eliminó la mitad de la copa de los árboles, disminuyendo de este modo la capacidad de modificación del microclima que posee el espino (Figura 1).

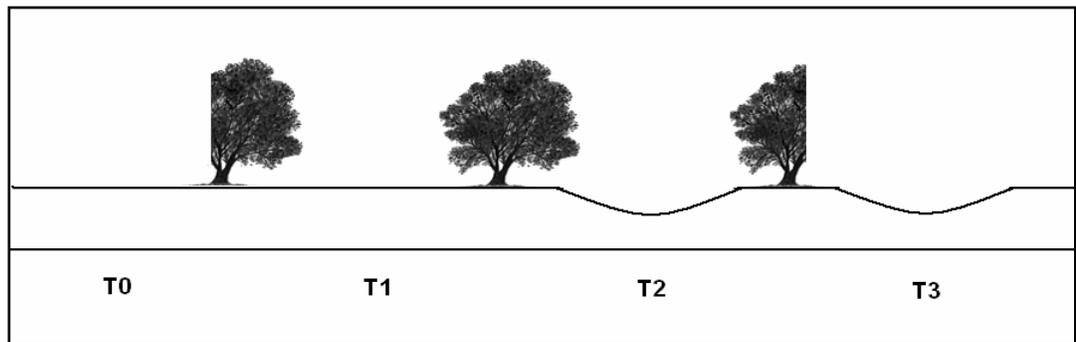


Figura 1. Representación gráfica de los tratamientos establecidos, en vista frontal a las hileras de espinos.

Las temperaturas, tanto de suelo como ambiental, fueron registradas durante una semana, cada 15 días, en el período del ensayo. Dado que el instrumento contaba con tres sensores de suelo y uno ambiental, se agruparon tres tratamientos por medición (T0-T1-T2 y T1-T2-T3), para su comparación posterior. El datalogger registró la temperatura cada treinta minutos.

La humedad fue medida como contenido de agua del suelo, a través del método gravimétrico (Gardner, 1986). Esta variable fue medida cada 30 días, tomando 8 muestras de suelo de los primeros 30 cm. del perfil en cada tratamiento, mediante una pala agrológica. Para los tratamientos con microrelieve, estas 8 muestras correspondieron a 4 muestras de suelo de la parte baja de la unidad experimental y 4 muestras de la parte alta (Figura 2). Para el caso de los tratamientos sin presencia de microrelieve, las 8 muestras fueron tomadas aleatoriamente.

En el período de máxima tasa de crecimiento de la pradera (meses de septiembre y octubre), estas mediciones se realizaron cada 15 días, con el propósito de registrar la disminución en el contenido de agua del suelo, como consecuencia del mayor crecimiento que presentó el pastizal.

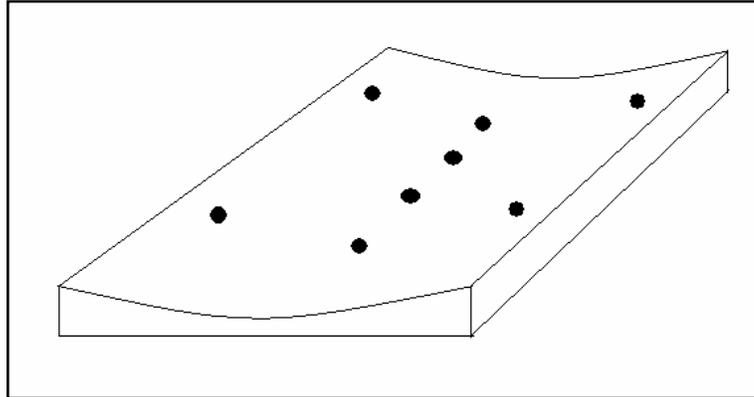


Figura 2. Representación de la metodología para coleccionar las muestras de suelo en los tratamientos que presentan microrelieve.

Para expresar estos datos como humedad aprovechable y porcentaje de capacidad de campo, se calculó la densidad aparente del suelo, mediante el método del terrón (Blake y Hartge, 1986). Los resultados de estos análisis se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente (DA), obtenidos para el suelo presente en la zona de estudio.

CC (% de agua en base a suelo seco)	PMP (% de agua en base a suelo seco)	DA (g/cm ³)
21,78	8,25	1,60

Además, se caracterizó el desarrollo fenológico de la pradera mediante observaciones cada 15 días, durante la duración del ensayo. Se consideró el inicio de la medición de cada estado fenológico cuando el 50% de la vegetación existente en la unidad experimental lo presentaba. Los estados fenológicos considerados fueron:

- Emergencia
- Estado vegetativo
- Floración
- Fructificación

Paralelamente se midió la composición botánica, estableciendo la contribución específica de presencia (CEP) de las especies más abundantes. Ambas mediciones fueron efectuadas en 3 cuadrantes de 50 x 50 cm., para cada parcela, los cuales fueron establecidos en forma aleatoria.

Para estimar la producción final de fitomasa de la pradera, se cortó el contenido de 3 cuadrantes de 50 x 50 cm., elegidos al azar en cada parcela, al término del período de crecimiento. Con el propósito de determinar el aporte de materia seca de las especies más abundantes de la pradera, se realizó una separación manual del material colectado. Estas muestras fueron secadas en una estufa con aire forzado a 65 °C, durante 48 horas.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en las mediciones fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple, para determinar la posible relación entre las variaciones que se producirían en el microrelieve (cambios de temperatura y humedad del suelo, con respecto a un sector plano), con la probable respuesta en el crecimiento y desarrollo de la pradera.

La forma general de la ecuación de este análisis de regresión múltiple es la siguiente:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Donde:

Y es la variable dependiente (rendimiento de la pradera en Kg M.S. há⁻¹).

X₁ es la variable independiente humedad de suelo (humedad aprovechable total al término del período de crecimiento del pastizal, en cm).

X₂ es la variable independiente temperatura de suelo (número de horas acumuladas sobre 4,5 °C).

a es la ordenada del punto de intersección con el eje Y.

b₁ es el coeficiente de regresión que indica la variación neta en Y por cada unidad de variación en X₁.

b₂ es el coeficiente de regresión que indica la variación neta en Y por cada unidad de variación en X₂.

Además, se construyeron curvas y gráficos con los datos obtenidos para cada tratamiento, con el propósito de describir la evolución a través del tiempo de las variables de interés y realizar una comparación entre estas.

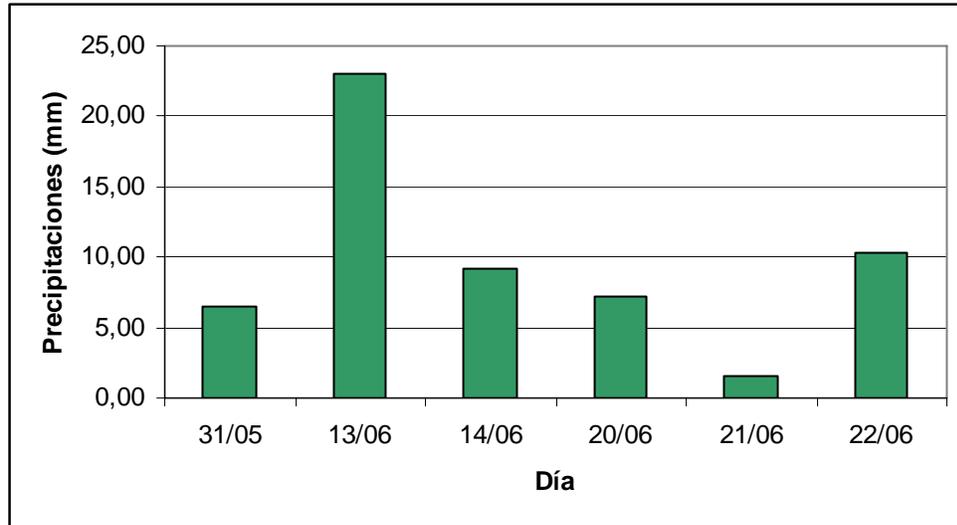


Figura 3. Precipitaciones en el período de inicio del crecimiento de la pradera.

A pesar de la alta concentración de precipitaciones en el mes de junio, la emergencia y posterior crecimiento de la pradera fue muy lento. Esta situación puede explicarse por las bajas temperaturas imperantes en los días posteriores a la ocurrencia de precipitaciones y a la disminución en la disponibilidad de oxígeno en el suelo.

Humedad de suelo

En las distintas mediciones, se observó una leve diferencia entre la humedad aprovechable del suelo de los tratamientos con cobertura arbórea, en relación a los que no presentan protección (Cuadro 3), siendo mayor en los que presentan influencia del estrato arbóreo. Al considerar el monto total, el cual se obtuvo sumando el valor de humedad aprovechable de cada medición, los tratamientos con cobertura arbórea dispusieron de 5 cm. más de agua en el perfil.

Así también, se pudo observar que la humedad aprovechable disminuyó antes en los tratamientos sin cobertura del espino. Si se consideran los valores de la última medición, los tratamientos que no poseen influencia arbórea tuvieron menos de 2 cm. de agua en el perfil, mientras que los tratamientos que poseían cobertura están por sobre los 2 cm. Esto, estaría relacionado con la disminución en el agua evapotranspirada de la pradera, cuando ésta se encuentra bajo la protección de un estrato arbóreo (Castillo *et al.*, 1990).

Cuadro 3. Humedad aprovechable en el suelo (cm) en los primeros 30 centímetros del perfil, según presencia o ausencia de microrelieve y cobertura arbórea.

Tratamiento	Fecha de muestreo					Total
	11/06	11/07	21/08	13/09	26/09	
T0	2,06	5,97	6,76	2,82	1,94	19,55
T1	2,72	7,61	8,05	3,81	2,18	24,37
T2 ZB ⁽¹⁾	2,24	8,22	7,12	3,66	2,83	24,07
T2 ZA ⁽²⁾	1,94	6,34	6,71	2,52	2,38	19,88
T3 ZB ⁽³⁾	2,07	6,90	6,45	2,89	1,64	19,95
T3 ZA ⁽⁴⁾	2,20	5,45	6,17	2,56	1,79	18,17

(1): Zona baja del microrelieve en T2; (2): zona alta del microrelieve en T2; (3): zona baja del microrelieve en T3; (4): zona alta del microrelieve en T3

Con respecto a la influencia del microrelieve en la humedad del suelo (Figura 4), el mayor efecto se produjo en el tratamiento con microrelieve y cobertura arbórea. En este tratamiento, se presentó una diferencia de un 18% entre la zona baja del microrelieve (ZB) y la zona alta (ZA). Cabe destacar que las diferencias en la humedad del suelo, entre la zona baja del microrelieve con respecto a la zona alta del microrelieve, son sólo importantes en su valor cuando las precipitaciones son superiores a 10 mm., lo que confirma el trabajo de Wilcox *et al.* (2006), quienes concluyeron que las ganancias por escurrimiento superficial son relevantes con altos montos de precipitaciones.

Si se comparan los tratamientos con influencia arbórea, se observa que la zona baja del microrelieve posee un 6% más de contenido de agua en el perfil que el tratamiento que no posee microrelieve.

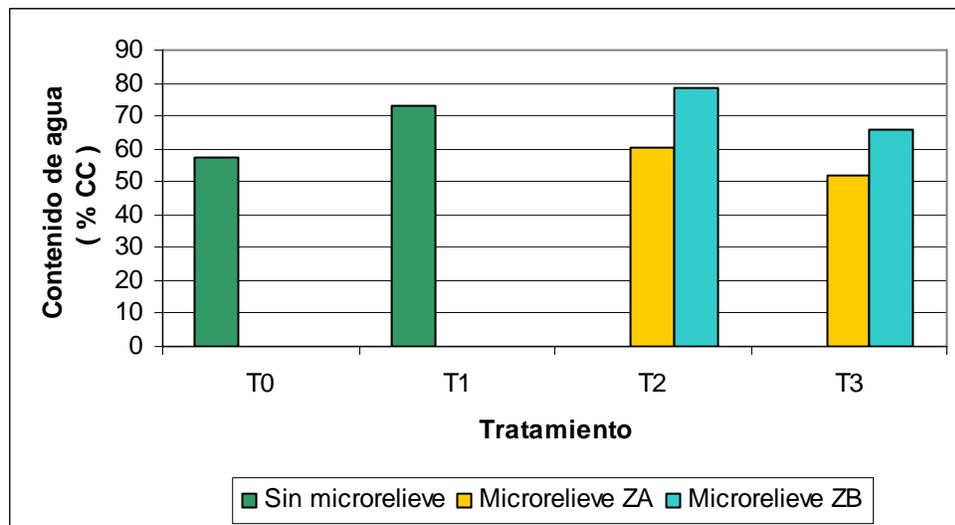


Figura 4. Humedad del suelo, expresada como porcentaje de capacidad de campo (CC), en cada tratamiento, 24 horas después de una lluvia de 10 mm.

Al graficar la cinética de pérdida de agua en el suelo (Figura 5), se observó una mayor persistencia en la curva correspondiente al tratamiento que no posee microrelieve, pero que presenta influencia arbórea (T1). Si bien es cierto que el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2 en ZB) posee una persistencia aparentemente menor, logró su mayor valor de acumulación de agua antes que los otros tratamientos, lo que permitiría, en años en donde las precipitaciones no permiten que el suelo llegue a capacidad de campo, una mayor extracción de agua por parte de la pradera, lo que se expresa en el aumento del crecimiento y de la producción de materia seca.

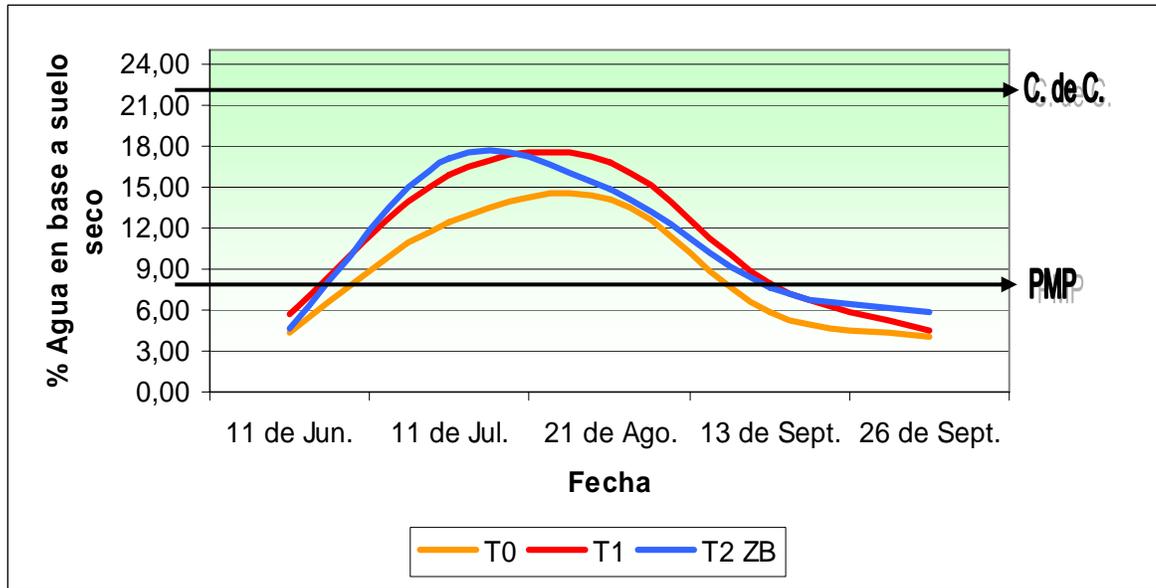


Figura 5. Curvas de persistencia de la humedad en el suelo, expresada como porcentaje de agua en base a suelo seco, con respecto al punto de marchitez permanente (PMP) y a capacidad de campo (CC).

La Figura 5 muestra que los tratamientos que poseen influencia arbórea lograron valores superiores a punto de marchitez permanente antes que el tratamiento sin cobertura y sin microrelieve. Del mismo modo, al término del período de crecimiento de la pradera, mantuvieron la humedad del suelo por sobre el PMP por un período mayor, lo que permitiría el retraso en la senescencia y, por consiguiente, un aumento en la productividad del pastizal, ya que este estado fenológico es uno de los más importantes en su regulación (Santibáñez *et al.*, 1983).

Sin embargo, la humedad del suelo descendió bajo el punto de marchitez en el mes de septiembre, independiente del tratamiento evaluado. Estos resultados son similares a los obtenidos por Olivares *et al.* (1989), quienes midieron humedad de suelo en un año lluvioso y en un año seco.

Es notorio el mayor contenido de agua que presenta el suelo, durante todo el período de crecimiento, en aquellos tratamientos que poseen cobertura arbórea. Según Ben Wu *et al.* (2001), esto estaría relacionado con el hecho de que la evaporación del suelo es mayor cuando no existe influencia de un estrato arbóreo y disminuye cuando existe cobertura arbórea, al incrementarse la modificación del microclima, debido a un aumento en la sombra y a la reducción del efecto ejercido por el viento.

Temperatura de suelo

Al inicio del período de crecimiento de la pradera, las temperaturas del suelo para cada tratamiento, no fueron marcadamente diferentes. Entre las 05:00 y las 08:00 hrs., intervalo de tiempo en donde se registraron las temperaturas ambientales mínimas en el sector del ensayo, el tratamiento que no poseía influencia arbórea ni microrelieve, superó en promedio por 1 °C a los otros tratamientos (Cuadro 4).

Entre los tratamientos que poseían microrelieve, las temperaturas fueron superiores en el tratamiento con cobertura arbórea, lo que confirma el estudio realizado por Castillo *et al.* (1988), quienes concluyeron que las temperaturas mínimas eran superiores bajo la cobertura del espino que en sectores sin protección.

Las diferencias de temperatura entre tratamientos que presentan igual condición de cobertura arbórea, pero que difieren en la presencia o ausencia de microrelieve, se explicaría porque diferencias de 10 cm. en el relieve, pueden generar cambios de entre 1 a 1,5 °C entre ambas zonas, siendo la zona baja del micro o macrorelieve la que presentará la temperatura menor (Geiger, 1965).

A esto se suma el mayor contenido de agua que presenta la zona baja del microrelieve, lo que generaría un descenso en las temperaturas.

Cuadro 4. Temperatura promedio del suelo (°C) para dos semanas del mes de junio, en relación a presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea, en dos intervalos de tiempo.

Hora del día	Tratamientos							
	T0	T1	T2	Ambiental	T1	T2	T3	Ambiental
5:00	5,7	4,7	4,5	2,1	3,3	2,4	2,2	0,1
5:30	5,6	4,6	4,4	2,1	3,3	2,4	2,2	0,0
6:00	5,5	4,5	4,3	1,7	3,2	2,4	2,2	-0,2
6:30	5,4	4,4	4,2	1,4	3,2	2,3	2,1	-0,4
7:00	5,3	4,4	4,1	1,0	3,1	2,3	2,1	-0,7
7:30	5,2	4,3	4,0	0,9	3,1	2,3	2,1	-0,9
8:00	5,1	4,2	3,9	1,2	3,0	2,3	2,0	-0,8
12:00	8,6	6,6	6,1	10,5	6,2	5,7	5,5	6,7
12:30	9,4	7,1	7,0	10,9	6,6	6,9	6,0	7,7
13:00	10,3	7,6	7,7	12,1	7,0	8,0	7,2	10,1
13:30	11,1	8,1	8,7	12,9	8,3	8,9	8,2	11,3
14:00	11,8	8,7	9,5	13,2	9,5	9,4	8,9	11,8
14:30	12,1	9,3	10,0	13,0	10,5	8,9	9,6	13,2
15:00	12,3	9,8	10,2	13,2	10,3	8,4	10,0	13,4
15:30	12,3	9,9	10,1	13,6	9,5	8,2	9,5	12,5
16:00	12,2	9,8	9,9	12,8	8,9	8,1	8,8	10,4
16:30	11,9	9,7	9,7	11,5	8,4	7,6	8,1	8,1
17:00	11,5	9,5	9,5	10,5	7,9	7,0	7,3	7,2

Al analizar el intervalo entre las 12:00 y las 17:00 hrs. (Cuadro 4), el cual corresponde al período de temperaturas máximas dentro del mes analizado, se observa que el tratamiento que no posee influencia arbórea y microrelieve (T0) presentó, en promedio, una temperatura superior en 2 a 3 °C. Estos resultados indican que este tratamiento podría presentar mayores pérdidas de humedad en el suelo, por evaporación y transpiración del estrato herbáceo, especialmente en caso de precipitaciones de bajo monto.

Según Scholes y Archer (1997), a pesar de que la temperatura y la transpiración de las hojas de los árboles pueda ser elevada, la temperatura bajo la canopia y en el suelo se ve reducida, principalmente por efecto de la sombra que proyecta el estrato arbóreo sobre el estrato herbáceo, lo que puede llegar a ser muy importante en la germinación de las semillas y en el establecimiento de las plantas.

Al término del período de crecimiento y desarrollo del pastizal (septiembre), la situación fue similar a la observada en el mes de junio, pues en el intervalo de tiempo analizado, las temperaturas fueron inferiores en los tratamientos que presentan cobertura arbórea (Cuadro 5).

Sin embargo, las temperaturas mínimas las presentó el tratamiento que no posee microrelieve, lo que se explicaría por la mayor disminución en la temperatura del suelo durante la noche, mientras que los tratamientos que presentan microrelieve mantienen una temperatura más estable. Este efecto proviene del hecho que los suelos que poseen mayor humedad demoran un tiempo mayor en ganar temperatura, pero las pérdidas de calor son más lentas que en suelos con menores contenidos de humedad (Geiger, 1965).

Cuadro 5. Temperatura promedio del suelo (°C) para una semana del mes de septiembre.

Hora del día	Tratamientos			
	T1	T2	T3	Ambiental
5:00	6,8	7,3	8,9	3,3
5:30	6,6	7,1	8,7	3,3
6:00	6,4	7,0	8,6	3,3
6:30	6,2	6,8	8,4	3,0
7:00	6,2	6,8	8,3	3,2
7:30	6,4	7,0	8,3	4,1
8:00	7,2	7,6	8,6	5,9

Si se analizan las temperaturas máximas durante el mes de septiembre (Figura 6), el tratamiento que posee microrelieve e influencia arbórea presenta las temperaturas máximas más bajas, alcanzando valores entre 19,3 y 19,7 °C., las cuales son, en promedio, 3,6 y 1,7 °C menores que las temperaturas del tratamiento con cobertura arbórea y sin microrelieve y del tratamiento sin cobertura arbórea, pero que presenta microrelieve, respectivamente.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Castillo *et al.* (1988), quienes argumentan que estas diferencias se deben a la menor energía absorbida por el suelo en zonas que presentan cobertura arbórea, lo que permitiría obtener mejores condiciones para el crecimiento del estrato herbáceo bajo su influencia.

Si se considera lo planteado por Santibáñez *et al.* (1976), quienes señalan que las temperaturas de suelo óptimas para el crecimiento del estrato herbáceo son de 15 a 20 °C, el tratamiento que posee microrelieve e influencia arbórea presentaría las mejores características para la respuesta del pastizal en el período final de crecimiento.

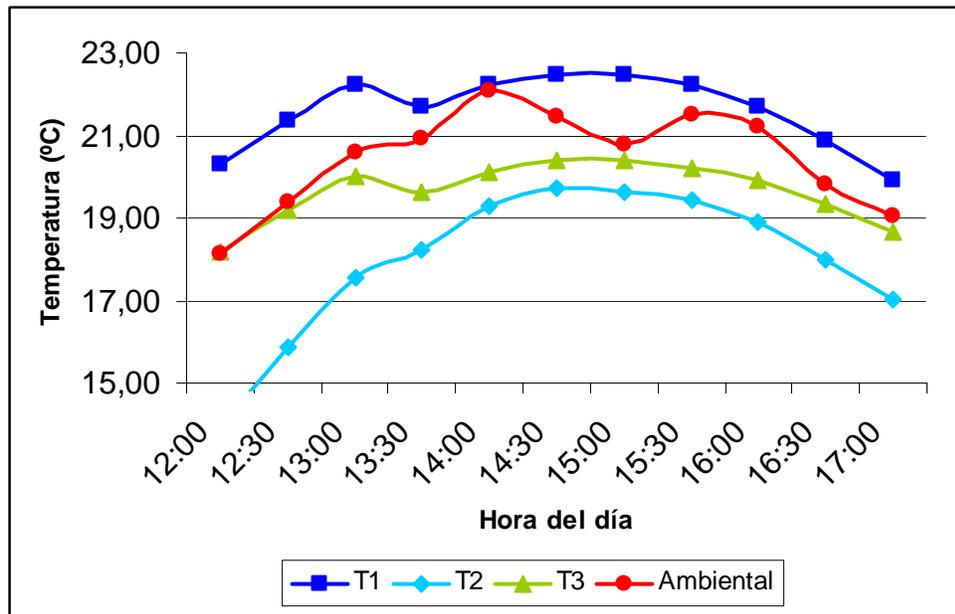


Figura 6. Temperatura promedio del suelo (°C) para una semana del mes de septiembre.

Las últimas mediciones realizadas en el sector del ensayo, durante el mes de octubre, mostraron que las temperaturas del tratamiento sin microrelieve y sin influencia arbórea, superaron los 37 °C en el intervalo de 12:00 a 17:00 hrs., mientras que los tratamientos que poseían cobertura arbórea, alcanzaron máximas de 33 °C.

Según el estudio desarrollado por Ramírez (1992), la temperatura es un factor relevante en la germinación de las especies que componen la pradera anual mediterránea. En ese estudio, se observó que las especies de la familia Poaceae (gramíneas) poseen umbrales de temperatura más altos que especies de la familia Geraniaceae (geraniáceas) para su germinación. Dado esto, resulta importante analizar distintos umbrales de temperaturas obtenidos en los tratamientos.

No se observaron diferencias en el número de horas acumuladas sobre 0 °C en el suelo, al igual que las temperaturas bajo 0 °C (Figuras 7 y 8).

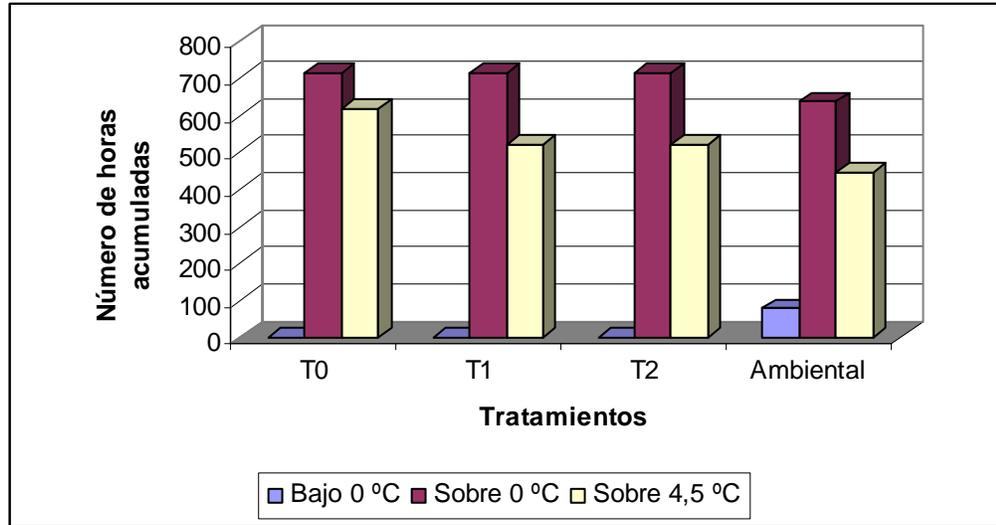


Figura 7. Horas acumuladas bajo 0 °C, sobre 0 °C y 4,5 °C registradas en el suelo, durante todo el período de crecimiento de la pradera, en los tratamientos T0, T1 y T2.

Cabe destacar que durante la ocurrencia de una helada durante el mes de julio, la cual alcanzó una mínima de $-4,61$ °C, el tratamiento que posee influencia arbórea, pero que no presenta microrelieve, alcanzó una temperatura de $-0,09$ °C en el suelo.

Dentro de los umbrales considerados, está el de 4,5 °C, ya que correspondería a una temperatura umbral media para todo el ciclo de desarrollo de este tipo de praderas (Silva *et al.*, 1992). Si se analiza este umbral (Figura 7), se observa que el tratamiento que no posee microrelieve ni influencia arbórea, posee un mayor número de horas acumuladas sobre 4,5 °C, superando en 97 y 95 horas a los tratamientos T1 y T2, respectivamente.

Dado que esta característica es especialmente relevante en los meses en que la pradera inicia su período de crecimiento, este tratamiento presentaría mejores condiciones para la germinación y emergencia del pastizal.

Las diferencias son casi inexistentes para los tratamientos que presentan influencia del estrato arbóreo y para el tratamiento que no posee cobertura arbórea, pero que presenta microrelieve (Figura 8). De este modo, los factores presencia arbórea y microrelieve estarían influyendo en la acumulación de horas sobre un umbral de 4,5 °C, no actuando en forma sinérgica cuando se encuentran combinados.

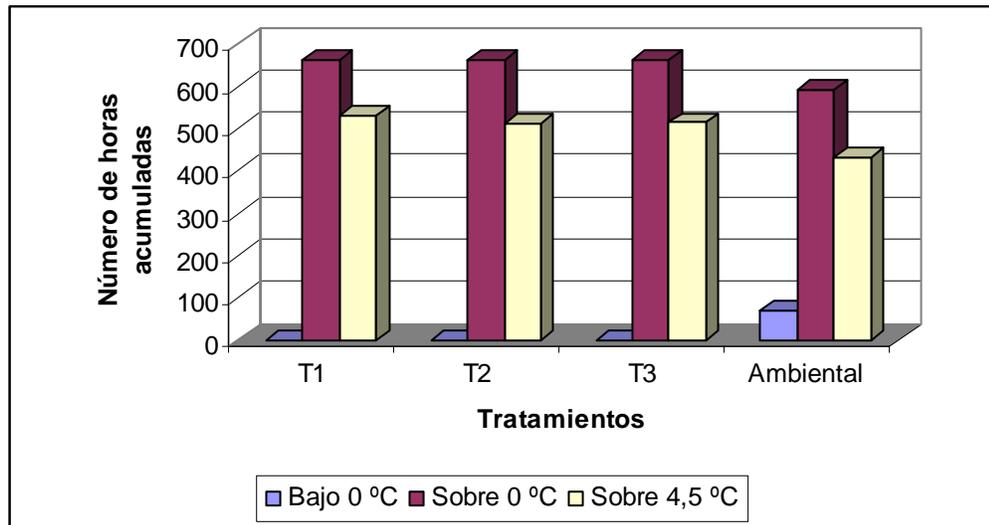


Figura 8. Horas acumuladas bajo 0 °C, sobre 0 °C y 4,5 °C, durante todo el período de crecimiento de la pradera, en los tratamientos T1, T2 y T3.

Efecto en los estados fenológicos

El inicio del período de crecimiento del pastizal fue el día 26 de junio, 13 días después que la ocurrencia de la primera lluvia efectiva, siendo las parcelas del tratamiento que no poseía microrelieve ni influencia arbórea las primeras en mostrar emergencia. A pesar de que este tratamiento tenía menor disponibilidad de agua en el perfil, la temperatura era mayor que en los otros tratamientos (Cuadro 4), lo que habría favorecido la germinación y posterior emergencia de las especies que componen la pradera (Cornejo y Gándara, 1980).

Según Olivares *et al.* (1999), la temperatura y el agua son los factores que tienen mayor incidencia en el proceso germinativo, ya que la combinación entre ambos permite la reactivación de los procesos metabólicos que posibilitan la germinación.

Las primeras plántulas en emerger correspondieron a especies de la familia Geraniaceae y, en menor medida, algunas especies de la familia Poaceae (gramíneas), lo que concuerda con diversos estudios realizados en la misma zona del ensayo (Olivares *et al.*, 1982; Silva *et al.*, 1992).

El resto de los tratamientos mostraron emergencias más tardías (Cuadro 6).

Cuadro 6. Días de desfase entre la emergencia del primer tratamiento y el resto de los tratamientos.

Tratamientos	Días de desfase	Días totales del ciclo de crecimiento
T0	0	106
T1	11	102
T2	11	108
T3	54	59

La gran diferencia existente en el inicio de la emergencia del tratamiento con microrelieve, pero sin influencia arbórea (T3) podría explicarse por la acción conjunta de menores temperaturas en el suelo durante la fase inicial del ciclo de crecimiento (Cuadro 4) y un menor contenido de agua en el perfil del suelo (Cuadro 3).

Según Olivares *et al.* (1997), el contenido mínimo de humedad del suelo requerido para que se inicie el proceso de emergencia, en las especies con valor forrajero de la pradera anual de clima mediterráneo, sería del orden de 15% a base del peso seco; lo cual estaría en relación con los resultados obtenidos.

Similares resultados obtuvieron Cornaglia *et al.* (2005), al someter a estrés hídrico semillas de *Paspalum dilatatum*, una poácea de pastizales templados húmedos.

Dadas las bajas temperaturas medidas en el sector del ensayo, el período de emergencia fue muy prolongado (Figura 9), teniendo la mayor duración en el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2), con 42 días.

El tratamiento con microrelieve, pero sin influencia arbórea (T3) tuvo el menor período de emergencia ya que, al iniciar su ciclo en forma tardía dentro de la temporada, coincidió con el aumento en la temperatura ambiental, lo que generó un rápido paso entre el estado fenológico de emergencia y estado vegetativo.

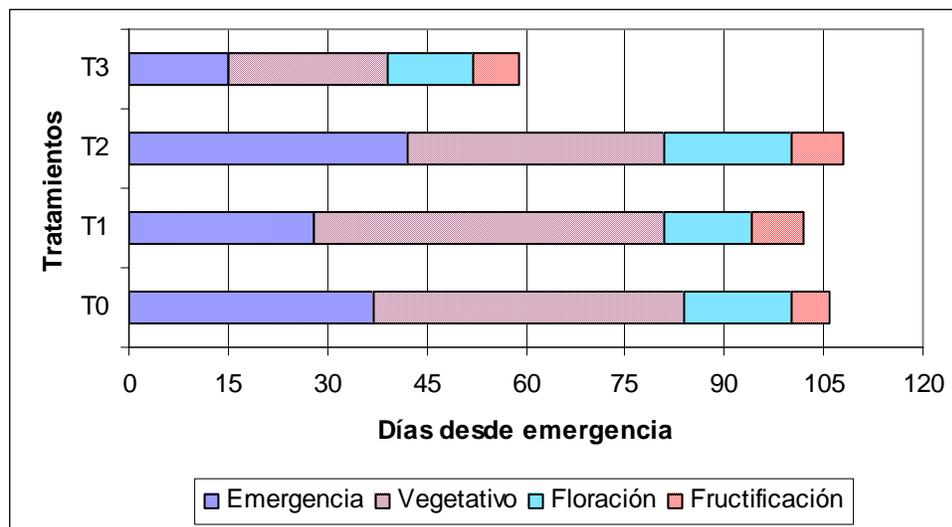


Figura 9. Duración de los estados fenológicos, según presencia o ausencia de cobertura arbórea y microrelieve.

La duración del estado vegetativo fue similar para los tratamientos T0 y T1, con 47 y 53 días, respectivamente. El tratamiento con microrelieve e influencia arbórea presentó estado vegetativo durante 39 días, lo que estaría relacionado con la prolongación de la emergencia.

En relación a la fenología de las praderas anuales de zonas mediterráneas, Santibáñez *et al.* (1983) señalan que está regulada por la disponibilidad de agua, que determina el inicio del ciclo, la temperatura, que regula la velocidad de desarrollo durante la fase de crecimiento, y el efecto combinado de temperatura y humedad hacia el fin del ciclo.

Al analizar el término del período de crecimiento del pastizal (Figura 9), se observa que el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2) presenta una mayor duración en los estados de floración y fructificación, lo que permitiría una mayor acumulación de materia seca, al prolongar el ciclo y retrasar la senescencia.

En todos los tratamientos evaluados, las primeras especies en iniciar su periodo de fructificación y posterior senescencia fueron las de la familia Geraniaceae, lo que concuerda con Olivares *et al.* (1982).

Se esperaba que las diferencias en el inicio de la senescencia fueran más marcadas entre los tratamientos, pero dadas las características del año en el cual se realizó el estudio (altas temperaturas ambientales en primavera y bajas montos de precipitaciones invernales), el término del ciclo de crecimiento fue muy abrupto.

Efecto en la composición botánica

Al analizar la Figura 10, la cual refleja la primera medición realizada en la pradera, se observa que en el tratamiento que no presentaba microrelieve ni influencia del estrato arbóreo (T0), existe una clara dominancia de especies de la familia Geraniaceae con un 66%, mientras que las poáceas (gramíneas) corresponden a un 34%. De este modo, las geraniáceas son las primeras especies en germinar y emerger en este tipo de praderas, lo que concuerda con lo señalado por Olivares *et al.* (1982).

Según McCown y Williams (1968), el mayor desarrollo inicial de las raíces y un mayor tamaño en sus cotiledones, le permite a especies del género *Erodium* competir de mejor manera en el inicio del ciclo del pastizal.

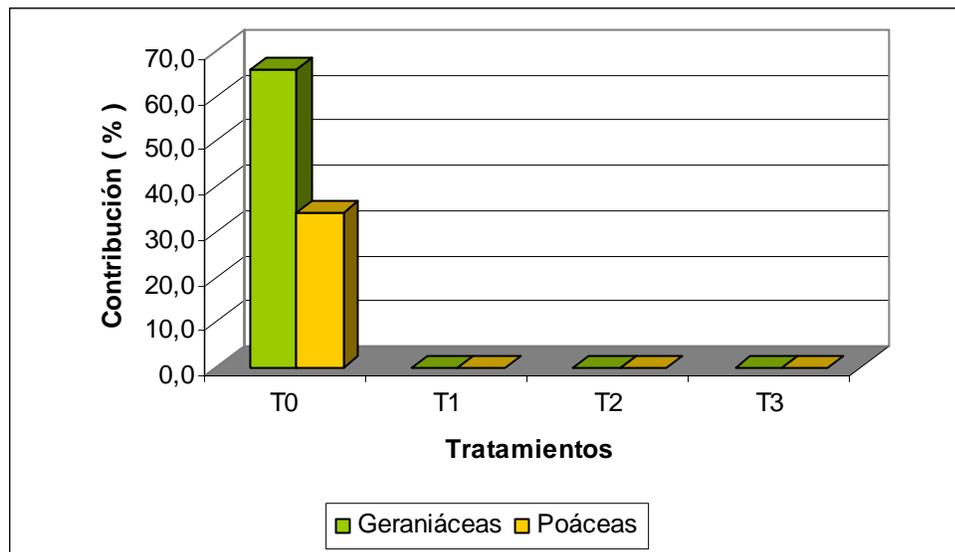


Figura 10. Composición botánica del pastizal, evaluada el día 26 de junio.

Una vez que fue factible realizar la diferenciación por especies, se pudo advertir que el pastizal presentó gran cantidad de especies de escaso o nulo valor forrajero, dentro de las cuales se encuentran *Amsinckia calycina*, *Rhapanus sativus*, *Eschscholtzia californica* y *Plagiobothrys fulvus*. Según Olivares y Gastó (1971), en etapas sucesionales inmediatamente posteriores a una aradura, este tipo de praderas presenta un alto porcentaje de especies de las familias Boraginaceae y Brassicaceae, las cuales poseen un bajo potencial para ser consumidas por animales de interés económico, en desmedro de especies de buen valor forrajero.

La dinámica que presentó el pastizal, con respecto a su composición botánica, en los primeros meses de crecimiento (Figura 11), muestra que el tratamiento sin microrelieve y sin influencia arbórea (T0) presentó un mayor porcentaje de especies prístinas invasoras, dentro de las cuales dominan *Amsinckia calycina* y *Plagiobothrys fulvus* (clasificadas como otras dicotiledóneas en la figura). Al comparar el porcentaje de geraniáceas, se observa que *Erodium cicutarium* presentó una contribución mayor que *Erodium botrys*, sin embargo esta última presenta estados de desarrollo más avanzados que *E. cicutarium*.

A medida que avanza el ciclo de crecimiento, el porcentaje de otras dicotiledóneas aumenta desde un 45,9% a un 69,5%, provocando la disminución de la contribución del resto de las especies, probablemente generado por competencia por luz y humedad en el suelo, lo que se agudiza en años secos (Mamolos, 2006).

El tratamiento sin microrelieve, pero que presenta influencia arbórea (T1) posee el porcentaje de contribución más alto de poáceas, en relación al resto de los tratamientos, alcanzando un 35%, para luego disminuir a un 16,1%. Según Hermosilla (1991), las poáceas que componen la pradera anual de clima mediterráneo, aumentan su contribución en la composición botánica del pastizal, cuando disminuye la radiación incidente en el estrato herbáceo. De este modo, la influencia que ejerce el estrato arbóreo, en este caso constituido por el espino, explicaría este resultado.

Al igual que en el tratamiento anterior, la contribución de otras dicotiledóneas aumenta al avanzar el ciclo de crecimiento del pastizal. Sin embargo, en este tratamiento son dominantes *Amsinckia calycina* y *Eschscholtzia californica*.

En el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2) se observó un aumento en la contribución de *E. cicutarium*, la que alcanza un 31,3% en el mes de agosto. Esta especie se encuentra, principalmente, en la zona baja del microrelieve, mostrando un gran crecimiento vegetativo.

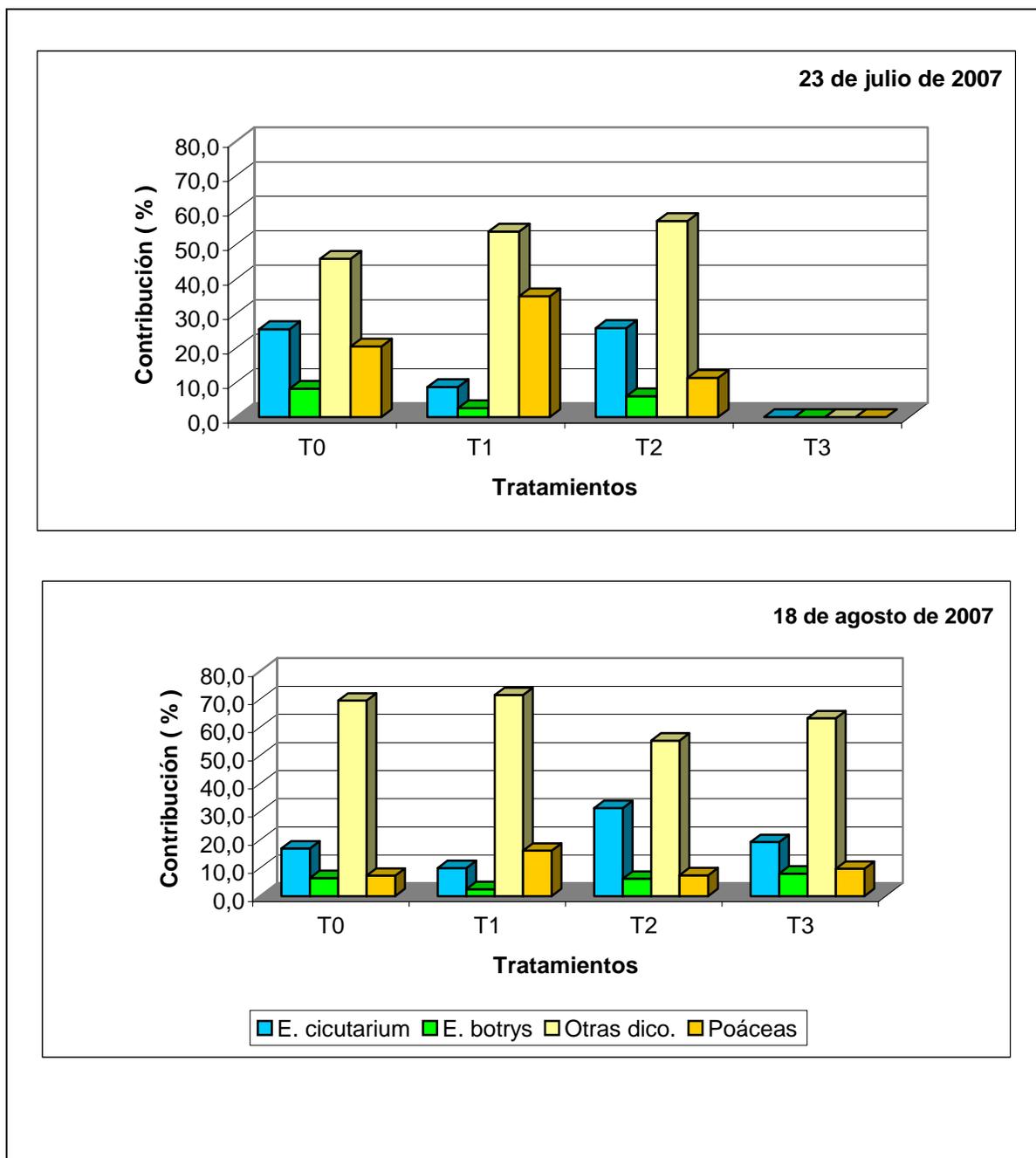


Figura 11. Composición botánica del pastizal, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea, en dos momentos del período de crecimiento.

La contribución de *E. botrys* y de las poáceas es menor que en otros tratamientos, lo que se explicaría por la dominancia de *E. cicutarium*, tanto en número de plantas como en tamaño.

En este tratamiento, el grupo de otras dicotiledóneas está compuesto por *Hypochoeris* sp., *Amsinckia calycina*, *Erodium malacoides*, *Erodium moschatum* y *Plagiobothrys fulvus*. Sin embargo, en la zona baja del microrelieve fue posible encontrar *Medicago polymorpha* y *Trifolium* sp., especies de un valor forrajero superior al promedio de especies que componen el pastizal. En el estudio realizado por Olivares y Gastó (1971), se pudo observar que en microdepresiones del terreno se encontraban frecuentemente *Trifolium subterraneum* y *Medicago polymorpha*. Los autores atribuyeron estos resultados a que estas zonas presentaban condiciones edáficas e hídricas más favorables.

El tratamiento con microrelieve, pero sin cobertura arbórea (T3) comenzó con una rápida emergencia de especies invasoras, dentro de las cuales fueron dominantes *Amsinckia calycina*, *Rhapanus sativus* y *Plagiobothrys fulvus*. Al igual que el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea, presentó un mayor número de individuos de *E. cicutarium* en la parte baja del microrelieve, caracterizándose por un crecimiento vegetativo vigoroso.

La Figura 12 refleja la composición botánica del pastizal en el período final de su crecimiento. Este período se caracterizó por un rápido ascenso en las temperaturas ambientales (Figura 6) y la carencia de precipitaciones (Cuadro2), lo que marcó severos cambios en la composición botánica de la pradera. En todos los tratamientos emergieron especies antes no observadas, como *Clarkia tenella* y *Echium vulgare*; no obstante, no fueron importantes en su contribución, por lo que no se individualizaron para su análisis.

En el tratamiento que no presenta microrelieve ni presencia de *Acacia caven* (T0), las especies dominantes fueron *Vulpia* sp., *E. cicutarium* y *Hypochoeris* sp. (Figura 12). El aumento en la contribución de *Vulpia* puede generarse por la disminución de la competencia por luz, ya que superó en altura a las especies del género *Erodium*.

Hypochoeris sp. es considerada dentro de las especies relevantes, dado que alcanza valores de contribución importantes en todos los tratamientos, aún cuando su valor forrajero es escaso (Ovalle y Squella, 1988). Para este tratamiento, alcanza valores superiores al 25%.

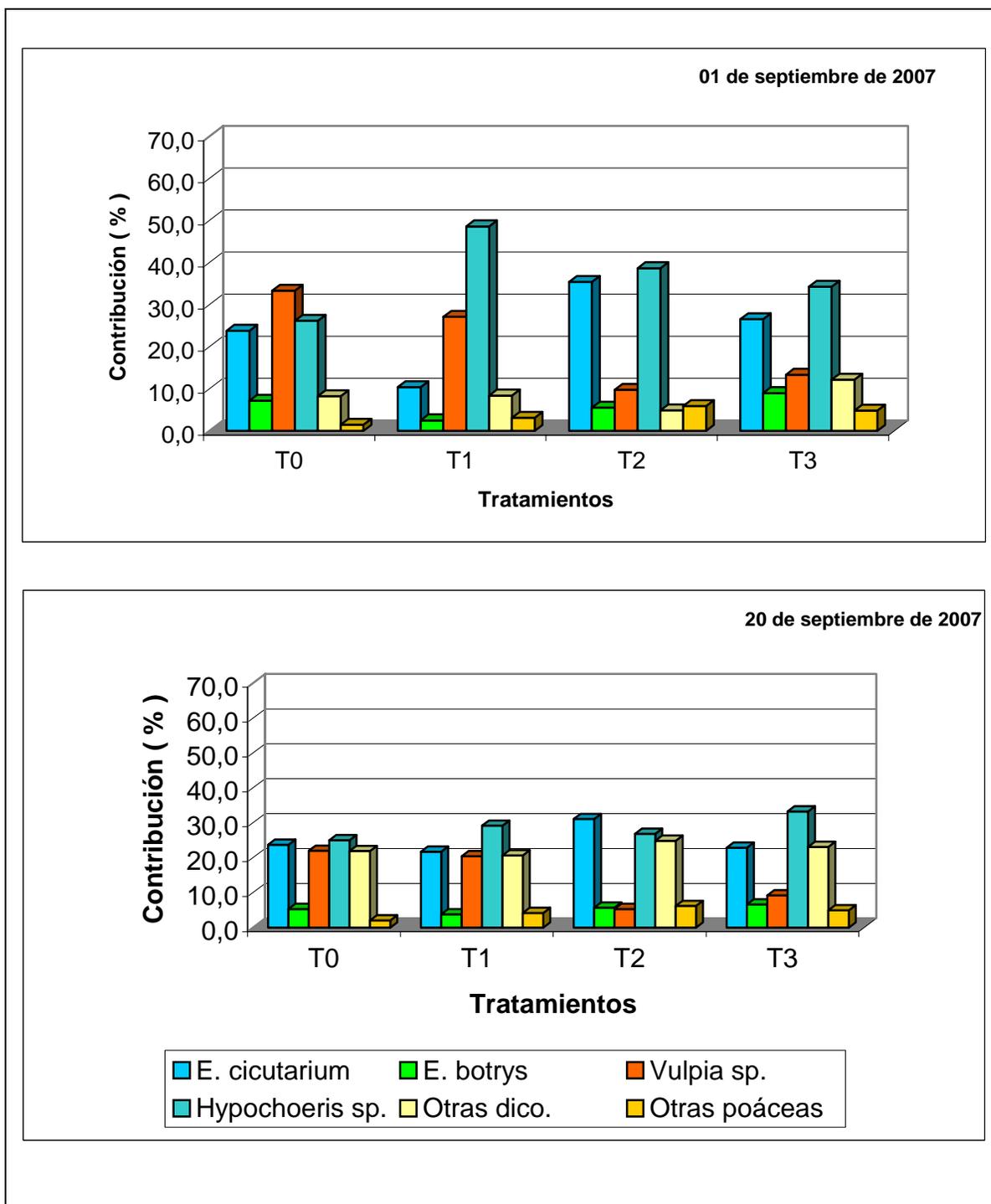


Figura 12. Composición botánica del pastizal, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea, en el período final de crecimiento del pastizal.

El tratamiento sin microrelieve, pero con influencia del estrato arbóreo (T1) presentó como especie dominante a *Hypochoeris* sp., la cual alcanzó un alto porcentaje de contribución a comienzos del mes de septiembre (48,6%), disminuyendo en importancia hacia el fin del ciclo de crecimiento del pastizal (29,2%). Esta especie aumentaría su contribución en lugares disturbados, principalmente por acción de labranza de suelos (Stylinski y Allen, 1999).

El tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2) alcanzó los más altos valores de contribución de la especie *Erodium cicutarium*, superando el 30% de la CEP. En un ensayo realizado en el desierto de Mojave, en Estados Unidos (Brooks y Berry, 2006), se comprobó que *Erodium cicutarium* dominaba en la composición botánica del pastizal cuando las precipitaciones anuales eran bajas, lo que podría explicar estos resultados.

El grupo de otras gramíneas, el cual representa un 6,2% en la última etapa del ciclo de crecimiento de la pradera, presentó como especie principal a *Hordeum murinum*, la cual posee alta tolerancia a condiciones hídricas desfavorables para su emergencia (Olivares *et al.*, 1997).

El tratamiento con microrelieve y sin cobertura arbórea (T3) posee como especie dominante a *Hypochoeris* sp., especie que presenta mayor crecimiento en comparación con los tratamientos anteriores.

Efecto en la producción de materia seca

La mayor producción de materia seca se obtuvo en el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2), con un rendimiento de 1.274,80 Kg. M.S. há⁻¹ en total (Figura 13). Cabe destacar que este valor incluye la totalidad de especies que presentó el pastizal.

Sin embargo, al desglosar el aporte de materia seca según posición en el microrelieve, se observó que un 63,26% corresponde a la producción generada por la zona baja del microrelieve (806,18 Kg. M.S. há⁻¹), mientras que la parte alta del microrelieve aportó con el 36,74% (468,61 Kg. M.S. há⁻¹).

El tratamiento sin microrelieve, pero con influencia del estrato arbóreo (T1) obtuvo la segunda mayor producción, con 1111,82 Kg. M.S. há⁻¹. De este modo, se corroboran los resultados de Castillo *et al.* (1990), quienes observaron que la producción de materia seca bajo la proyección de copa del espino es superior, en comparación al pastizal fuera de su influencia.

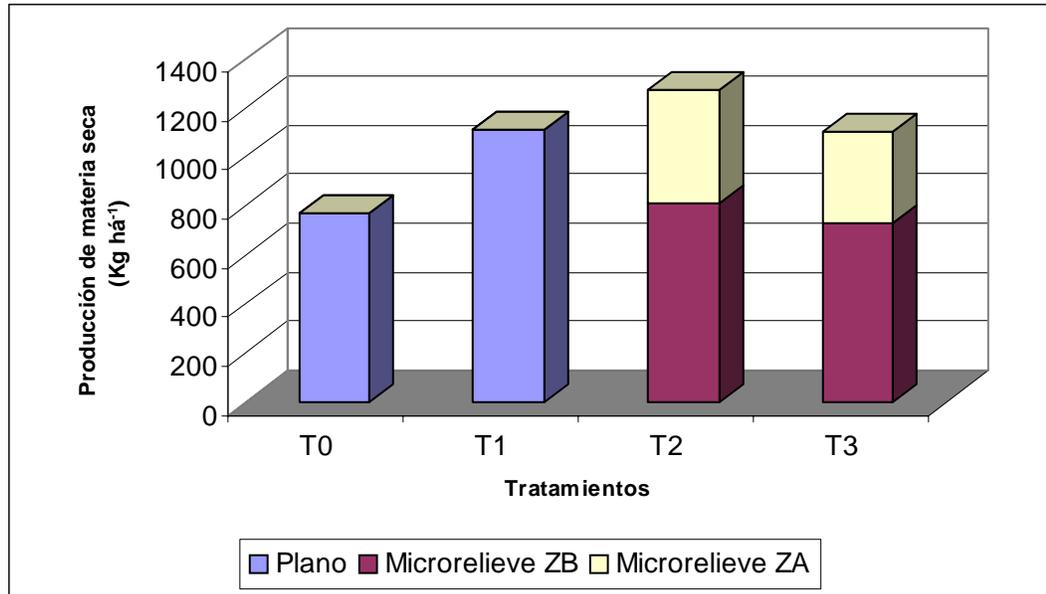


Figura 13. Producción total de materia seca del pastizal, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Según Bartholomew y Williams (2006), contenidos de agua en el suelo bajo el 15% en base a peso seco (expresados como contenido volumétrico), disminuyen la tasa de aparición de hojas nuevas en *Lolium multiflorum* y *Festuca arundinacea*. Así, en los tratamientos que poseen mejores condiciones de humedad en el suelo, la respuesta del pastizal, desde el punto de vista de acumulación de materia seca, sería mayor.

De este modo, el microrelieve actuaría en forma sinérgica con el estrato arbóreo, produciendo una respuesta en el pastizal que permitiría obtener mayores producciones de materia seca, en comparación a un pastizal sin cobertura.

Si se detalla el aporte de materia seca de las especies más abundantes de la pradera (Figuras 14 y 15), se observa que ambas especies del género *Erodium* presentaron su mayor contribución en la parte baja del microrelieve, en el tratamiento que también posee cobertura arbórea (T2). Esto estaría relacionado con que estas especies, en particular *Erodium cicutarium*, poseen mejor adaptación a zonas microdepressionales (Olivares y Gastó, 1971) y además, producen una mayor cantidad de materia seca en lugares que presentan protección de un estrato superior (Brooks y Berry, 2006).

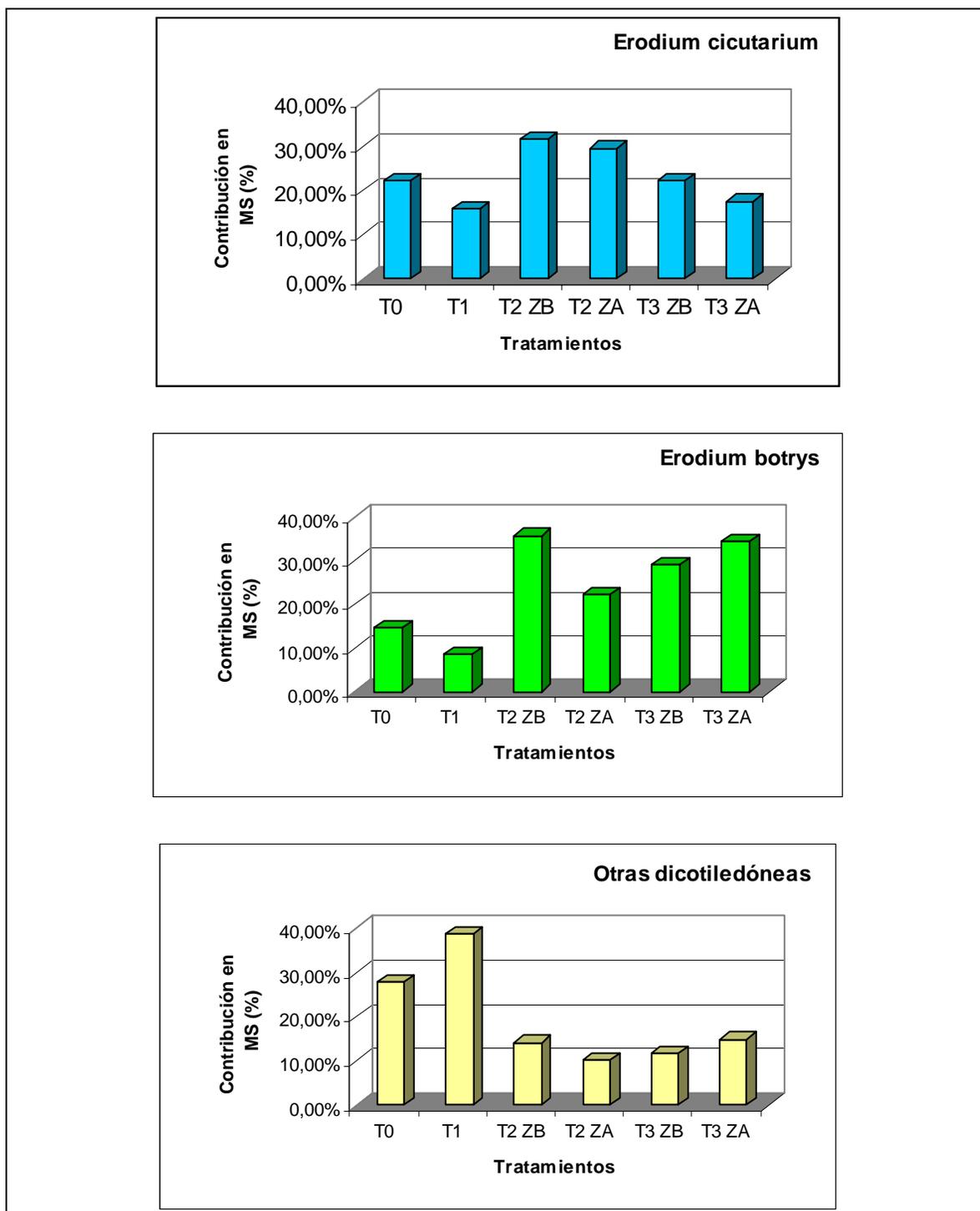


Figura 14. Contribución de materia seca (M.S.) de algunas especies y grupos de la pradera, con respecto al total, en relación a presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

El porcentaje de contribución de otras dicotiledóneas fue mayor en el tratamiento con cobertura arbórea, pero sin microrelieve (T1), lo que indicaría un mayor crecimiento de especies con bajo o nulo valor forrajero, en desmedro de las especies con buen valor forrajero. Según Mamolos (2006), en años secos se producen cortos períodos de crecimiento del pastizal, lo que genera una separación de tiempo menor en el desarrollo de las raíces de las distintas especies, provocando una competencia más intensa por obtener los recursos del suelo.

Con respecto al aporte generado por el grupo otras poáceas (Figura 15), se confirma lo señalado anteriormente, en relación a que estas especies presentan un mejor crecimiento y desarrollo cuando se encuentran bajo la protección de un estrato arbóreo. Así, se puede observar que la mayor producción de materia seca de este grupo, se produce en el tratamiento con cobertura arbórea, pero sin microrelieve (T1).

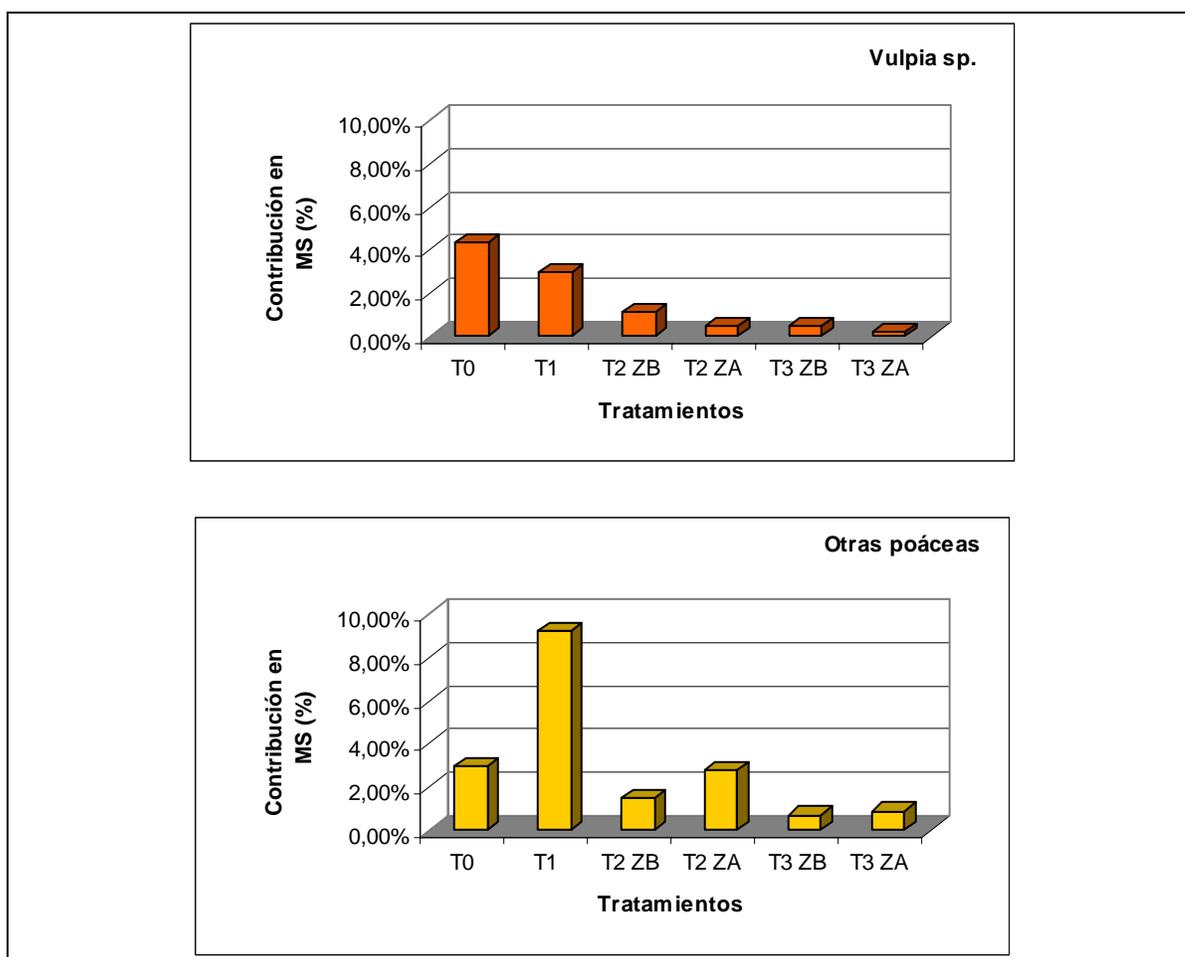


Figura 15. Contribución de materia seca (M.S.) de algunas especies y grupos de la pradera, con respecto al total, en relación a presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Al analizar el contenido de material senescente (Figura 16), se observa que la mayor contribución la poseen las zonas con más bajos contenidos de humedad (ver Cuadro 3). Esto podría indicar que el pastizal, en esas zonas, puede poseer menor palatabilidad, lo que podría restringir el consumo por parte de los animales.

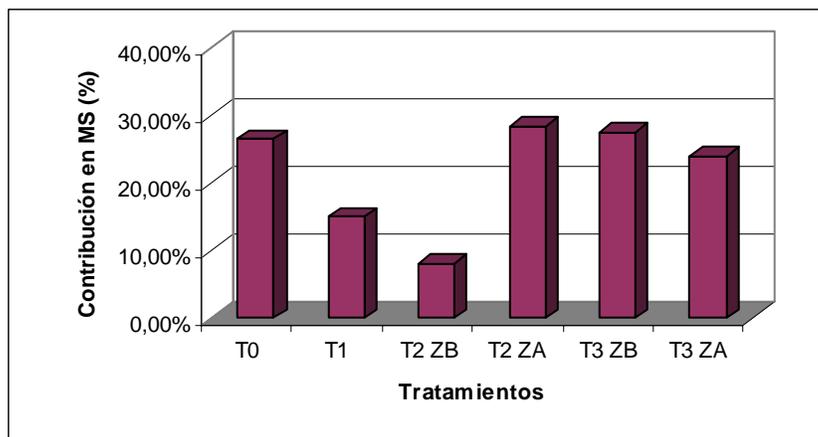


Figura 16. Contribución de materia seca (M.S.) del material senescente, con respecto al total, en relación a presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Si sólo es considerado el aporte de materia seca que realizan las especies con valor forrajero conocido presentes en la pradera (Figura 17), se observa que las diferencias entre el tratamiento con microrelieve e influencia arbórea (T2) y el resto de los tratamientos aumenta. Este tratamiento presentó una producción de 951,88 Kg. M.S. há⁻¹ en total, seguido por el tratamiento con microrelieve, pero sin cobertura arbórea (T3) con 682,69 Kg. M.S. há⁻¹.

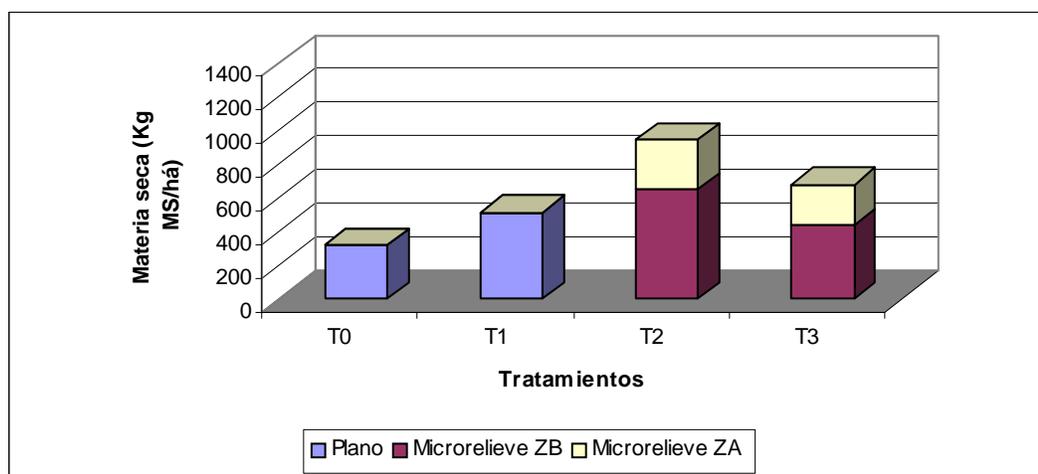


Figura 17. Producción de materia seca (M.S.) de la pradera, sólo considerando especies con valor forrajero, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Al separar la producción de ambas partes del microrelieve, se observa que en ambos tratamientos que lo presentan, la producción se concentra en la zona baja del microrelieve, superando el 60% de la contribución (Figura 17).

Cabe destacar la baja producción de materia seca que fue medida en el tratamiento sin microrelieve y sin influencia arbórea (T0), la que alcanza un valor de 323,77 Kg. M.S. há⁻¹, si sólo es considerado el aporte de las especies con valor forrajero.

Si se grafica la relación existente entre la producción de materia seca de las especies con valor forrajero, en relación al total obtenido (Figura 18), se observa que el mayor porcentaje se obtuvo en los tratamientos con microrelieve, principalmente el que posee cobertura arbórea (T2), en donde la zona baja del microrelieve presenta un 77,62%.

Los tratamientos que no poseen microrelieve no sobrepasan el 50% de contribución de las especies con valor forrajero, lo que estaría dado por el alto porcentaje de especies prístinas invasoras que presentaron (ver Figuras 11 y 12).

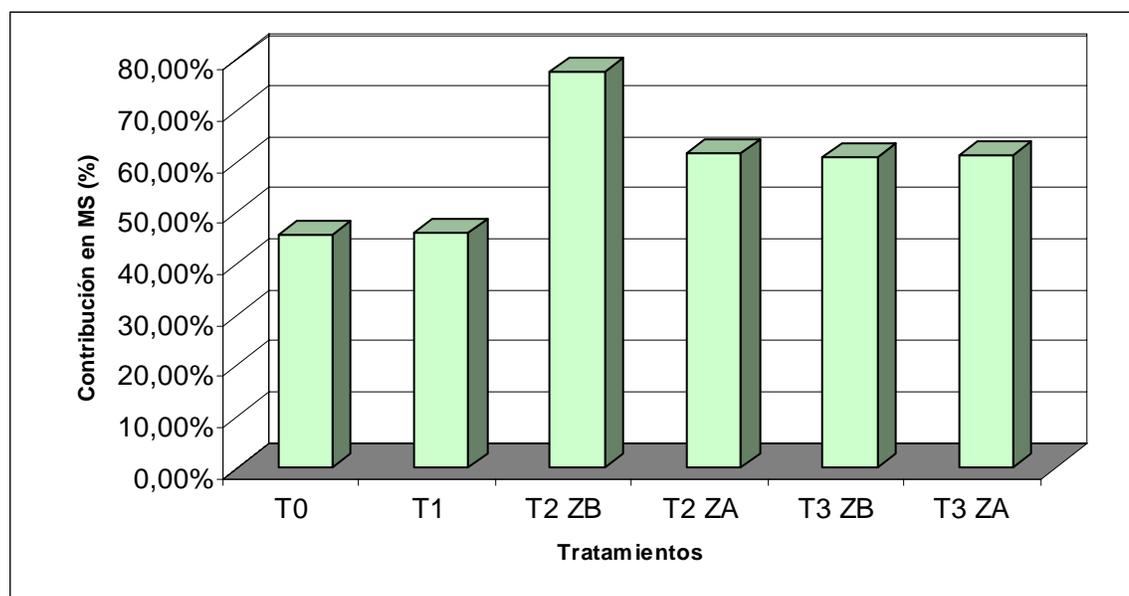


Figura 18. Porcentaje de las especies con valor forrajero, expresado como contribución de materia seca (M.S.) en relación al total, según presencia o ausencia de microrelieve e influencia arbórea.

Finalmente, al someter los datos obtenidos a un análisis de regresión múltiple, se observó que el 50% de la producción total de materia seca del pastizal puede ser explicada por el efecto conjunto de humedad y temperatura de suelo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Coeficientes de la ecuación de regresión múltiple entre humedad y temperatura de suelo, en relación a la producción total de materia seca de la pradera.

a	b ₁	b ₂	R ²
-1269,35	63,80	1,32	0,50

Si sólo se considera la materia seca de las especies con valor forrajero, el coeficiente de determinación alcanza un valor de 0,77, lo que tendría relación con la mayor respuesta que presentan este tipo de especies a cambios favorables de las condiciones climáticas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Coeficientes de la ecuación de regresión múltiple entre humedad y temperatura de suelo, en relación a la producción de materia seca de las especies con valor forrajero de la pradera.

a	b ₁	b ₂	R ²
538,88	30,49	-1,33	0,77

Sin embargo, el valor de los distintos coeficientes de ambas ecuaciones no resultan significativos debido, probablemente, al bajo número de observaciones realizadas. Dados estos resultados, se sugiere que para futuros estudios se considere aumentar el número de muestras, como también la realización de repeticiones de los tratamientos, para que los datos obtenidos puedan ser sometidos a análisis estadísticos más rigurosos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio permiten concluir:

- El efecto del microrelieve y la influencia de *Acacia caven* provocan cambios en la temperatura y humedad del suelo, permitiendo mejores condiciones para el crecimiento del estrato herbáceo.
- La composición botánica y los estados fenológicos del pastizal se ven afectados por el microrelieve y la influencia arbórea, los cuales aumentan la proporción de especies con valor forrajero en este tipo de praderas.
- El sinergismo provocado por el efecto del microrelieve y la cobertura arbórea genera un aumento en la producción de materia seca del pastizal, principalmente generado por el mayor crecimiento que poseen las distintas especies en la parte baja del microrelieve.

LITERATURA CITADA

BARTHOLOMEW, P. and WILLIAMS, R. 2006. Effects of exposure to below-freezing temperatures, soil moisture content and nitrogen application on phyllochron in cool-season grasses. *Grass and Forage Science* 61:146-153.

BEN WU, X.; REDEKER, E. and THUROW, T. 2001. Vegetation and water yield dynamics in an Edwards Plateau watershed. *Journal of Range Management* 54:98-105.

BLAKE, G. and HARTGE, K. 1986. Bulk density. pp. 363-375. *In*: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Vol. 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

BROOKS, M. and BERRY, K. 2006. Dominance and environmental correlates of alien annual plants in the Mojave Desert, USA. *Journal of Arid Environments* 67:100-124.

CASTILLO, H.; OLIVARES, A.; POLZENIUS, G. y POTTER, W. 1990. Variaciones de la humedad aprovechable del suelo y su efecto en la producción de materia seca de la pradera desarrollada bajo la influencia del espino *Acacia caven* (Mol.) Mol. *Avances en Producción Animal* 15 (1-2):19-27.

CASTILLO, H.; OLIVARES, A. y POLZENIUS, G. 1988. Modificaciones de las características microambientales provocadas por la presencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. I. Influencia en el microambiente. *Avances en Producción Animal* 13 (1-2):31-40.

CHILE – COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. 1981. Estudio de Suelos del Proyecto Maipo. Agrológ-Chile Ltda., Santiago. 802 p.

CORNAGLIA, P.; SCHRAUF, G.; NARDI, M. and DEREGIBUS, A. 2005. Emergence of Dallisgrass as affected by soil water availability. *Rangeland Ecology and Management* 58:35-40

CORNEJO, R. y GÁNDARA, J. 1980. Influencia de la estrata arbustiva en la productividad de la estrata herbácea de la estepa de *Acacia caven* (Mol.) Hook at Arn. Tesis Ing. Agr., Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 98 p.

DULORMNE, M.; SIERRA, J.; BONHOMME, R. and CABIDOCHÉ, Y.M. 2004. Seasonal changes in tree–grass complementarity and competition for water in a subhumid tropical silvopastoral system. *European Journal of Agronomy* 21:311–322.

GARDNER, W. 1986. Water content. pp. 493-541. *In*: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Vol. 1. 2nd ed. ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, USA.

GASTÓ, J. 1966. Variación de las precipitaciones anuales en Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad de Chile. Boletín técnico 24:3-20.

GEIGER, R. 1965. The climate near the ground. Harvard University Press. 611 p.

HERMOSILLA, M. 1991. Relación entre la cantidad de luz incidente, producción de materia seca y composición botánica de la pradera anual mediterránea bajo influencia de *Acacia caven* (Mol.) Mol. Tesis Ing. Agr., Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 71 p.

LUZIO, W. 1996. Clasificación taxonómica de los suelos de la Región Metropolitana y VI Región (Keys to soil Taxonomy, SCS, USDA, 1994). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Ingeniería y Suelos, Santiago. 21 p.

MAMOLOS, A. 2006. Temporal differentiation in maximum biomass and nutrient accumulation rates in two coexisting annual plant species. *Journal of Arid Environments* 64:377-389.

McCOWN, R. and WILLIAMS, W. 1968. Competition for nutrients and light between the annual grassland species *Bromus mollis* and *Erodium botrys*. *Ecology* 49 (5):981-990.

OLIVARES, A. 2006. Relaciones entre el estrato arbóreo, el estrato herbáceo y la conducta animal en el matorral de *Acacia caven* (espinal). Relations entre la strate arboree, la strate herbacée et le comportement animal dans le matorral d'Acacia caven (espinal). *Secheresse* 17 (1-2): 333-334.

OLIVARES, A.; JOHNSTON, M. y GUTIERREZ, C. 2006. Crecimiento y desarrollo de *Bromus berterioanus* Colla sometido a diferentes regímenes pluviométricos. *Agricultura Técnica* 66(2):166-173.

OLIVARES, A.; JOHNSTON, M. y RAMIREZ, R. 1999. Umbrales de temperatura y humedad en la germinación de tres especies de la pradera anual de clima mediterráneo. *Agro-Ciencia* 15 (1):19-26.

OLIVARES, A.; JOHNSTON, M. y CONTRERAS, X. 1998. Régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana. *Avances en Producción Animal* 23 (1-2):35-43.

OLIVARES, A.; JOHNSTON, M. y BECK, C. 1997. Emergencia de especies de pradera natural de tipo mediterráneo en relación con la humedad del suelo. *Avances en Producción Animal* 22 (1-2):23-29.

OLIVARES, A.; CASTILLO, H. y POTTER, W. 1989. Cambios en el contenido de humedad, composición botánica y producción de fitomasa en la pradera anual mediterránea bajo la influencia del espino (*Acacia caven* (Mol.) Mol.). *Avances en Producción Animal* 14 (1-2):41-52.

OLIVARES, A.; ETIENNE, M. y SEGARRA, F. 1982. Caracterización de la curva de crecimiento de la pradera natural en el secano interior mediterráneo de Chile. *Avances en Producción Animal* 7 (1-2):17-24.

OLIVARES, A. Y GASTÓ, J. 1971. Comunidades de terófitas en subseres post-aradura y en exclusión en la estepa de *Acacia caven* (Mol.) Hook. et Arn. Santiago, Universidad de Chile, Fac. Agronomía. *Boletín Técnico* N° 34. 24 p.

OVALLE, C. y SQUELLA, F. 1988. Terrenos de pastoreo con praderas anuales en el área de influencia climática mediterránea. pp. 369-409. *In: RUIZ, I. (Ed.). Praderas para Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile. 723 p.*

PLANCHON, O.; ESTEVES, M.; SILVERA, N. and LAPETITE, J. 2001. Microrelief induced by tillage: measurement and modelling of Surface Storage Capacity. *CATENA* 46(2-3):141-157.

RAMIREZ, R. 1992. Efecto de la temperatura y la humedad mínimas en la germinación de tres especies de la pradera anual mediterránea. Tesis Ing. Agr., Santiago, Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 68 p.

SANTIBAÑEZ, F.; SILVA, M.; STHERN, K. y MANSILLA, A. 1983. Control climático del crecimiento y la fenología de una pradera mediterránea anual. *Avances en Producción Animal* 8 (1-2):9-17.

SANTIBAÑEZ, F.; OLIVARES, A.; SILVA, M.; MANSILLA, A. y LAILHACAR, S. 1976. Desarrollo de un modelo de producción pecuaria para la zona mediterránea árida de Chile. I. Submodelo de clima y productividad primaria herbácea. *Avances en Producción Animal* 1 (2):119-128.

SCHOLES, R. J. and ARCHER, S.R. 1997. Tree-grass interactions in savannas. *Annual Review of Ecology and Systematics* 28:517-544.

SILVA, M.; SANTIBAÑEZ, F. y CASTELLARO, G. 1992. Control heliotérmico del desarrollo y la senescencia de la pradera anual mediterránea en la zona semiárida de Chile. *Avances en Producción Animal* 17 (1-2):53-64.

STYLINSKI, C. and ALLEN, E. 1999. Lack of native species recovery following severe exotic disturbance in southern Californian shrublands. *Journal of Applied Ecology* 36:544-554.

WILCOX, B.; DOWHOWER, S.; TEAGUE, R. and THUROW, T. 2006. Long-term water balance in a semiarid shrubland. *Rangeland Ecology and Management* 59:600-606.

APÉNDICES

Apéndice I. Datos ingresados a la ecuación de regresión múltiple.

Tratamientos	Humedad aprovechable suelo (cm)	Temperatura suelo (número de horas acumuladas sobre 4,5 °C)	Rendimiento total (Kg. MS há ⁻¹)	Rendimiento sólo valor forrajero (Kg. MS há ⁻¹)
T0	19,55	616	769,25	323,78
T1	24,37	519	1111,83	517,12
T2 ZB	24,07	521	806,19	653,60
T1	24,37	533	1111,83	517,12
T2 ZB	24,07	512	806,19	653,60
T3 ZB	19,95	514	726,58	441,92