



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

MEMORIA DE TÍTULO

EFFECTO DE LA CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS
PRECIPITACIONES EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE SEMILLAS

EN *Avena barbata* y *Hordeum murinum*

CAROLINA ALEJANDRA CALDERÓN ERAZO

SANTIAGO – CHILE

2004

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LAS PRECIPITACIONES EN LA
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE SEMILLAS EN *Avena barbata* y *Hordeum murinum*

Memoria para optar al Título Profesional
de Ingeniero Agrónomo
Mención: Producción Animal

Carolina Alejandra Calderón Erazo

PROFESORES GUÍAS

Sra. Myrna Johnston B.
Prof. De Biología, Ms. Sc.

CALIFICACIONES

6,3

Sr. Alfredo Olivares E.
Ingeniero Agrónomo, Mg. Sc.

6,0

PROFESORES CONSEJEROS

Sr. Eugenio Caviedes De la R.
Ingeniero Agrónomo, M. S.

6,5

Sr. Sergio Lailhacar K.
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.

5,0

Santiago, Chile. 2004

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los que me acompañaron en mi camino universitario y en forma especial a mis padres, hermanos, sobrinos y a mi abuela.

Estoy muy agradecida de mis profesores guías Myrna Johston y Alfredo Olivares que me supieron apoyar y motivar cuando lo necesitaba. Por su comprensión y colaboración les estoy agradecida.

Agradezco a mis amigos que con su apoyo y colaboración me ayudaron a realizar esta memoria.

Finalmente agradezco la colaboración de Pilar y Marisol, del laboratorio de fisiología vegetal y a todos los profesores que en algún minuto respondieron a mis consultas.

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
RESUMEN	1
SUMMARY	3
INTRODUCCIÓN	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
La pradera anual mediterránea y su relación con la pluviometria	7
Crecimiento y desarrollo	8
La producción de semillas y su relación con las precipitaciones	13
MATERIALES Y METODO	15
Lugar del ensayo	15
Materiales	15
Método	16
Determinación de tratamientos	16
Etapa experimental	17
Tratamientos	17
Condiciones del ensayo	17
Variables consideradas	18
Crecimiento reproductivo	18
Calidad de semillas	18
Crecimiento y desarrollo	19
Índices reproductivos	19
Observaciones	20
Fenología	20
Diseño experimental y análisis estadístico	20

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
<i>Avena barbata</i>	22
Observación del desarrollo fenológico en los distintos regímenes	22
Materia seca aérea y radical	25
Cantidad de crecimiento reproductivo	29
Calidad de semillas	31
Índices reproductivos	36
<i>Hordeum murinum</i>	38
Observación del desarrollo fenológico en los distintos regímenes	38
Materia seca aérea y radical	41
Cantidad de crecimiento reproductivo	45
Calidad de semillas	46
Índices reproductivos	50
Observaciones generales del crecimiento en <i>Avena barbata</i> y <i>Hordeum</i>	51
<i>murinum</i>	
CONCLUSIONES	52
LITERATURA CITADA	53
ANEXO 1	59
ANEXO 2	60
ANEXO 3	61
ANEXO 4	62
ANEXO 5	63
ANEXO 6	64
ANEXO 7	65
ANEXO 8	66

RESUMEN

El presente trabajo evaluó, en condiciones controladas, el efecto de la cantidad y distribución de las precipitaciones sobre la producción y calidad de las semillas en las especies *Avena barbata* y *Hordeum murinum* (*Critesion murinum*).

Se realizaron dos ensayos paralelos, uno por especie, estableciendo 7 tratamientos, los cuales se definieron a partir de los resultados favorables (+) o negativos (-) obtenidos en *Bromus berterianus* por Gutiérrez (2003) y un tratamiento de referencia el cual se mantuvo a capacidad de campo durante todo el ensayo. Los siguientes fueron los tratamientos elegidos:

T1: Año lluvioso con distribución normal (-) año 1982 y monto total de precipitación 628 mm (LL-n)

T2: Año lluvioso con distribución tardía (+) año 1987 y monto total de precipitación de 670 mm (LL-ta)

T3: Año normal con distribución temprana (-) año 1962 y monto total de precipitación de 227,5 mm (N-te)

T4: Año normal con distribución tardía (+) año 1989 y monto total de precipitación de 281,4 mm (N-ta)

T5: Año seco con distribución temprana (+) año 1981 y monto total de precipitación de 225,2 mm (S-te)

T6: Año seco con distribución tardía (-) año 1990 y monto total de precipitación de 157,1 mm (S-ta)

T7: Sin restricción hídrica (referencia).

Donde (LL, N y S) indican clasificación de acuerdo a los montos totales de precipitaciones y (n, ta y te) indican clasificación de las precipitaciones de acuerdo a sus distribuciones.

La cantidad y distribución de las precipitaciones afectó de diferente modo a ambas especies en la cantidad de semillas producidas, así mientras en *Avena barbata* un año lluvioso con distribución tardía (LL-ta) fue el que favoreció la mayor producción, en *Hordeum murinum* resultó ser el año normal tardío (N-ta) el que permitió la mayor producción.

La calidad de las semillas formadas en *Avena barbata* mostró que los años normal-tardío y lluvioso-tardío producen semillas de mayor peso y las de menor peso en año lluvioso normal. El porcentaje de semillas llenas es mayor en un año lluvioso normal. En el año lluvioso tardío se produce mayor proporción de anexos. Estos resultados muestran que esta especie responde primeramente al monto de lluvia y luego a las distribuciones de esas lluvias.

En cuanto a la calidad de semillas producidas en *Hordeum murinum*, el peso de las semillas fue mayor en el año lluvioso normal, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en el porcentaje de llenas y vanas. El porcentaje de anexos fue mayor en un año normal tardío y las semillas de mayor tamaño se obtuvieron en un año lluvioso tardío. Esto explica porque esta especie es más resistente a menores montos de precipitaciones al ser la distribución de las precipitaciones el principal factor que influye tanto en la cantidad y calidad de semillas producidas.

Palabras Claves

Avena barbata

Hordeum murinum (*Critesion murinum*)

Déficit hídrico

Calidad de semillas

Producción de semillas

SUMMARY

The effect of rainfall amount and distribution on seeds yield and quality in *Avena barbata* and *Hordeum murinum* (*Critesion murinum*) was evaluated under controlled condition.

The species were tested in separate experiments consisting of seven treatments each. These treatments were defined according to positive (+) or negative (-) results that Gutierrez (2003) obtained with *Bromus berterianus* and one control maintained at field capacity during the experimental term.

The treatments were:

- T1: Rainy year with normal distribution (-), 1982 with total amount rainfall of 628 mm (LL-n).
- T2: Rainy year with late distribution (+), 1987 with total amount rainfall of 670 mm (LL-ta).
- T3: Normal year with early distribution (-), 1962 with total amount rainfall of 227,5 mm (N-te).
- T4: Normal year with late distribution (+), 1989 with total amount rainfall of 281,4 mm (N-ta).
- T5: Dry year with early distribution (+), 1981 with total amount rainfall of 225,2 mm (S-te).
- T6: Dry year with late distribution (-), 1990 with total amount rainfall of 157,1 mm (S-ta)
- T7: without hydric restriction (Reference).

In which (LL, N and S) refer to the classification based on the amount of rainfall and (n, ta and te) to the classification based on its distribution.

The rainfall amount and distribution affected the yield of seeds of each species in a different way. In *Avena barbata* a rainy year with late distribution (LL-ta) favored the seed yield, while in *Hordeum murinum* it was favored by the normal year with late distribution (N-ta).

The *Avena barbata* seeds were heavier in a normal year with late distribution and in a rainy year with normal distribution while these were lighter in a normal rainy year. The percentage of full seeds was higher in the rainy year with normal distribution. The rainy year with late distribution produced a higher percentage of accessory structures. The results showed that *Avena barbata* first responds to the amount of rainfall and then to its distribution.

The seed quality of *Hordeum murinum* was expressed through a higher seed weight in the rainy year with normal distribution. In relation to the percentages of full and empty seeds, these were not significantly different among treatments. The percentage of accessory structures was higher in the normal year with late distribution, while larger seeds were obtained in rainy year with late distribution. This explains why this species is more resistant than other ones to low amounts of rainfall. The rainfall distribution is the principal factor that affects both, seed yield and seed quality.

Key Words

Avena barbata

Hordeum murinum (*Critesion murinum*)

Water stress

Seed quality

Seed production

INTRODUCCIÓN

La pradera anual de clima mediterráneo constituye la principal fuente de forraje para las explotaciones ganaderas ubicadas en zonas con déficit hídrico. Se encuentran en ella especies de los géneros *Erodium*, *Bromus*, *Vulpia*, *Medicago*, *Trifolium*, *Avena* y *Hordeum* entre otras.

La producción de materia seca de cada una de las especies de la pradera depende de factores geográficos, edáficos y climáticos (Rossiter, 1966).

La fenología de las especies que la constituyen está regulada por diversos factores, entre los cuales destacan: disponibilidad de agua, la que es importante al inicio del ciclo; temperatura, la que influye fundamentalmente en la velocidad con que ocurre el desarrollo y el crecimiento de las especies. La combinación de falta de humedad y aumento de temperaturas determinan el fin del ciclo de las especies.

Salas (2001) comprobó que la producción y calidad de semillas de *Bromus berterianus* y *Erodium moschatum* están fuertemente determinadas por la ocurrencia de precipitaciones durante el período reproductivo, además determinó que la distribución de las precipitaciones influía en la disponibilidad hídrica durante la fase reproductiva, desarrollo y maduración de semillas. La producción de materia seca en estas especies también depende de la distribución de las precipitaciones.

Hay especies constituyentes de la pradera cuyo aporte a la alimentación animal es de menor importancia, especialmente por sus características estructurales y por la cantidad de biomasa generada, como es el caso de *Avena barbata* y *Hordeum murinum* (*Critesion murinum*). Por ello sería importante conocer sus respuestas en cuanto a

producción y calidad de semillas, en relación con aquellos regímenes pluviométricos del lugar que han resultado más efectivos o dañinos para el crecimiento de *Bromus berterianus* (Gutiérrez, 2003), una de las especies de mayor importancia en la pradera natural mediterránea.

Se entiende por régimen pluviométrico al modo como ocurren las precipitaciones considerando su cantidad total y la distribución de éstas durante el año.

Como hipótesis del trabajo se plantea que la cantidad y distribución de las precipitaciones en condiciones de invernadero sin un equipo acondicionador de aire influyen no sólo en el crecimiento y desarrollo de cada especie sino que también tienen efectos directos en la calidad y cantidad de semillas producidas.

Debido a estos antecedentes y a que la producción de semillas es afectada por la disponibilidad hídrica, este trabajo tiene como objetivo general:

- Estudiar la respuesta a algunos regímenes pluviométricos en dos especies de la pradera natural mediterránea *Avena barbata* y *Hordeum murinum*.

Como objetivos específicos se plantean:

- Determinar y evaluar producción y calidad de semillas en ambas especies bajo la aplicación de los distintos regímenes pluviométricos elegidos.
- Evaluar crecimiento y desarrollo de las dos especies con los regímenes usados.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La pradera anual mediterránea y su relación con la pluviometría

El estrato herbáceo del espinal es rico en especies anuales de origen mediterráneo (Contreras y Caviedes, 1977). La composición botánica del estrato herbáceo en la zona mediterránea está dominada por los géneros *Erodium*, *Bromus*, *Vulpia*, *Hordeum*, *Medicago* y *Trifolium* además están presentes especies de la familia Cruciferae y Boraginaceae (Olivares y Riveros, 1979). Cada especie de la pradera presenta estados fenológicos propios cuya oportunidad y duración puede variar según condiciones ambientales y/o de manejo (Santibañez *et al.*, 1983).

La relación entre clima y desarrollo de las especies es evidente en las praderas de la zona mediterránea debido a la presencia de una estación calurosa seca y otra húmeda fría, lo que induce a una marcada estacionalidad en el crecimiento de las plantas anuales. Esto se puede explicar con las relaciones existentes entre los factores: precipitaciones, temperaturas medias, temperatura nocturna y fotoperíodo (Santibañez *et al.*, 1983).

El régimen pluviométrico se caracteriza por una gran variabilidad. Las especies naturales o naturalizadas deben someterse a éste, haciendo variar el periodo de emergencia a establecimiento y la tasa de crecimiento (Olivares *et al.*, 1998).

Las precipitaciones ejercen una influencia sobre la vida de las plantas tanto por su distribución como por cantidad e intensidad (Aguila, 1962; Olivares *et al.*, 1998). En el estrato de terófitas existen variaciones anuales muy marcadas en su ciclo de vida, las que dependen principalmente del régimen pluviométrico y de la cantidad total de lluvia

afectando su rendimiento de materia seca en distintos grados según la condición de la pradera (Olivares y Riveros, 1979).

Según Acuña (1978), la producción de materia seca es superior en los años de pluviometría normal y lluviosa, con respecto a los secos, lo que a su vez depende del tipo de distribución que se presente en el año.

Castellaro *et al.* (1994) señalan que las praderas de la zona de clima mediterráneo se caracterizan por una acentuada estacionalidad en su producción, en esto influye directamente el clima a través de su acción sobre las distintas etapas fenológicas de las especies que la conforman.

De acuerdo a Callaway y Sabraw (1994), el patrón de distribución de las precipitaciones y las temperaturas afectan la producción de biomasa de las especies anuales. Además, el crecimiento de la pradera se encuentra afectado no sólo por los períodos de bajas temperatura y períodos de sequía estival, sino más bien por la combinación de ambos (Olivares, 1985).

Crecimiento y Desarrollo

Según Santibañez *et al.* (1983), existen dos formas de caracterizar el desarrollo de una pradera. Una de ellas es mediante los cambios morfológicos que sufren las especies que la conforman, es decir, el paso por las distintas fenofases desde germinación, emergencia hasta floración y maduración de semillas. La otra es a través de métodos cuantitativos de la producción fotosintética, de modo que el ciclo comienza cuando se inicia el proceso autótrofo de la pradera y termina cuando cesa toda actividad fotosintética.

La distribución de las lluvias determina que hay al menos 7 meses con humedad insuficiente para sustentar el crecimiento de las plantas. Este período llega hasta 10 meses en los años secos (Olivares *et al.*, 1998).

Los patrones meteorológicos influyen directamente en la dinámica de las especies terófitas pues las especies tienen distinta sensibilidad a temperaturas. Estos afectan la composición y biomasa de la pradera (Espigares y Peco, 1993). Así, la llegada de la primera lluvia efectiva provoca el inicio de la germinación (Espigares y Peco, 1994).

Las especies componentes de la pradera anual mediterránea tienen una secuencia característica de sus fenofases, las cuales presentan gran variabilidad en su duración. Existe tendencia a una cierta constancia en cuanto a los requerimientos climáticos necesarios para alcanzar determinados estados fenológicos. Dentro de la diversidad de especies de la pradera natural hay especies más precoces: *Erodium botrys* y *Vulpia dertonensis* y otras tardías: *Avena barbata*, *Bromus berterianus* y *Trifolium glomeratum* (Castellaro *et al.*, 1994).

Las especies germinan sólo si la cantidad de agua caída es suficiente para que las plantas completen esta etapa. (Gutiérrez, 1993; Armesto *et al.* 1993). El posterior crecimiento y desarrollo de las especies dependen de cómo caen las lluvias y del potencial hídrico de los suelos (O'Connor, 1994). La germinación y posterior crecimiento responden a precipitaciones cercanas o sobre 20 mm. En Chile, bajos montos de lluvias pero con adecuada distribución pueden ser efectivas para plantas anuales con raíces superficiales, por el contrario, precipitaciones de mayor monto y con menor frecuencia serían importantes para especies de raíces profundas (Gutiérrez, 1993).

La emergencia de las plántulas está determinada por varios factores, siendo la disponibilidad hídrica el más importante (Johnston *et al.*, 1998a), este factor también

afecta la proporción de semillas con dormancia tegumentaria y las no viables. La emergencia de *Avena barbata* es más sensible a la reducción de la humedad del suelo, en cambio, *Hordeum murinum* es más tolerante (Beck, 1993).

La distribución de las precipitaciones afecta la emergencia de plántulas y en todos los regímenes pluviométricos es importante que no se presenten períodos secos prolongados después de una primera lluvia efectiva, pues ésta determina el inicio del ciclo fenológico de las especies (Johnston *et al.*, 1998a).

En esta pradera, la familia con mayores emergencias en todos los regímenes pluviométricos es la de las poaceas, donde *Bromus berterianus* ha sido la de mayor abundancia. (Johnston *et al.*, 1998b). El contenido de humedad del suelo influye en la emergencia de algunas especies disminuyendo su magnitud y velocidad con niveles decrecientes de humedad, además se ha demostrado que *Hordeum murinum* es la especie menos sensible al déficit hídrico (Olivares *et al.*, 1997).

Por lo general, en condiciones de estrés hídrico el área foliar disminuye y se observa un menor crecimiento del vástago con lo que se afecta la capacidad fotosintética de la planta, finalmente, lo anterior reduce el rendimiento. (Turner y Begg, 1977). Las estrategias de las plantas frente al estrés se manifiestan en cambios en la biomasa reproductiva, tanto en número como en tamaño, lo que permite decir que son dinámicas para sobrevivir en condiciones críticas. (Aronson *et al.*, 1993)

En festuca (*Festuca arundinacea*) el estrés hídrico afecta el largo y la producción de materia seca de las raíces, aumentando el desarrollo de pelos radicales, lo cual le permite tener una mayor superficie de contacto con el suelo con lo que logra un uso más eficiente del agua. Además, el estrés hídrico es la primera causa de muerte de las raíces por desecación y pérdida de turgor (Huang y Gao, 2000).

En falaris (*Phalaris aquatica*) siembras tardías no permiten el desarrollo suficiente de las macollas, obteniéndose un mayor número de panojas en siembras tempranas (Gastó y Lazén, 1966).

La respuesta al déficit hídrico en pasto guinea (*Panicum maximum*) depende de su estado de desarrollo al momento del déficit, cuando éste ocurre en la etapa reproductiva disminuye el área foliar y la biomasa total. El déficit hídrico causa una disminución en la relación vástago/raíz por un menor desarrollo y expansión foliar, la asignación de los asimilados va principalmente a la formación de un buen sistema radicular que sea capaz de hacer uso más eficiente del recurso hídrico. Por todo lo anterior la fotosíntesis neta y el potencial hídrico foliar disminuyen (González y Páez, 1995).

Muchas especies de plantas responden al estrés, incrementando la proporción de asimilados hacia las raíces lo cual permite diversificar el crecimiento radical y así aumentar el agua disponible para la planta (Huang y Fry, 1998).

Una pradera logra acumular mayor cantidad de materia seca en la medida que la senescencia sea lo más tardía posible. La producción de materia seca se incrementa notoriamente a partir del inicio de su desarrollo reproductivo, específicamente a partir de la formación del tallo floral (Santibañez *et al.*, 1983). La producción de materia seca inicial en poaceas se reduce en los años lluviosos con distribución temprana (Johnston *et al.*, 1998b). El crecimiento y senescencia son importantes ya que contribuyen a la acumulación de forraje de características muy diferentes a lo largo del año (Silva *et al.*, 1987).

Cuando las precipitaciones son tempranas en la estación, se obtienen buenos resultados en lo que a crecimiento vegetativo se refiere y se tienen mejores reservas de agua en el suelo para el periodo crítico reproductivo (Nielsen y Nelson, 1998).

La senescencia comienza al reducirse la superficie total fotosintetizante de la planta y es más notoria luego de transcurrida la floración, en ese momento todo el esfuerzo fotosintético está orientado hacia la producción de semillas y no hacia la renovación de estructura foliar, particularmente en especies de crecimiento determinado, es decir aquellas especies que una vez que inician la etapa reproductiva no hay nuevo crecimiento vegetativo. Uno de los factores determinantes en la producción de la pradera es la velocidad de senescencia de la biomasa fotosintetizante. La senescencia puede tener varios orígenes y uno de los más importantes es el déficit hídrico (Santibañez *et al.*, 1983).

En las especies de los géneros *Bromus*, *Erodium* y *Medicago* la capacidad germinativa no es afectada por las temperaturas; sólo en *Avena barbata* y *Trifolium glomeratum* existen variaciones, sin embargo, la velocidad de germinación es significativamente afectada, se retarda el inicio del proceso y disminuye la velocidad de germinación a temperaturas más bajas, una excepción se observa en *Erodium* que siempre germina primero y a una tasa mayor (Olivares *et al.*, 1990).

El régimen pluviométrico produce cambios en la proporción de emergencias desde el banco de semillas del suelo, *Bromus berterianus* es la más independiente del régimen pluviométrico y *Erodium malacoides* es la que mejor se adapta a años secos, eso sí requiere de continuidad en las precipitaciones (Johnston *et al.*, 1998b).

Shopp-Guth *et al.* (1994) señalan que el banco de semillas del suelo depende de la historia de uso de la tierra y de las características de las semillas que lo conforman, las especies germinan y mueren en forma variable.

La producción de semillas y su relación con las precipitaciones

Dado que en cada año se pueden presentar cualquiera de los regímenes pluviométricos, estos pueden afectar en forma diferente el establecimiento y producción de semillas de las especies (Olivares *et al.*, 1998).

La plasticidad de las especies es una forma natural de selección, ya que se adaptan cambiando el número de frutos/planta, peso de semillas, desecando y perdiendo hojas. Algunas especies en condiciones favorables producen semillas de menor tamaño pero en mayor número (Marshall *et al.*, 1985).

El peso de las semillas es importante ya que determina el resultado de la próxima cosecha de semillas y asegura un buen establecimiento al proporcionar la cantidad de reservas iniciales de la planta (Lorenzetti, 1993).

Las plantas de acuerdo al largo de su ciclo de vida producen semillas de mayor o menor tamaño (Fernández *et al.*, 1993). Por lo tanto, son dinámicas y tienen estrategias para sobrevivir en distintas condiciones

Según Kokubun *et al.* (2001), plantas de soya sometidas a un estrés hídrico producen una menor cosecha debido a una reducción de la fotosíntesis, si el déficit ocurre durante la floración hay una menor cantidad de asimilados que van hacia las estructuras florales, por lo tanto, hay mayor número de abortos florales, además provoca un daño en pistilos o estambres.

El peso de las semillas en ballica (*Lolium perenne*) es muy variable dependiendo de las condiciones climáticas en las cuales se desarrollan, también influye en el peso de

óvulos hasta la antesis. La partición de asimilados ya esta determinada a la antesis (Warringa *et al.*, 1998).

En poroto negro (*Phaseolus vulgaris*) un estrés hídrico afecta el crecimiento vegetativo produciendo plantas más pequeñas, con menor área foliar y en el crecimiento reproductivo provoca un menor crecimiento de semillas, mayor número de semillas vanas por planta y menor calidad de semillas. Al producirse el estrés en floración provoca una menor producción de semillas, siendo éste, el periodo más sensible del ciclo (Nielsen y Nelson, 1998).

En maíz (*Zea mays*) los períodos más vulnerables son la antesis y llenado de grano. Las reservas de hojas y tallos se remobilizan sólo en el llenado de grano, un déficit durante este periodo reduce la fotosíntesis ya que al bajar el nivel hídrico disponible es menor la capacidad fotosintética de la planta debido a la reducción del área foliar. El crecimiento de grano es limitado por el nivel hídrico al no permitir un mayor desarrollo del endosperma y de los embriones (Westgate, 1994).

En trigo (*Triticum aestivum*) la humedad afecta el tamaño del grano. Un déficit después de antesis reduce la asimilación de C, disminuyendo el peso del grano pero no el número de estos (Kobata *et al.*, 1992). Los trigos semienanos producen menor número de semillas por abortos y una menor área foliar al ser afectados por un déficit hídrico en dos períodos de su ciclo: durante la transición de etapa vegetativa a reproductiva y durante la elongación de tallos al inicio de la espigadura (Oosterhuis y Cartwright, 1983).

MATERIALES Y MÉTODO

Lugar del ensayo

El trabajo se realizó en el invernadero y laboratorios de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, entre julio del 2002 y abril del 2003.

Materiales

Los materiales utilizados en el ensayo fueron:

- Semillas de *Avena barbata* y *Hordeum murinum*, colectadas al término del período de maduración en la Estación Experimental Germán Greve de la Universidad de Chile (33° 28" LS y 70° 51" LO) y seleccionadas por tamaño y llenado de grano, dejando las más grandes.
- Macetas de polietileno negro de 50 cm de profundidad y 13 cm de diámetro, llenas con el sustrato.
- Sustrato: 90% del volumen formado por los primeros 10 cm de suelo de la serie Piedmont Cuesta Barriga, *Typic Haploxeroll* y 10 % de aislapol para evitar que el suelo se compacte.
- Aplicadores de suero para simular los montos de agua de cada lluvia, en forma homogénea.

Método

Determinación de los tratamientos: La elección de los regímenes pluviométricos utilizados estuvo basada en la información aportada por Gutiérrez (2003). Se aplicó distintos regímenes pluviométricos y un tratamiento de referencia con disponibilidad hídrica cercana a capacidad de campo para cada especie. La selección de los regímenes correspondió a una distribución con efecto positivo (+) y otra con efecto negativo (-) en la producción de *Bromus berterianus*, una de las especies más abundantes y de mayor interés forrajero en la pradera natural de clima mediterráneo semiárido. Los regímenes comprendían una combinación de cantidad total y distribución de las lluvias.

Los montos y oportunidad de precipitaciones a aplicar en cada tratamiento se realizaron de acuerdo al año real elegido, considerando como inicio del período la primera lluvia efectiva real. Las siguientes aplicaciones se hicieron de acuerdo a un calendario basado en los intervalos de tiempo reales entre cada lluvia. El ensayo se inició el 20 de julio del 2002 con el tratamiento normal tardío (N-ta) y el tratamiento de referencia (Referencia) (Anexo 1).

Etapas experimentales

Tratamientos: Los años reales seleccionados fueron:

T1: Año lluvioso con distribución normal (-), año 1982 con precipitación total de 628 mm (LL-n).

T2: Año lluvioso con distribución tardía (+), año 1987 con precipitación total de 670,6 mm (LL-ta).

T3: Año normal con distribución temprana (-), año 1962 con precipitación de 227,5 mm (N-te).

T4: Año normal con distribución tardía (+), año 1989 con precipitación total de 281,4 mm (N-ta).

T5: Año seco con distribución temprana (+), año 1981 con precipitación total de 225,2 mm (S-te).

T6: Año seco con distribución tardía (-), año 1990 con precipitación de 157,1 mm (S-ta).

T7: Sin restricción hídrica (Referencia)

Donde (LL, N y S) indican clasificación de acuerdo a los montos de precipitaciones y (n, ta y te) indican clasificación de las precipitaciones de acuerdo a sus distribuciones.

Condiciones del ensayo: Se usó macetas de polietileno negro con 90% de suelo bromurado y tamizado a 5 mm más 10 % de aislapol en esferas de 5 mm, en cada maceta se sembraron 10 semillas uniformemente distribuidas y a una profundidad de 1 cm. Producida la emergencia, se dejaron las 5 plantas más vigorosas y uniformes.

El tratamiento de referencia se mantuvo a 2/3 de capacidad de campo. Para ello se calculó previamente la cantidad de agua a aplicar sobre la base de los datos obtenidos por Salas (2001) con el mismo tipo de suelo (capacidad de campo 27 % y punto de

marchitez permanente en 8,23% sobre la base de peso y densidad aparente del suelo de 1,45 g/cm³). Mediante pesadas periódicas se determinó el momento y cantidad de agua que debía reponerse de acuerdo a la diferencia en el peso las macetas.

Variables consideradas

Crecimiento reproductivo, éste se evaluó mediante:

- Número de tallos florales, contabilizados de acuerdo a como iban madurando las semillas. Así, al madurar la inflorescencia apical se cortó el tallo a la altura de la inserción de la primera hoja bandera adyacente a la panoja, luego cada tallo floral se identificó de acuerdo a su maduración y se guardó separadamente en sobres de papel.
- Número de semillas. Luego de recolectar los tallos florales se procedió contabilizar las semillas, por fecha de cosecha, obteniendo un total por tratamiento.
- Peso total de las semillas por planta en los tratamientos que produjeron semillas. Se pesó dos muestras de 100 semillas por tratamiento y se estimó el peso del total de las semillas producidas de acuerdo al número total por planta para cada uno. Sólo se pesó las semillas llenas (S).

Calidad de semillas, se evaluó por medio de:

- Proporción de anexos de semillas por planta (pálea, lemma, arista). Se procedió a pesar los frutos con sus anexos (S+A) y los anexos por separado (A), y se determinó la relación A/S+A.
- Llenado. Se separó todas las semillas obtenidas de cada tratamiento en llenas y vanas y se obtuvo una proporción de semillas llenas y vanas en relación con el total de semillas producidas.
- Peso de 100 semillas.
- Tamaño. Se midió el largo de las semillas en dos muestras de 100 semillas por tratamiento.

- Capacidad germinativa. Las semillas seleccionadas se colocaron en placas *petri* sobre papel filtro y agua destilada con 25 semillas por placa y un total de 8 repeticiones por tratamiento. Primero se sometieron a un prefrío por 24 horas y luego permanecieron a una temperatura de 20 °C y en oscuridad por un período de 10 días, según las reglas internacionales de ensayos de semillas (ISTA, 1976).
- Viabilidad. La prueba de viabilidad se aplicó a todas aquellas semillas de la prueba de germinación que no germinaron, estas se sumergieron en solución de tetrazolio al 1% por 24 horas a 25° C y en completa oscuridad, evaluando la tinción de rojo de acuerdo a ISTA (1976).

Crecimiento y desarrollo: El crecimiento y desarrollo vegetativo se evaluó a través de los siguientes parámetros:

- Altura de cada planta, se midió en dos oportunidades para cada tratamiento.
- Número total de hojas, de macollos, de tallos y de hojas senescentes por planta. Se midió en dos oportunidades para cada tratamiento.
- Materia seca. Una vez finalizado el ensayo se procedió a cortar la parte aérea de la planta y posteriormente para obtener las raíces se puso cada maceta en una malla que se sumergió en agua por 24 horas. Luego con la ayuda de una rejilla y la malla se separó las raíces aplicando una corriente de agua. Con este sistema de mallas y rejillas se evitó pérdida de raíces. Se cuantificó la producción final de fitomasa por maceta de vástago y raíz mediante el secado en estufa aire forzado a 70° C por 48 horas y posteriormente se pesó.
- Se calculó la relación Vástago / Raíz para cada tratamiento. Esta se define como la relación entre los pesos de materia seca del vástago y de la raíz.

Índices reproductivos: En cada tratamiento se determinó el IR (cuociente entre número total de semillas producidas por planta y el peso total alcanzado por planta) y el IER (relación entre la biomasa reproductiva y vegetativa de la planta es decir la relación

entre el peso de los frutos llenos con sus anexos y la materia seca vegetativa radical y aérea).

Observaciones

Fenología: Se observó el inicio y término de los siguientes estados fenológicos: emergencia, macollaje, elongación de tallos (Inducción floral), floración, formación de semillas, maduración de semillas y senescencia de hojas.

El inicio se registró cuando la mitad de las plantas de cada tratamiento presentó la etapa y el terminó de ella cuando la última desarrolló el evento.

Durante todo el ensayo se registró humedad y temperatura ambiente con un termohigrógrafo.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se realizaron dos ensayos simultáneos, uno para cada especie.

El diseño experimental consistió en bloques completamente al azar con 5 repeticiones para cada especie. Se utilizó 7 tratamientos incluyendo al de referencia. La unidad experimental fue una maceta con 5 plantas.

Se realizó análisis de varianza para las variables consideradas en producción de semilla, calidad de semillas, producción de materia seca, relación vástago/raíz e índices reproductivos, y las medias de los tratamientos se compararon con el test SNK cuando el efecto de la fuente de variación fue significativo. En el caso de variables discretas como porcentajes de germinación, de viabilidad, de semillas, de anexos, de semillas llenas y de

semillas vanas, éstas se transformaron previamente a raíz cuadrada del arcoseno del porcentaje (grados Bliss).

Se realizó un primer análisis de varianza con los siete tratamientos y luego se hizo un segundo análisis excluyendo al tratamiento de referencia para hacer un mejor estudio comparativo del resto de los tratamientos, debido a los elevados valores obtenidos por el tratamiento de referencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tal como se indicó en la metodología, el análisis estadístico de la información contempló una primera prueba entre el tratamiento de referencia y los otros tratamientos para todas las variables, que pudieron medirse. Esta comparación siempre resultó estadísticamente significativa a favor del tratamiento de referencia. Por lo tanto, en los cuadros y figuras de resultados expuestos se omite el tratamiento de referencia, con el objeto de centrar la discusión a los seis tratamientos de distribución de precipitaciones que interesan.

Avena barbata

Observación del desarrollo fenológico en los distintos regímenes

El ciclo anual de *Avena barbata* en aquellos tratamientos que completaron el ciclo se presenta en la Figura 1. Los tratamientos muestran una duración del ciclo completo similar. Las etapas vegetativas del año normal-tardío y del tratamiento de referencia presentaron la mayor duración. Además, en todos los tratamientos se aprecian fases fenológicas claramente marcadas. El año lluvioso-normal presentó la fase de emergencia más extensa.

Se observa que en el año lluvioso normal la etapa reproductiva es más extensa que en el resto de los tratamientos y que hay diferencias entre las dos distribuciones utilizadas pues la distribución normal presentó una fase de elongación de tallo demasiado larga y una fase de maduración de semillas de corta duración, lo que explicaría la menor producción de semillas obtenidas.

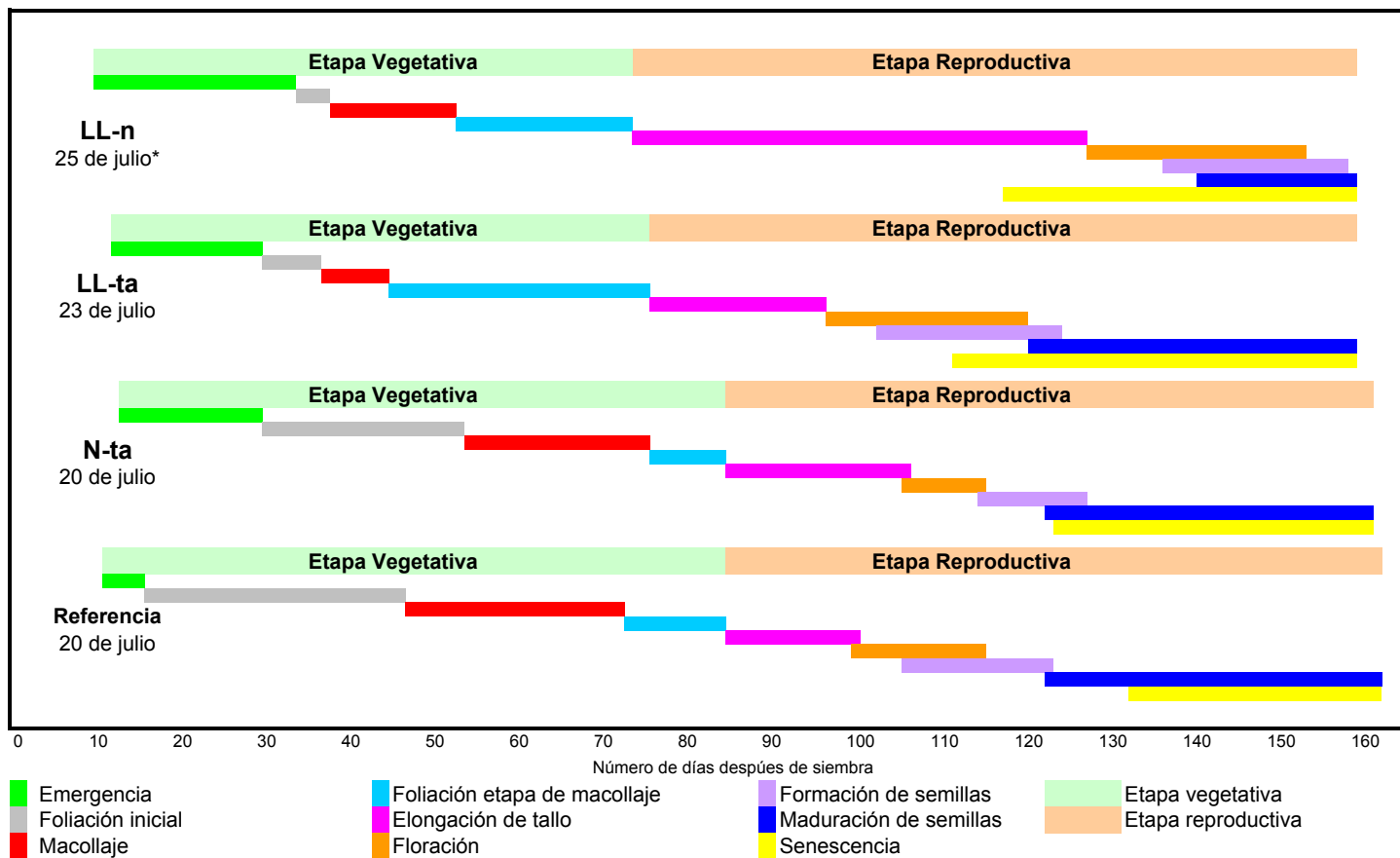


Figura 1. Ocurrencia de las fases fenológicas de *Avena barbata* a partir de la *siembra según la cantidad y distribución de las precipitaciones: lluvioso-normal (LL-n), lluvioso-tardío (LL-ta), normal-tardío (N-ta) y el tratamiento sin restricción hídrica (Referencia).

En el año normal tardío hubo fases que acortaron su duración como las de floración y formación de semillas, no así la de maduración que tuvo una duración similar a la observada en el año lluvioso tardío y en el tratamiento de referencia. La posible causa sería la escasa disponibilidad hídrica, lo que implicaría para este tipo de años mayor importancia de la distribución de las precipitaciones que del monto de estas.

Las fases de senescencia fueron generalmente largas, correspondiendo la de menor duración al tratamiento de referencia la que también se superpone por menos tiempo con la etapa de maduración comenzando después del inicio de ésta. Es destacable que en general, hay una mayor superposición entre las diversas fases de la etapa reproductiva

La duración de las etapas de *A. barbata* habrían sido afectadas por el régimen pluviométrico que recibieron (Anexo 3), ya que al existir mayor monto de precipitaciones, *A. barbata* alargaría la duración de sus ciclos, esto se observó en años lluviosos. Así, la etapa reproductiva además de abarcar mayor cantidad de días que la etapa vegetativa, tanto en la distribución normal como en la tardía, sería de mayor duración que en el resto de los tratamientos.

El año normal tardío presentó un ciclo de 162 días con una etapa vegetativa de mayor duración que en los años lluviosos, lo que le permitiría acumular reservas para la posterior etapa reproductiva

En general, el año lluvioso normal favorecería fases de mayor duración especialmente en emergencia, elongación de tallos y floración. Algo similar ocurriría en formación de semillas y senescencia en los años tardíos (Anexo 4). Al estar sin restricción hídrica (Referencia), esta especie alargaría las fases de macollaje y de maduración de semilla mientras que el resto de las fases restantes son de menor

duración. En los tratamientos (N-te) y (S-te) no se alcanzó todas las fases fenológicas, particularmente las de la etapa reproductiva, tanto por inicio tardío del tratamiento como por un estrés mecánico causado por las mediciones en relación con el calendario de lluvias que les correspondió.

Materia seca aérea y radical

La producción de materia seca aérea de *Avena barbata* sin restricción hídrica fue de 4,7 g/planta superior a cualquiera de los años estudiados. Al analizar sólo los resultados de los seis tratamientos experimentales se obtuvo la información ilustrada en la figura 2.

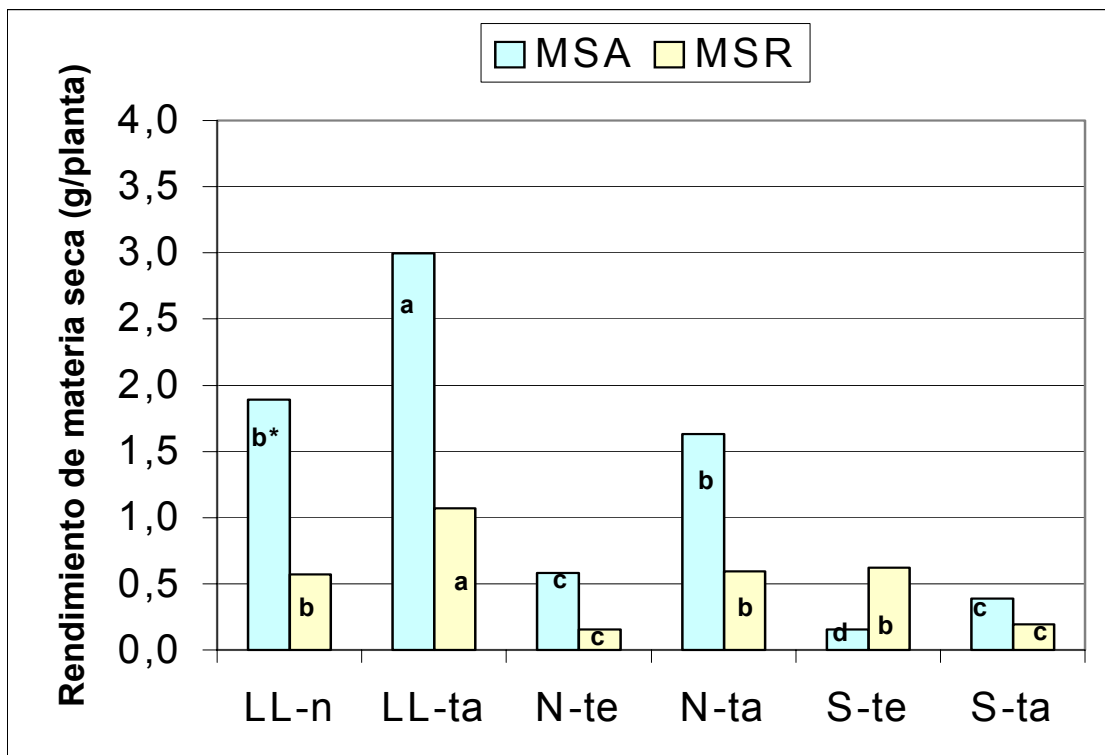


Figura 2. Producción de materia seca aérea (MSA) y radical (MSR) de las plantas de *Avena barbata* según cantidad y distribución de las precipitaciones.

* Letras distintas sobre columnas del mismo color indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

La cantidad de precipitación y su distribución fueron determinantes en la producción de MSA y MSR, siendo los años lluviosos los que favorecieron la mayor producción de MSA y los secos la menor (Figura 2). Si se compara el LL-n con el N-ta se observa que no hay diferencias en MSA y MSR, lo que hace pensar que la distribución de las precipitaciones en algunos casos pasa a ser más importante que el monto total de precipitaciones. Esto se podría explicar ya que, en el caso del año normal-tardío, la distribución tardía de la lluvia se combinó con mejores condiciones térmicas y permitió un mayor desarrollo de MSA. Esto se refuerza comparándolo con el año normal temprano. El mayor déficit hídrico en los tratamientos disminuiría la MS acumulada lo que se corrobora con lo obtenido por Turner y Begg (1977) y Aronson *et al.* (1993).

En producción de MSR el tratamiento de referencia alcanzó un valor de 0,8 g/planta. Destaca, a pesar de ello, el año lluvioso tardío que superó al tratamiento de referencia. En los años normal-temprano y seco-tardío se produjeron las menores cantidades de MSR. Esto se explicaría por la menor duración de su ciclo completo, además de la menor disponibilidad hídrica de estos tratamientos, lo que coincide con estudios realizados en festuca por Huang y Gao (2000). Entre los años lluvioso-normal, normal-tardío y seco-temprano no hay diferencias significativas, lo que confirma que para esta variable es importante la combinación de monto y distribución de la precipitación.

Las distribuciones tardías en años lluviosos y normales presentaron diferencias en MSA y MSR siendo menores las producciones en los normales. En año seco fue aún menor debido a la corta duración de su ciclo. Parece ser que en el caso de estas distribuciones tardías los años seco, normal y lluvioso producen MSA de acuerdo a la cantidad de agua disponible y a la temperatura a la que está sometida la planta en cada tratamiento, es decir la época del año (Anexo 2).

Se observó que la etapa de foliación en el año lluvioso tardío (Figura1) es

aparentemente más extensa que en el resto de los tratamientos utilizados, lo que explicaría la mayor acumulación de MSA.

En los años normal-temprano y seco-tardío, por el hecho de haber iniciado su ciclo 46 y 64 días después que el primer tratamiento, según el calendario utilizado, posiblemente se vieron afectados por las temperaturas elevadas (Anexo 1 y Anexo 2), lo que habría provocado una condición hídrica deficitaria con un menor desarrollo de fitomasa tanto aérea como radical. En el caso del año seco-temprano la producción MSR no se afectó y la menor producción MSA se explicaría por el mayor estrés que sufrió la parte vegetativa durante el proceso de medición del número y altura de hojas más el estrés provocado por no corresponder lluvias después según el calendario. La producción de MSR alcanzó valores similares a los obtenidos en año lluvioso normal, normal tardío y en el tratamiento de referencia.

Se sabe que la cantidad de agua disponible afecta el crecimiento de las raíces, esto se ratificó al observar una mayor producción de MSR en años lluviosos, una intermedia en años normales y una menor en años secos. Sería una excepción el año normal-temprano que, por la mayor duración de su ciclo, disminuyó su producción de MSA y MSR.

El sistema radical se modifica de acuerdo a las condiciones hídricas disponibles, alterando su longitud, densidad y rendimientos de materia seca (Huang y Gao, 2000; Huang y Fry, 1998).

La relación vástago/raíz (V/R) muestra cómo cambian las proporciones asignadas al crecimiento de cada sección en los distintos niveles de estrés y su alternación es una estrategia de las plantas, hecho que también señalan autores (González y Páez, 1995; Turner y Begg, 1977).

Es necesario destacar que el tratamiento de referencia mostró una elevada relación (6,2), siendo significativamente mayor al resto de los tratamientos.

Cuadro 1. Relación vástago/raíz (V/R) de *Avena barbata* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	Relación vástago/raíz g MSA/ g MSR
Lluvioso-normal (LL-n)	3,4 ab
Lluvioso-tardío (LL-ta)	2,8 ab
Normal-temprano (N-te)	4,3 a
Normal-tardío (N-ta)	3,0 ab
Seco-temprano (S-te)	0,3 c
Seco-tardío (S-ta)	2,3 b

* Letras distintas en la columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$)

Al expresar el crecimiento vegetativo como la relación V/R se observaron diferencias entre el año normal-temprano y los años secos (Cuadro 1). Además, se observó que a mayor disponibilidad hídrica, sea ésta por cantidad u oportunidad, mayor relación V/R, por lo que cabe suponer que la especie podría así acumular materia seca para el posterior llenado de estructuras reproductivas.

Sin embargo, cabe hacer notar que en el año normal-temprano la planta no alcanzó a desarrollar su ciclo completo (Anexo 3 y 4) y sólo produjo materia vegetativa aérea durante todo el período del ensayo, lo que se expresa en la alta relación V/R aquí expuesta y que es mayor a la alcanzada en años lluviosos ya que el sistema radical tuvo poco tiempo y menos nutrientes para desarrollarse.

Cantidad de crecimiento reproductivo

La expresión del crecimiento reproductivo en *Avena barbata* fue nula en los años (N-te), (S-te) y mínima en (S-ta) (Cuadro 2). En el resto de los tratamientos es importante la magnitud y características de la producción de semillas.

El tratamiento sin restricción hídrica fue superior al resto de los tratamientos en todas las variables, lo que muestra la importancia de la disponibilidad hídrica para que la especie exprese su potencial reproductivo, los valores obtenidos por planta fueron (282,1) frutos, con un peso de (1.040 mg), el peso de las semillas producidas (562 mg).y el número de tallos florales alcanzó un promedio de (7,7) por planta

Cuadro 2. Número de tallos florales (TF), peso de frutos (semillas más anexos), número de semillas totales (ST) y peso de las semillas (S) de *Avena barbata* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	TF (N°)	Peso de frutos (mg)	ST (N°)	S (mg)
Lluvioso-normal (LL-n)	1,16 *a	30 b	13,52 b	17 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	1,36 a	237 a	41,88 a	105 a
Normal-temprano (N-te)	0,00 b	0 b	0,00 b	0 b
Normal-tardío (N-ta)	1,29 a	215 a	34,49 a	108 a
Seco-temprano (S-te)	0,00 b	0 b	0,00 b	0 b
Seco-tardío (S-ta)	0,12 b	0 b	1,40 b	0 b

* Letras diferentes en una misma columna indican que existe diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0,05$)

Cabe destacar que en los años con distribución tardía, sean estos lluviosos o normales, no se presentó diferencias en número de tallos florales. Esto confirmaría la importancia que tiene el momento en que ocurren las precipitaciones más que el monto de éstas, para la producción de tallos florales.

Entre los tratamientos que formaron tallos florales y produjeron de semillas no se observó diferencias significativas en el número de tallos florales formados, a diferencia de lo observado en el número de semillas producidas. Cabría suponer que para la producción de semillas en *A. barbata*, es más importante el momento en el cual la planta tiene disponibilidad hídrica debido a las diferencias observadas entre ambos años lluviosos y la similitud entre (LL-ta) y (N-ta) (Cuadro 2). Los años con distribución tardía, sean éstos normales o lluviosos, no presentan diferencias en cuanto a producción de frutos en número o peso y en el peso de semillas lo que confirma lo anterior.

Cuando hay condiciones hídricas favorables para el crecimiento reproductivo de *Sesbania sp.*, Marshall *et al.* (1985) observaron que esta leguminosa produce mayor número de semillas. En plantas de soya, cuando el estrés hídrico ocurre durante la floración hay mayor número de abortos, deterioro de pistilos y estambres y finalmente menor producción de estructuras reproductivas (Kokubun *et al.*, 2001).

Al analizar la producción total de frutos expresada en peso (semillas más los anexos), los años lluviosos estudiados se comportaron de distinto modo según la distribución de lluvias, presentando el año tardío un mayor peso que el de distribución normal aunque tenían igual número de tallos florales. Por lo que es posible suponer que las distribuciones tardías son favorables para el proceso de llenado y maduración de semillas. Esto se ratifica al observar que los años con distribución tardía, sean estos lluviosos o normales, no presentaron diferencias en esta variable, siendo ambos favorables para *A. barbata*. Además, el año lluvioso normal presentó menor peso de frutos completos que en el año normal-tardío. El año N-ta produce frutos que no presentan diferencias en lo peso con el año LL-ta. Por todo esto cabe suponer que *A. barbata* regula su crecimiento reproductivo según el momento de la etapa reproductiva en el que tiene disponibilidad hídrica más que por el monto disponible durante el ciclo completo.

El peso de semillas (S) en años lluviosos tardíos es mayor que en lluviosos normales. Años normales tardíos no presentan diferencias con años lluviosos tardíos. Por lo tanto, para el transporte de asimilados hacia estas estructuras es relevante el efecto que causa la distribución pluviométrica en la especie.

En los años N-te, S-te y S-ta no se produjo suficiente cantidad de semillas para poder estimar el peso de semillas y anexos.

Calidad de semillas

La calidad de semillas se evaluó sólo en aquellos tratamientos que produjeron una cantidad suficiente para realizar las mediciones, excluyéndose por esto los tratamientos normal-temprano y seco-temprano ya que estos no produjeron semillas.

Cuadro 3. Número de semillas llenas y vanas y peso de anexos del fruto de *Avena barbata* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	Número de semillas		Peso de anexos (mg)
	Llenas (N°)	Vanas (N°)	
Lluvioso-normal (LL-n)	5,08 *b	8,44 b	14 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	27,32 a	14,56 a	132 a
Normal-tardío (N-ta)	26,57 a	7,92 b	107 a
Seco-tardío (S-ta)	0,48 b	0,92 c	0 **

* Letras diferentes en una misma columna indican diferencias significativas entre los tratamientos ($P \leq 0,05$).

** El año seco tardío se excluyó del análisis de varianza por el escaso número de semillas obtenidas, lo cual no permitió obtener el peso de los anexos

En el Cuadro 3 se observa que la cantidad de semillas llenas en el año LL-ta es mayor que en el año LL-n. También se puede apreciar que el año N-ta se comporta de

igual modo que el año LL-ta, por lo que las distribuciones tardías son más favorables y el monto de precipitaciones no influyó en esta variable, sino más bien, la distribución es lo determinante para el número de semillas llenas. No obstante, el tratamiento de referencia produjo 130 semillas llenas superando varias veces la producción de los regímenes anteriores.

El número de semillas vanas en el tratamiento de referencia alcanzó un alto valor (152,1) lo que podría deberse a que el número de semillas totales también es alto por lo cual aumenta el número de semillas vanas obtenidas por planta en este tratamiento. Así en el año seco tardío el número de semillas vanas sería escaso, debido a la escasa producción de semillas.

En cuanto al peso de los anexos, los años con distribución tardía tanto lluviosos como normales, produjeron mayor peso de anexos que el resto de los tratamientos. Lo que se observó en el año LL-n en el cual se alcanzó bajos pesos de anexos.

Al expresar el total de semillas llenas con respecto al total de semillas producidas (Figura 3), se aprecia que esta relación fue mayor en años con distribución tardía ya sea normal o lluvioso, aunque este último LL-ta no difiere del LL-n, por cuanto la distribución tardía habría favorecido el destinar los asimilados hacia estas estructuras. En el año lluvioso-normal la producción de semillas llenas fue menor que en año normal-tardío, por lo tanto, el monto de la precipitación no sería tan importante para esta variable como su distribución durante el ciclo de la especie. Esto coincide con los autores Nielsen y Nelson (1998) que señalan que es importante el momento en el cual se distribuyen las precipitaciones para la producción de semillas de soya afectando el número y peso de estas. Kobata *et al.* (1992) en trigo determinaron que la humedad afecta el llenado de las semillas no el número de estas. En maíz, Westgate (1994), determinó que los periodos más sensibles al déficit hídrico son la antesis y llenado de grano.

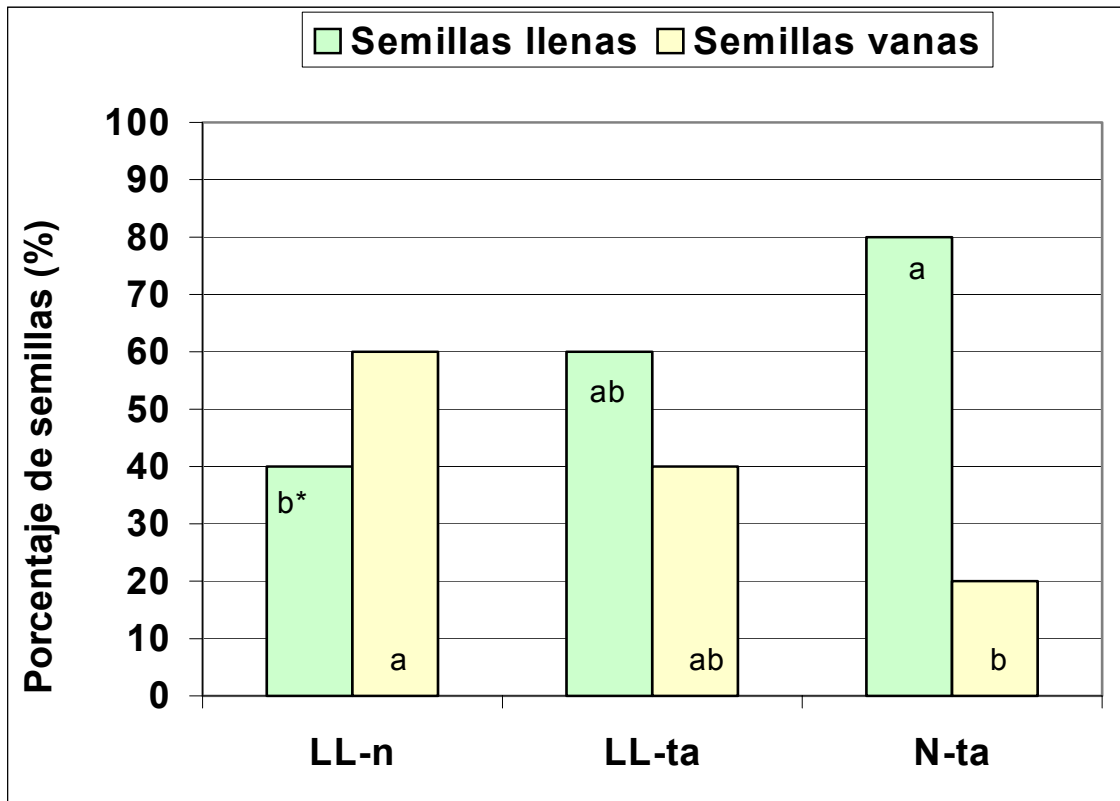


Figura 3. Porcentajes de semillas llenas y vanas producidas por *Avena barbata* según cantidad y distribución de la precipitación anual

Letras distintas en columnas de igual color indican que existe diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

El porcentaje de semillas llenas fue mayor en el año normal tardío (77,5%) superando incluso al tratamiento de referencia (46,3%), en el primer análisis. El año seco tardío se eliminó del análisis estadístico para esta variable debido al escaso número de semillas recolectadas por planta (1,4) en comparación con el resto de los tratamientos.

A pesar de no disponer del número adecuado de semillas suficientes para completar las cinco repeticiones, se pesó 100 de frutos y separadamente sus anexos para establecer el peso de sus semillas. Mientras que los pesos de los 100 frutos variaron entre 604 mg para año LL-n y 868 mg para LL-ta, los de los anexos lo hicieron entre 279

y 483 mg para LL-n y LL-ta, respectivamente. Finalmente el peso de las semillas varió entre 325 y 432 mg para LL-n y el tratamiento de referencia, respectivamente.

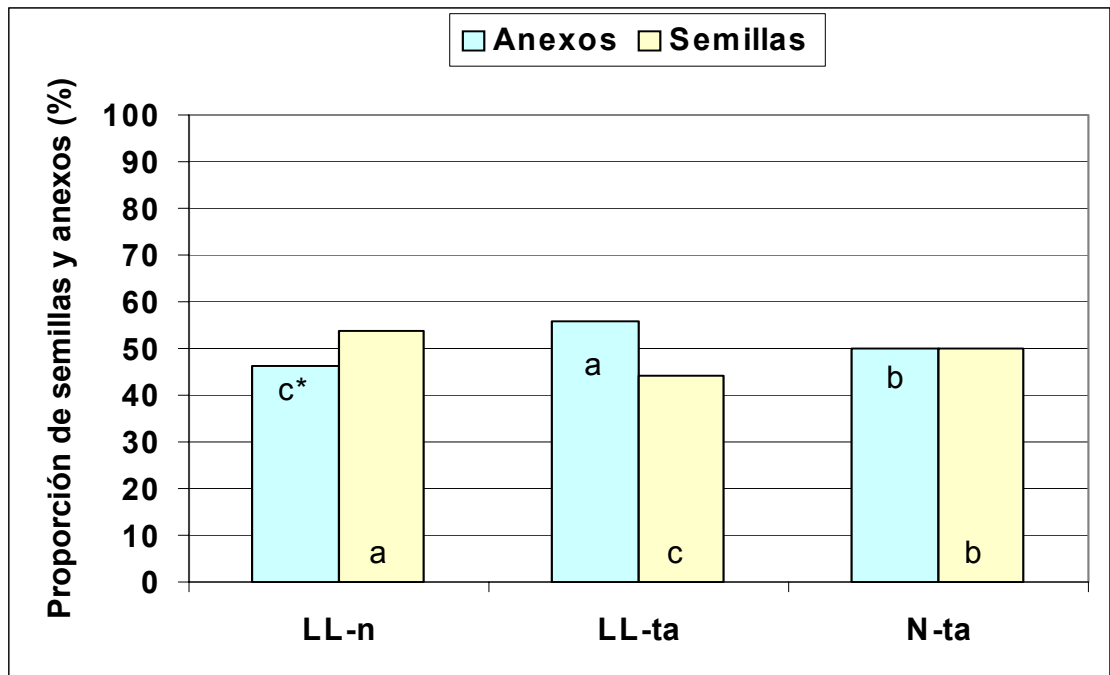


Figura 4. Proporción relativa de anexos y de semillas desnudas respecto al peso total de frutos (%) obtenidos en *Avena barbata*, según cantidad y distribución de las precipitaciones.

*Letras distintas en columnas de igual color indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

El porcentaje de anexos con respecto al peso total de frutos ($A/S+A$) en el tratamiento de referencia fue de 46 %, cifra significativamente inferior a la de años con restricción hídrica que produjeron semillas. En los años lluviosos con distribución tardía, el porcentaje de anexos fue mayor que en la distribución la normal, en cambio, en años normales la distribución tardía tuvo un mayor porcentaje. Esta variable indicaría hacia donde destina sus nutrientes la especie cuando se encuentra en distintas condiciones hídricas.

En el año normal-tardío la especie superó significativamente la proporción de anexos del año lluvioso-normal, dado que en distribución tardía se produjo mayor proporción de anexos que en distribución normal. Esto confirma la importancia tanto del monto como de la distribución de las precipitaciones para el desarrollo de una mayor o menor proporción de estructuras anexas.

En el tratamiento de referencia la proporción de semillas respecto al peso de los frutos fue 54 %.

En el año lluvioso-normal se obtiene un mayor porcentaje de peso de semillas (S) que en año lluvioso-tardío. Dentro de las distribuciones tardías, el año normal-tardío alcanzó un mayor porcentaje de peso de semillas (S) con relación al año lluvioso-tardío.

Cabe señalar que en los porcentajes de germinación y de viabilidad y en el tamaño de semillas no hubo diferencias significativas entre las medias de los regímenes pluviométricos, incluso considerando el tratamiento sin restricción hídrica, como lo corrobora la información del Cuadro 4.

Cuadro 4. Porcentajes de germinación y de viabilidad y tamaño de la semilla de *Avena barbata* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	Germinación (%)	Viabilidad (%)	Tamaño (mm)
Lluvioso-normal (LL-n)	78,7 *a	90,6 a	6,37 a
Lluvioso-tardío (LL-ta)	84,7 a	92,3 a	6,53 a
Normal-tardío (N-ta)	91,1 a	95,9 a	6,40 a
Referencia	89,9 a	96,1 a	6,31 a

* Letras distintas en una misma columna indican diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

En lo que se refiere a germinación no se observó diferencias entre los tratamientos que produjeron semillas, a diferencia de lo planteado por Fenner (1992),

quien concluyera que a, mayor disponibilidad hídrica menores son los tamaños de las semillas y los porcentajes de germinación.

Las semillas viables son aquellas que cuentan con las características necesarias aparentes para una posterior germinación exitosa, sin embargo, no siempre germinan en las pruebas de germinación a pesar de ser viables

En los tamaños de semillas tampoco hubo diferencias entre los tratamientos.

Índices reproductivos

El efecto de los distintos tratamientos sobre la asignación de recursos (Cuadro 5), hacia los tejidos reproductivos se puede apreciar a través del índice reproductivo (IR) y del índice de eficiencia reproductiva (IER).

En el tratamiento de referencia se alcanzó un índice de eficiencia reproductiva (IER) de 0,2; que fue el doble de lo obtenido en el tratamiento más favorable sometido a condiciones de restricción hídrica, esto indicaría la importancia del monto de la precipitación para que *A. barbata* sea eficiente reproductivamente.

El IR del tratamiento de referencia es de 20,17, por lo tanto, en condiciones de ausencia de déficit hídrico la especie destina gran cantidad de sus recursos para producir semillas. Entre años con distribuciones tardías, sean éstos lluviosos o normales, no existen diferencias.

Cuadro 5. Índices de eficiencias reproductivas (IER) e índices reproductivos (IR) obtenidos en distintos tratamientos de *Avena barbata*.

TRATAMIENTOS	IER	IR
Lluvioso-normal (LL-n)	0,01 *c	5,6 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	0,06 b	9,9 ab
Normal-tardío (N-ta)	0,10 a	14,4 a
Seco-tardío (S-ta)	0,00 c	2,6 b

*Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

Las especies son dinámicas y tienen estrategias para sobrevivir en condiciones críticas, cambiando su biomasa reproductiva, ya sea en número y/o tamaño de sus estructuras (Aronson *et al.*, 1993).

Con los índices reproductivos calculados para *Avena barbata* se mostró que el año normal-tardío fue favorable para destinar mayor cantidad de recursos a la producción de semillas y cambió su asignación en estas condiciones (Cuadro 5). Cabe recordar que en año normal-temprano, seco-temprano y seco-tardío, no hubo producción de semillas o si la hubo, ésta fue mínima. Al analizar la eficiencia de la especie en la distribución de sus recursos en distintos años pluviométricos, resultó ser más eficiente el año normal-tardío y es menos eficiente el seco-tardío.

Es destacable que en cuanto a la forma cómo la planta destina sus recursos no existen diferencias entre año lluvioso-tardío y año normal-tardío; sin embargo, si hubo diferencia en la eficiencia (IER) con la cual la especie lo hace. Esto se constata por el cambio en la asignación de recursos para adaptarse a distintos medios en los cuales esta especie se desarrolla y produce más semillas llenas.

Hordeum murinum

Observación del desarrollo fenológico en los distintos regímenes

En la figura 5 se observan las distintas fases del ciclo anual de *Hordeum murinum* sometido a distintas condiciones hídricas. Se aprecia una marcada separación de sus fenofases desde emergencia a macollaje, no así en el resto de las fases de las etapas reproductivas que se superponen, esto ocurre en todos los tratamientos.

Las etapas vegetativas presentaron similar duración en todos los tratamientos. Las diferencias se observan en las etapas reproductivas en donde la disponibilidad hídrica parece ser más importante.

Sin embargo, dentro de la etapa vegetativa podemos ver que, en el año lluvioso-tardío, la emergencia tuvo una mayor duración, esto pudo deberse a la falta de oxígeno para el desarrollo de las raíces por saturación del suelo con agua, como fuera comprobado por Benjamin (1990).

El año normal-tardío presentó una fase de macollaje sin una fase definida de foliación. Esta fase de macollaje fue más extensa que el resto y en ésta incluso se superponen esta fase con la de elongación de tallos.

En cuanto a la duración de la etapa reproductiva se observó que es la más afectada por los regímenes pluviométricos. En el año normal-tardío, su duración fue considerablemente menor al resto, en consecuencia la especie posiblemente acorta sus ciclos dada su escasa disponibilidad hídrica. Esto se avalaría en que el tratamiento de referencia presentó el ciclo vital más largo y la etapa reproductiva más extensa.

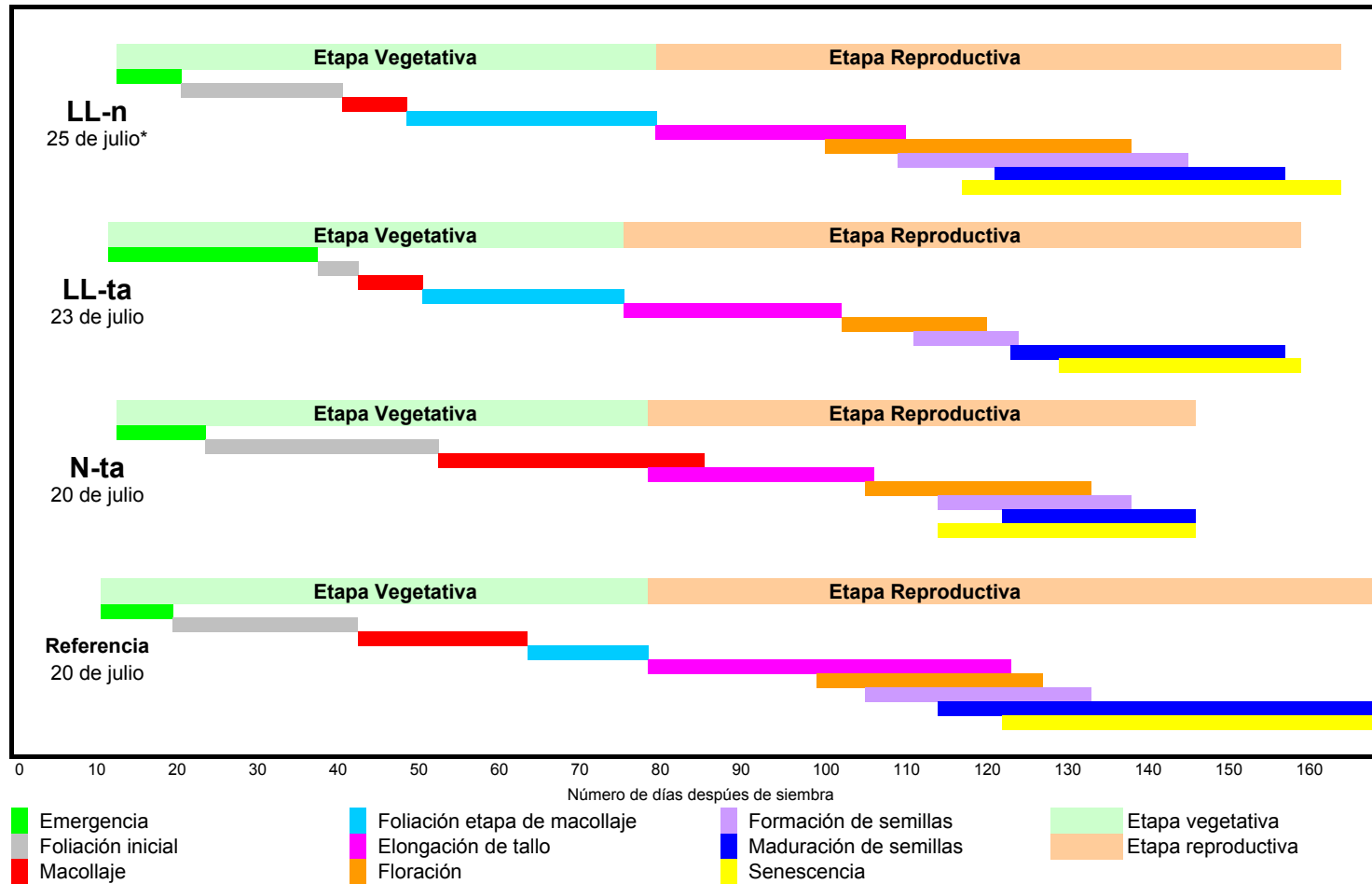


Figura 5. Ocurrencia de las fases fenológicas de *Hordeum murinum* a partir de la *siembra según la cantidad y distribución de las precipitaciones: lluvioso-normal (LL-n), lluvioso-tardío (LL-ta), normal-tardío (N-ta) y el tratamiento sin restricción hídrica (Referencia).

Los años lluviosos tienen similar extensión de ciclo. Dentro de la etapa vegetativa se observaron diferencias en la fase de emergencia entre ambas distribuciones. En la etapa reproductiva las distribuciones no afectaron la fase de maduración de las semillas ya que se presentaron ambas en similar fecha y con una duración semejante. Esto se debería a que el déficit hídrico ocurrió en distintas fases para ambos tratamientos.

Sin embargo, las dos distribuciones de años lluviosos se comportaron de manera distinta en las fases de floración, formación de semillas y senescencia.

Se puede ver en la figura 5 que sin restricción hídrica (referencia), la especie alargó su ciclo y presentó un periodo de maduración considerablemente mayor al resto de los tratamientos. La fase de elongación de tallos también presenta mayor duración con respecto a los demás tratamientos y la fase de senescencia se inició más tarde.

El monto de las precipitaciones acortaría o alargaría los ciclos de esta especie, de acuerdo a si estos son mayores o menores, siendo el tratamiento de referencia el que presentó una duración de ciclo completo más extenso, seguido del año lluvioso-normal y tardío y finalmente el año normal tardío (ver anexo 5).

En años lluviosos la etapa reproductiva fue más extensa que la vegetativa, lo mismo ocurrió en el tratamiento de referencia. En el año normal-tardío la etapa vegetativa fue de mayor duración que la reproductiva, lo que implica que esta especie produciría material vegetativo suficiente para sostener la posterior producción de semillas. Johnston *et al.* (2003) señalan que ésta sería una forma de asegurar la producción y mantener reservas para llenar las estructuras reproductivas cuando las condiciones sean favorables para la inducción floral, llenado y maduración de semillas. Además de ser éste el año que presentó menor duración del ciclo completo, la especie acortaría sus fases para adaptarse a las condiciones a las cuales está sometida. Así, la

especie al verse sometida a estrés acorta sus ciclos como ocurre en los años normal-temprano, seco-temprano y seco-tardío. Siendo en éstos la etapa reproductiva la más afectada, ya que la etapa vegetativa se comporta en forma similar al resto de los tratamientos.

Un monto de precipitaciones menor afectó el desarrollo de la especie acortando la duración de sus fases fenológicas, incluso haciendo desaparecer algunas, como ocurrió en los años secos temprano y tardío al igual que en año normal-temprano (Anexo 6).

Las fases de elongación de tallos y maduración de semillas tendrían mayor duración en los años lluviosos y presentarían una fase de macollaje más corta que el resto de los tratamientos. En el tratamiento de referencia, la fase de maduración de semillas sería la más prolongada.

También hay que considerar que los tratamientos seco-tardío y normal-temprano comenzaron 64 y 46 días después de iniciado el primer tratamiento por lo cual estas plantas también podrían haberse afectado negativamente por las altas temperaturas y mayor fotoperiodo de la época (Anexo 2). Además, en el caso de año seco-temprano, influyó el estrés provocado por el calendario utilizado y las mediciones realizadas en las fases fenológicas.

Materia seca aérea y radical

El tratamiento de referencia en *Hordeum murinum* alcanzó un valor de 2,63 g de materia seca aérea por planta, el que sorprendentemente fuera inferior al obtenido en el año lluvioso-tardío.

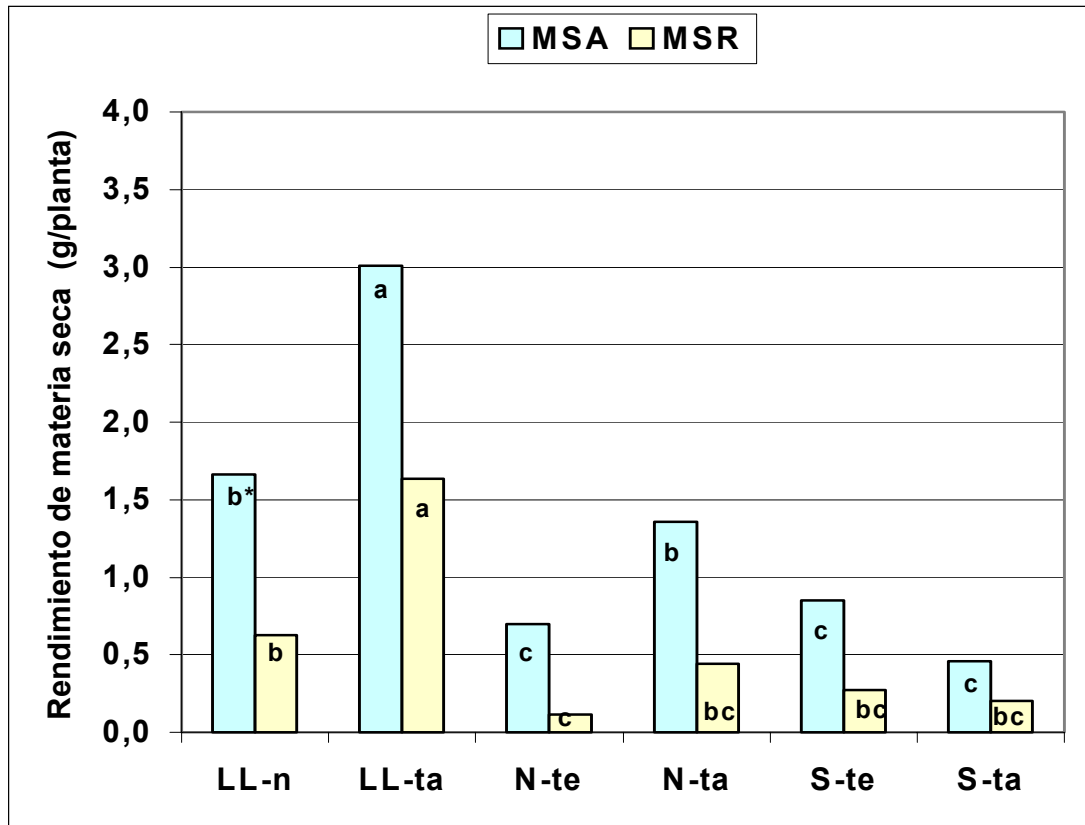


Figura 6. Producción de materia seca aérea (MSA) y radical (MSR) de las plantas de *Hordeum murinum* según cantidad y distribución de las precipitaciones.

* Letras distintas sobre columnas del mismo color indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

La disponibilidad hídrica en *Hordeum murinum* determinó la cantidad de materia seca acumulada en la parte aérea, ya que el año lluvioso-tardío presentó mayor acumulación de MS pero igualó al tratamiento de referencia (3,0 g). Los años secos fueron los de menor producción de materia seca aérea, al igual que el año normal-temprano ya que, en general, a menor disponibilidad hídrica la acumulación de materia seca aérea disminuye. En los años normal-temprano y seco-tardío se produjo menor cantidad de biomasa aérea, lo que se explicaría por las menores duraciones de sus ciclos

(Anexo 5). Al respecto, se sabe que el área foliar disminuye en condiciones de déficit hídrico por una reducción en la expansión y desarrollo foliar (González y Páez, 1995).

Al analizar las distribuciones (Figura 6), se observó que las tardías superan a la normal en los años lluviosos y a las tempranas en los años normales, mostrando una producción de MSA superior, cabe destacar más aún el caso del año lluvioso que igualó al tratamiento de referencia y el año normal-tardío igualó al lluvioso-normal.

La cantidad de agua y el momento en que ocurren las lluvias afectó también el crecimiento radical de *H. murinum* (Figura 6). Resultó muy favorable el año lluvioso-tardío, ya que la MS de raíces incluso igualó al obtenido en condiciones sin restricción hídrica (1,35 g MSR/ planta). Estos resultados indicarían que esta especie, a pesar de tener disponibilidad hídrica, no destina mayormente sus asimilados al desarrollo de fitomasa vegetativa aérea y de raíces sino que más bien a la de estructuras reproductivas.

En un año normal-tardío se comporta como en el año lluvioso normal, a pesar de la gran diferencia en los montos totales de las precipitaciones, lo cual corrobora que el factor distribución pluviométrica es el más importante para el desarrollo de fitomasa radical. González y Páez (1995) señalan que la respuesta al estrés hídrico depende del estado de desarrollo de la planta al momento del déficit y de la especie.

Si bien es cierto que esta especie presenta diferencias en la materia seca aérea desarrollada en los distintos años, en lo que se refiere a materia seca radical tiene un comportamiento similar en la mayor parte de los años estudiados, con exclusión del año lluvioso tardío que, al parecer, otorga condiciones favorables para que la especie desarrolle la fitomasa total y del año normal temprano que, por la corta duración de su ciclo, alcanzó un menor desarrollo radical.

Al analizar la relación vástago/raíz (V/R) se observa cómo *H. murinum* es capaz de ajustar sus proporciones de fitomasa asignada a estas estructuras y por lo tanto qué destina a tejido vegetativo y reproductivo (Cuadro 6). El tratamiento de referencia alcanzó en esta relación un valor de 2,67 igual al lluvioso-normal.

Cuadro 6. Variación de la relación vástago/raíz (V/R), de *Hordeum murinum* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	Relación vástago/raíz G MSA/ g MSR
Lluvioso-normal (LL-n)	2,67 *b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	2,05 b
Normal-temprano (N-te)	6,69 a
Normal-tardío (N-ta)	3,23 b
Seco-temprano (S-te)	3,04 b
Seco-tardío (S-ta)	2,53 b

* Letras distintas en la columna indican diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

En la relación V/R sólo el año normal temprano difiere del resto de los tratamientos estudiados. En el año normal-temprano habría una mayor proporción de recursos para la producción de fitomasa aérea respecto a la de las raíces (Cuadro 6). Cabe destacar, sin embargo, que en el año normal-temprano la especie no completó su ciclo (Anexos 5 y 6) y sólo produjo materia vegetativa aérea durante todo el período del ensayo, lo que contribuiría a la alta relación V/R ya que el sistema radical tuvo pocos recursos para desarrollarse. Lo mismo habría ocurrido en *Avena barbata*.

Cuando no hubo restricción hídrica *Hordeum murinum* se comportó igual al año lluvioso-normal. La capacidad de esta especie de asignar sus recursos al vástago podría explicar su éxito en años en que las precipitaciones son menos favorables para las otras especies de la pradera natural.

Cantidad de crecimiento reproductivo

En todos los parámetros analizados los mayores valores se obtienen en el tratamiento de referencia: (11,2) n° tallos florales; (250,7) semillas totales; (1679 mg) peso de frutos; (77 mg) peso de semillas. Lo que indicaría que cualquier restricción hídrica reduce las estructuras reproductivas producidas por planta en *Hordeum murinum*

Se observó que en los años secos con ambas distribuciones y en el año normal-temprano el desarrollo reproductivo fue nulo (Anexo 5 y 6). Sin embargo, fue importante en años lluviosos con ambas distribuciones y en año normal con distribución tardía (Cuadro 7).

Cuadro 7. Número de tallos florales (TF), peso de frutos (semillas más anexos), número de semillas totales (ST), y peso de las semillas (S) de *Hordeum murinum* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	TF (N°)	Peso de frutos (mg)	ST (N°)	S (mg)
Lluvioso-normal (LL-n)	1,08 *b	58 b	16,72 b	33 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	0,88 b	88 b	19,68 b	37 b
Normal-tardío (N-ta)	1,91 a	210 a	45,01 a	72 a

*Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

Al analizar sólo los años lluviosos se observó que para los parámetros analizados la planta se comporta de la misma forma frente a una distribución normal o tardía.

Respecto a las distribuciones tardías en cambio, sí se observan diferencias entre los años lluvioso y normal, tanto en cantidad como en peso, siendo este último superior en todas las variables reproductivas medidas.

Si bien es cierto, en todas las variables el año normal-tardío fue superior, en el caso del número de tallos florales, esta diferencia numérica no fue tan considerable en el resto de las variables. Esto indicaría que la diferencia entre los tratamientos se atribuyen a factores ligados a la producción y traslado de asimilados por un lado y al crecimiento y desarrollo de semillas por otro, más que al cambio potencial de sitios de semillas (Cuadro 7). Esto coincide con lo planteado por Johnston *et al.* (2003).

Calidad de semillas

En los parámetros de calidad de semillas se excluyen los tratamientos normal-temprano y secos temprano y tardío, dado que no las produjeron. En el tratamiento de referencia es destacable el alto número de semillas llenas por planta (182,2) así como el de vanas (68,49). Además, alcanzó un peso de anexos de 914 miligramos por planta, todos valores superiores al resto de los tratamientos.

Cuadro 8. Número de semillas llenas y vanas y peso de anexos del fruto de *Hordeum murinum* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	Número de semillas		Peso de anexos (mg)
	Llenas (N°)	Vanas (N°)	
Lluvioso-normal (LL-n)	11,62 *b	5,46 b	25 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	11,72 b	7,95 b	51 b
Normal-tardío (N-ta)	30,90 a	14,11 a	142 a

* Letras distintas en una misma columna indican que hay diferencias significativas entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

El Cuadro 8 muestra que la mayor producción de semillas llenas y vanas se obtuvo en año normal-tardío y que los lluviosos no difieren entre sí, aunque hay valores superiores en semillas vanas para el año lluvioso-tardío.

A pesar de la imposibilidad de obtener un número suficiente de semillas para completar todas las repeticiones, se midió el peso de 100 frutos, anexos y semillas. Se observó que los valores fluctuaban para peso de fruto entre 514 mg en el año LL-n y 921 mg en el tratamiento de referencia, para el peso de anexos entre 221 mg LL-n y 502 mg en el de referencia, en el peso de semillas entre 232 mg N-ta y 419 mg en el de referencia.

La proporción de semillas llenas así como la de vanas en los tratamientos con restricción hídrica que las produjeron, no presentaron diferencias significativas.

Al estar la planta sin restricción hídrica (referencia), la proporción de semillas llenas fue de 73% y la de vanas de 27%. Por lo que cabe suponer que esta especie cuando está sin restricción hídrica destina sus asimilados al llenado de semillas. Este valor revelaría la importancia del traslado de asimilados para la fase de llenado de semillas en *H. murinum*. Este resultado es corroborado por Westgate (1994) quien concluyó que en maíz, es determinante la distribución de las precipitaciones durante las fases de anthesis y llenado de grano, pues sólo en éstas fases, se remobilizan las reservas de las hojas y tallos.

Por otro lado se observa que las distribuciones tardías favorecen una mayor proporción de anexos, siendo el año normal superior al lluvioso (Figura 7). Además, se puede ver que el porcentaje de anexos es mayor en el año normal-tardío seguido del año lluvioso-tardío y finalmente la menor proporción de anexos se obtuvo en año lluvioso-normal. Cabría pensar que año normal-tardío otorga condiciones favorables para el crecimiento de estructuras reproductivas (frutos), pero año lluvioso-normal entrega las condiciones necesaria para destinar los asimilados a las semillas. Una vez fijado el número de semillas el mayor o menor peso de estas dependería de la disponibilidad hídrica durante el llenado de estas estructuras, para producir asimilados y trasladar aquellos de reserva (Johnston *et al.*, 2003).

La proporción de semillas es mayor en el año lluvioso normal y menor en el año normal tardío. En años lluviosos normales se produce un menor número total de semillas (Cuadro 7) pero éstas tienen menor proporción de anexos y semillas desnudas de mayor peso que en el año lluvioso-tardío y normal-tardío. Esto demuestra la estrategia reproductiva que realiza la especie para producir semillas de mejor calidad destinando mayor cantidad de asimilados al llenado de estas estructuras.

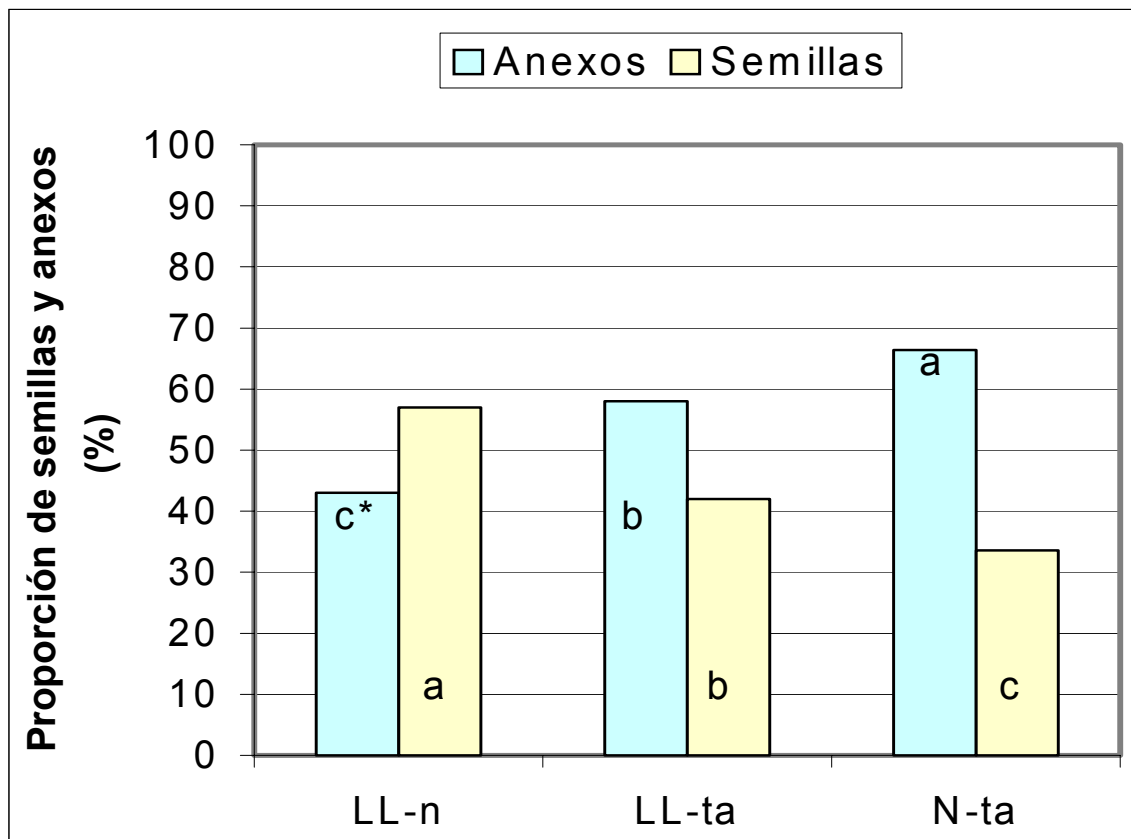


Figura 7. Proporción relativa de anexos y de semillas desnudas respecto al peso total de frutos (%) obtenidos en *Hordeum murinum*, según cantidad y distribución de las precipitaciones.

* Letras distintas en columnas de igual color indican que existen diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

En el tratamiento de referencia la proporción de anexos fue de 55 % y el de semillas de 45%, lo que mostró que, en estas condiciones, la planta dispondría de suficientes asimilada, tanto para producción de semillas como de anexos, siendo adicional el gasto en estos últimos.

El Cuadro 9 muestra que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos respecto a la capacidad de germinación y viabilidad total, por lo que en este cuadro se incluyeron para el análisis estadístico de los valores del tratamiento de referencia

El año lluvioso tardío produjo semillas de mayor tamaño que el tratamiento de referencia, si bien estas semillas fueron de menor peso y, por consiguiente de menor densidad, es decir con menos reservas. No se observó diferencias significativas entre los tratamientos.

Cuadro 9. Porcentajes de germinación y de viabilidad y tamaño de la semilla de *Hordeum murinum* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

TRATAMIENTOS	GERMINACIÓN (%)	VIABILIDAD (%)	TAMAÑO (mm)
Lluvioso-normal (LL-n)	95 *a	97 a	5,57 a
Lluvioso-tardío (LL-ta)	93 a	96 a	6,09 a
Normal-tardío (N-ta)	98 a	99 a	5,83 a
Referencia	96 a	98 a	5,59 a

* Letras distintas en una misma columna indican que existen diferencias entre los distintos tratamientos ($P \leq 0,05$)

Índices reproductivos

El índice reproductivo (IR) en el tratamiento de referencia alcanzó un valor de 43,49 y el índice de eficiencia reproductiva (IER) fue de 0,429. Ambos valores son muy superiores a los de cualquier otro tratamiento de este ensayo.

Cuadro 10. Índices de eficiencias reproductivas (IER) e índices reproductivos (IR) obtenidos en distintos tratamientos de *Hordeum murinum*.

TRATAMIENTOS	IR	IER
Lluvioso-normal (LL-n)	6,98 *b	0,03 b
Lluvioso-tardío (LL-ta)	4,22 b	0,02 b
Normal-tardío (N-ta)	21,7 a	0,12 a

* Letras distintas en una misma columna indican que hay diferencias entre tratamientos ($P \leq 0,05$).

Las distribuciones pluviométricas habrían alterado la asignación de recursos hacia los tejidos reproductivos (Cuadro 10). Los índices reproductivos (IR) calculados de *Hordeum murinum* muestran que el año normal-tardío es significativamente más favorable pues destina mayor cantidad de asimilados para fabricar más unidades de semillas en comparación con el resto de los tratamientos. Los años lluviosos, tanto normal como tardío, fueron inferiores y no presentaron diferencias entre sí por lo que el monto y la distribución de las precipitaciones es importante para este índice.

Al referirse al índice de eficiencia, el que determina la cantidad total de estructuras reproductivas hacia las cuales la especie destina sus recursos, los años normales tardíos serían los más favorables para *Hordeum murinum* y significativamente distintos a los años lluviosos sean estos con distribución normal o tardía. Esto significaría que la especie adaptaría la asignación de asimilados hacia las semillas, aumentando la proporción de asimilados destinada desde el vástago hacia estas estructuras.

Observaciones generales del crecimiento en *Avena barbata* y *Hordeum murinum*

A partir de las observaciones realizadas durante el crecimiento (Anexo 7 y 8) es conveniente hacer notar que:

1- En el caso de *Avena barbata*:

- En aquellos años que tenían mayor disponibilidad hídrica se observó un mayor número de hojas, macollos y tallos. Además, la altura de las plantas no parece presentar una respuesta directa al nivel hídrico disponible.

- El número de hojas senescentes en la primera medición fue menor en el tratamiento de referencia.

- El año lluvioso tardío que presentó la mayor producción de semillas (sin considerar el de referencia) fue el que en la primera medición tenía el mayor número de tallos.

2-. En el caso de *Hordeum murinum* se constató que:

- A mayor disponibilidad hídrica mayor número de hojas, macollos y tallos.

- La altura de las hojas no responde a la disponibilidad hídrica ya que el tratamiento de referencia en la primera medición tuvo un menor número de hojas senescentes que el resto de los tratamientos evaluados, además éste fue el año con mayor producción de semillas para esta especie.

- El tratamiento de referencia presentó el valor más bajo de número de hojas senescentes, lo que indicaría la importancia de la disponibilidad hídrica para mantener la masa foliar.

CONCLUSIONES

- A mayor disponibilidad hídrica *Avena barbata* produce mayor cantidad de materia seca total, privilegiando el destino de los asimilados hacia el vástago.
- Para la producción de semillas en *Avena barbata* es importante tanto la distribución como la cantidad de las precipitaciones. Las distribuciones tardías son más favorables para esta especie.
- La calidad de semillas producidas en *Avena barbata*, expresada a través de germinación, viabilidad y tamaño, no presenta diferencias en los distintos regímenes hídricos que permitieron alcanzar la etapa de fructificación.
- A mayor cantidad de precipitaciones *Hordeum murinum* produce mayor cantidad de materia seca total. Esta especie destina gran parte de sus recursos hacia la producción de semillas, siendo ésta una importante estrategia para adaptarse a distintas condiciones hídricas.
- La calidad de semillas de *Hordeum murinum*, en cuanto a germinación y viabilidad, no se ve afectada por la disponibilidad hídrica.
- En ambas especies se constató que, a mayor cantidad de semillas producidas, menor es su peso, cuando las plantas se expusieron a déficit hídrico; así como también que en las dos especies se obtuvieron mayores producciones de semillas y estas resultaron con mayor peso cuando no hubo restricción hídrica.
 - Los regímenes pluviométricos elegidos por ser favorables o desfavorables en la producción de *Bromus berterianus* también lo fueron para *Avena barbata* y *Hordeum murinum*.

LITERATURA CITADA

ACUÑA, H. 1978. Relaciones entre productividad primaria y pluviometría en una pradera anual de la zona mediterránea semiárida de Chile. Tesis Mg. Sc. , Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. 60p.

AGUILA, H. 1962. Pastos y empastadas. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 310p.

ARMESTO, J., VIDIELLA, P. and GUTIÉRREZ, J. 1993. Plant communities of the fog-free coastal desert of Chile: plant strategies in fluctuating environment. *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 271-282.

ARONSON, J., KIGEL, A. and SHMIDA, A. 1993. Reproductive allocation strategies in desert and mediterranean populations of annual plants grown with and without stress. *Oecology* 93: 336-342

BENJAMIN, L. R. 1990. Variation in time of seedling emergence within populations: a feature that determines individual growth and developments. *Advances in Agronomy* 44:1-26.

BECK, C. 1993. Evaluación de la emergencia de siete especies de la pradera anual mediterránea bajo cuatro niveles de humedad de suelo. Memoria de Título Ing. Agrónomo, Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agrarias y Forestales. 84p.

CALLAWAY, R. and SABRAW, C. 1994. Effects of variable precipitation on the structure and diversity of a California salt marsh community. *Journal of Vegetation Science* 5: 433-438.

CASTELLARO, G., SILVA, M. y SANTIBÁÑEZ, F. 1994. Efecto de la radiación solar y la temperatura sobre las fenofases de algunas especies del pastizal mediterráneo semiárido. *Avances en Producción Animal* 19 (1-2): 65-75.

CONTRERAS, D. y CAVIEDES, E. 1977. Recursos forrajeros de la zona comprendida entre Aconcagua y Arauco, p. 21-44. **In:** Porte, F. E.(ed.). Producción de carne bovina. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 330 p.

ESPIGARES, T. and PECO, B. 1993. Mediterranean pasture dynamics: the role of germination. *Journal of Vegetation Science* 4:189-194.

ESPIGARES, T. and PECO, B. 1994. Floristic fluctuations in annual pastures: the role of competition at regeneration stage. *Journal of Vegetation Science* 5: 457-462.

FENNER, M. 1992. Environmental influences on seed size and composition. *Horticultural Review* 13: 209 – 183.

FERNÁNDEZ, R., LAFFARGA, J. and ORTEGA, F. 1993. Strategies in mediterranean grassland annuals in relation to stress and disturbance. *Journal of Vegetation Science* 4: 313-322.

GASTÓ, J. y LAZÉN, S. 1966. Establecimiento de falaris en secano. Santiago, Chile, Universidad de Chile, Fac. de Agronomía. Boletín Técnico N° 23. 17 p.

GONZÁLEZ, M. Y PÁEZ, A. 1995. Efecto del déficit hídrico aplicado durante diferentes etapas de desarrollo de *Panicum maximum* Jacq., Maracaibo, Venezuela, Rey. Fac. Agro. (LUZ). 12:79 – 93. [en línea]< http://redpav-fpolar.info.ve/fagroluz/v13_1/v131z008.html > [Consulta: 11-1-2003]

GUTIÉRREZ, J. 1993. The effect of water, nitrogen, and human-induced desertification on the structure of ephemeral plant communities in the Chilean coast desert. *Revista de Historia Natural* 66: 337-344.

GUTIERREZ, CH. 2003. Efecto del régimen pluviométrico del secano interior de la Región Metropolitana, sobre la producción y calidad de semillas de *Bromus berterianus* Collar. Tesis Ing. Agrónomo, Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agronómicas. 85 p.

HUANG, B. and FRY, J. 1998. Root anatomical, physiological and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Science* 38: 1017-1022.

HUANG, B. and GAO, H. 2000. Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science* 40: 196-203.

INSTITUTO NACIONAL DE SEMILLAS Y PLANTAS DE VIVERO. 1976 (ISTA). Reglas internacionales para ensayos de semillas. Ministerio de Agricultura, Dirección General de la Producción Agraria. Madrid. España. 184 p.

JOHNSTON, M., OLIVARES, A., LAURA, J. 2003. Estrategias reproductivas de terófitas del mediterráneo semiárido como respuesta a tratamientos de corte. *Phyton* 2003: 267-280.

JOHNSTON, M., OLIVARES, A., GARCÍA de CORTÁZAR, V. y CONTRERAS, X. 1998a. El banco de semillas del suelo y su respuesta a regímenes pluviométricos simulados I. Comunidad de terófitas del mediterráneo semiárido. *Avances en Producción Animal* 23(1-2): 45-54

JOHNSTON, M., OLIVARES, A. y CONTRERAS, X. 1998b. El banco de semillas del suelo y su respuesta a regímenes pluviométricos simulados II. Géneros de interés forrajero. *Avances en Producción Animal* 23(1-2): 55-65.

JOHNSTON, M., FERNÁNDEZ, G. y OLIVARES, A. 1994. Capacidad germinativa en especies de la pradera anual mediterránea. II. Efecto del año de producción de semillas. *Phyton* 55: 59-69.

KOBATA, T., PALTA, J. and TURNER, N. 1992. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling of spring wheat. *Crop Science* 32:1238-1242.

KOKUBUN, M., SHIMADA, S. and TAKAHASHI, M. 2001. Flower abortion caused by preanthesis water deficit is not attributed to impairment of pollen in soybean. *Crop Science* 41: 1517-1521.

LORENZETTI, F. 1993. Achieving potential herbage seed yield in species of temperate regions, p. 1621-1628. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS. Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Vol. 2. 8-21 febrero. Palmerston North, Hamilton, Lincoln, New Zeland. 2304 p.

MARSHALL, N., FOLWER, N., and LEVIN, D. 1985. Plasticity in yield components in natural populations of three species of *Sesbania*. *Ecology* 66 (3): 753-761.

NIELSEN, D. and NELSON, N. 1998. Black bean sensitivity to water stress at various growth stages. *Crop Science* 38: 422-427.

O'CONNOR, T. 1994. Composition and population response of an african savanna grassland to rainfall and grazing. *Journal of Applied Ecology* 31:155-177.

OLIVARES, A. y RIVEROS, V. 1979. Composición botánica de la estrata herbácea de una pradera mediterránea anual sometida a diferentes épocas y frecuencias de talajeo. *Avances en Producción Animal* 4(1): 35-45.

OLIVARES, A. 1985. Praderas naturales en la zona mediterránea II. Praderas de la zona semiárida de Chile, p. 37-55. **In:** Décima Reunión SOCHIPA, 3-4 octubre, Valparaíso, Chile. 199p.

OLIVARES, A., JOHNSTON, M. y FERNÁNDEZ, G. 1990. Efecto de la temperatura en la germinación de siete especies de la pradera anual mediterránea y características de su emergencia. *Simiente* 60(2): 123-131.

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

OOSTERHUIS, D. and CARTWRIGHT, P. 1983. Spike differentiation and floret survival in semidwarf spring wheat as affected by water stress and photoperiod. *Crop Science* 23:711-717.

ROSSITER, R. 1966. Ecology of the Mediterranean annual-type pasture. *Advances in Agronomy* 18: 1-56.

SALAS, E. 2001. Influencia de la distribución de la precipitación en la producción de semillas de dos especies de la pradera anual mediterránea. Tesis Ing. Agrónomo, Santiago, Universidad de Chile, Fac. de Cs. Agronómicas. 80p.

SANTIBAÑEZ, F., SILVA, M, SHER, W. 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.

SILVA, M., CASTELLARO, G., ALONSO, C. y SQUELLA, F. 1987. Control heliotérmico, efecto del nitrógeno, la utilización y la humedad en el comportamiento de la pradera anual mediterránea I Crecimiento y senescencia. Avances en Producción Animal 12(1-2): 11-25

SCHOPP-GUTH, A., MAAS, D. and PFADENHAUER, J. 1994. Influence of management on the seed production and seed bank of calcareous fen species. Journal of Vegetation Science 5: 569-578.

TURNER, N and BEGG, J. 1977. Response of pasture plants to water deficit. pp 50-66. In: WILSON, J. Plant relation in pastures. CSIRO. Melbourne, Australia.

WARRINGA, J., DE VISEER, R. and KREUZER, A. 1998. Seed weight in *Lolium perenne* as affected by interactions among seeds within the inflorescence. Annals of Botany 82: 835-841.

WESTGATE, M. 1994. Water status and development of maize endosperm and embryo during drought. Crop Science 34: 76-83

ANEXO 1. Régimen pluviométrico de los tratamientos aplicados.

SECOS																		
Temprano (1981)	Fecha	28/7	9/8	15/8	16/8	5/9	24/9	30/9	17/10	23/10	16/11	21/11	28/11					
	mm	56,4	6,3	42,2	42,1	26,7	8,3	15,5	1,5	0,5	10,5	9,6	1,5					
Tardío (1990)	Fecha	22/9	1/10	2/10	23/10	29/10	16/11	18/11	4/12									
	mm	29,4	28,2	2,8	8,6	2,9	26	5,4	18									
NORMALES																		
Temprano (1962)	Fecha	4/9	8/9	9/9	10/9	11/9	12/9	13/9	23/9	24/9	24/10	25/10	13/11	11/12				
	mm	29,7	25,4	70,2	9,3	29,2	0,2	2,9	14,7	3,6	15,7	0,9	1,7	8,8				
Tardío (1989)	Fecha	20/7	30/7	14/9	4/10	8/10	25/7	11/10	14/10	19/10	23/10	5/11	8/11	9/11	11/11	15/11	20/11	21/11
	mm	9,8	18,6	11,5	1,4	18,6	41,8	41,7	12,8	8,3	4,3	15,5	23	44	1,7	4,2	3,5	3,8
LLUVIOSOS																		
Normal (1982)	Fecha	25/7	26/7	27/7	28/7	1/8	20/8	22/8	27/8	28/8	30/8	5/9	9/9	10/9	11/9	12/9	13/9	20/9
	mm	35,7	18,3	0,8	35,5	1,9	8,5	9,6	3,8	3,2	13,9	48	21,2	50,2	50,2	50,3	31,3	5,4
	Fecha	23/9	27/9	30/9	1/10	2/10	5/10	12/10	21/10	28/10	9/11	13/11	30/11	9/12	14/12	16/12		
	mm	9,9	3,3	26,5	26,5	11,9	3,6	7,7	0,3	52,9	5,9	1,8	18,8	4,3	3,9	18,3		
Tardío (1987)	Fecha	23/7	3/8	4/8	14/8	20/8	24/9	28/9	1/10	2/10	7/10	10/10	12/10	20/10	11/8	12/8	29/10	31/10
	mm	26	18,3	10	26,7	33	10,8	94	50	50	15,2	65	76,2	16,1	41,6	41,6	41,8	29,4
	Fecha	17/11	25/11															
	mm	12,4	7,3															

Anexo 2. Temperatura y humedad relativa durante el ensayo, promedios semanales.

SEMANA DEL	TEMPERATURA (°C)			HUMEDAD (%)		
	MÍNIMA	MÁXIMA	MEDIA	MÍNIMA	MÁXIMA	MEDIA
22/jul al 28/jul	7,3	23,0	15,2	47,0	100,0	73,50
29/jul al 4/ago	4,3	23,0	13,7	42,0	100,0	71,00
5/ago al 11/ago	7,5	22,5	15,0	57,3	100,0	78,64
12/ago al 18/ago	7,0	31,7	19,3	39,7	100,0	69,86
19/ago al 25/ago	3,0	28,0	15,5	41,0	99,1	70,07
26/ago al 1/sep	10,7	29,7	20,2	43,3	99,7	71,50
2/sep al 8/sep	6,7	28,3	17,5	54,4	98,9	76,64
9/sep al 15/sep	5,0	26,7	15,8	41,4	99,9	70,64
16/sep al 22/sep	4,5	32,0	18,3	40,1	96,7	68,43
23/sep al 29/sep	8,3	35,3	21,8	35,6	95,9	65,71
30/sep al 6/oct	9,7	32,7	21,2	46,2	96,6	71,37
7/oct al 13/oct	8,3	31,7	20,0	43,0	98,9	70,93
14/oct al 20/oct	9,0	35,0	22,0	45,4	95,6	70,50
21/oct al 27/oct	6,7	31,3	19,0	49,6	97,9	73,71
28/oct al 3/nov	9,0	34,0	21,5	41,4	96,1	68,79
4/nov al 10/nov	8,7	34,7	21,7	33,6	95,3	64,43
11/nov al 17/nov	10,7	38,0	24,3	35,4	92,4	63,93
18/nov al 24/nov	10,0	36,0	23,0	34,0	96,3	65,14
25/nov al 1/dic	11,7	38,7	25,2	43,6	97,6	70,57
2/dic al 8/dic	11,0	36,7	23,8	42,3	96,4	69,36
9/dic al 15/dic	12,3	38,7	25,5	40,9	98,0	69,43
16/dic al 22/dic	12,7	38,0	25,3	36,6	90,7	63,64
23/dic al 29/dic	12,7	40,0	26,3	31,9	89,0	60,43
30/dic al 5/ene	13,3	39,3	26,3	35,7	95,1	65,43
6/ene al 12/ene	14,3	40,7	27,5	33,9	95,1	64,50
13/ene al 19/ene	14,3	42,0	28,2	37,3	92,5	64,88

Anexo 3. Duración total de etapas vegetativas, reproductivas y del ciclo fenológico total de *Avena barbata* según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

Año	Etapas vegetativas (días)	Etapas reproductivas (días)	Ciclo fenológico (días)
LL-n	75	85	160
LL-ta	77	83	160
N-te	47	77 *	124
N-ta	86	76	162
S-te	72	54 *	126
S-ta	80	26	106
Ref	86	77	163

* Esta etapa es la diferencia estimada entre la fecha en que las plantas que iniciaron la etapa de elongación y el término de senescencia, no presentaron ninguna de las fases intermedias.

Anexo 4. Duración de las etapas fenológicas de *Avena barbata* (días) según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

Año	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
LL-n	23	4	14	21	53	25	19	16	41
LL-ta	17	7	7	31	20	23	21	39	47
N-te	15	10	13	0	* ¹	*	*	*	19
N-ta	16	24	21	24	21	9	12	38	38
S-te	13	13	8	24	* ²	*	*	*	41
S-ta	11	26	17	19	15	12	11	8	7
Referencia	4	31	25	12	15	15	17	39	29

I: Emergencia; II: Foliación inicial; III: Macollaje; IV: Foliación etapa de macollaje; V: Elongación de tallo; VI: Floración; VII: Formación de semillas; VIII: Maduración de semillas; IX: Senescencia

* Indica que existe poca o nula evidencia de la fase en el tratamiento.

*¹ Sólo presentó el inicio de la fase

*² No todas las plantas presentaron este periodo fenológico.

Anexo 5. Duración de etapas vegetativas y reproductivas (días) en *Hordeum murinum* obtenidas en distintos regímenes pluviométricos.

Año	Etapas vegetativas (días)	Etapas reproductivas (días)	Ciclo fenológico (días)
LL-n	81	84	165
LL-ta	77	83	160
N-te	70	47	117
N-ta	80	67	147
S-te	72	64	136
S-ta	70	36	106
Referencia	80	90	170

Anexo 6. Duración de las fases fenológicas de *Hordeum murinum* (días) según la cantidad y distribución de la precipitación anual.

Año	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
LL-n	7	20	7	31	30	37	35	35	46
LL-ta	25	5	7	25	26	17	12	35	29
N-te	15	10	21	14	* ¹	*	*	*	35
N-ta	10	29	32	0	27	27	23	23	31
S-te	17	14	21	10	17	*	*	*	58
S-ta	11	20	15	17	25	*	*	*	26
Referencia	8	23	20	15	44	27	27	54	46

I: Emergencia; II: Foliación inicial; III: Macollaje; IV: Foliación etapa de macollaje; V: Elongación de tallo; VI: Floración; VII: Formación de semillas; VIII: Maduración de semillas; IX: Senescencia

*¹ La totalidad de las plantas no presentó la fase fenológica, sólo se evidenció el inicio de la etapa.

* Indica que existe poca o nula evidencia de la fase en el tratamiento.

Anexo 7 Promedio de altura de plantas, número de hojas, número de macollos, número de tallos en *Avena barbata* medidas en los siete tratamientos hídricos.

DIAS	FECHA	ALTURA cm	HOJAS n°	MACOLLOS n°	TALLOS n°	HOJAS SENESCENTES n°
LLUVIOSO-NORMAL (LL-n)						
50	13-sep	17,88	11,04	1,96	1,84	
64	27-sep	21,76	28,28	6,00	4,84	1,76
81	14-oct					9,00
LLUVIOSO-TARDIO (LL-ta)						
52	13-sep	20,40	10,36	2,80	1,96	
66	27-sep	21,88	21,32	4,28	3,88	2,12
83	14-oct					5,56
NORMAL TEMPRANO (N-te)						
23	27-sep	19,20	2,52			
40	14-oct	20,64	7,64			0,28
61	04-nov			1,20	0,64	
70	13-nov			2,92	3,72	
78	21-nov					3,08
NORMAL TARDIO (N-ta)						
55	13-sep	13,80	4,80	0,68	0,48	
69	27-sep	11,84	7,64	1,16	0,92	0,48
86	14-oct	26,44				2,56
SECO TEMPRANO (S-te)						
47	13-sep	20,88	8,80	1,76	1,64	
61	27-sep	29,44	18,40	3,56	3,04	1,88
78	14-oct					6,00
SECO TARDIO (S-ta)						
22	14-oct	15,08	2,04			
37	29-oct	19,10	5,05	0,52	1,60	N/M
60	21-nov			2,24		
80	11-dic			3,32	2,44	N/M
REFERENCIA						
55	13-sep	17,24	7,52	1,68	1,24	
69	27-sep	19,08	20,64	4,64	4,12	0,56
86	14-oct					5,44

N/M: No medido

Anexo 8. Promedio de altura de plantas, número de hojas, número de macollos, número de tallos en *Hordeum murinum* medidas en los siete tratamientos hídricos.

DIAS	FECHA	ALTURA cm	HOJAS n°	MACOLLOS n°	TALLOS n°	HOJAS SENESCENTES n°
LLUVIOSO NORMAL (LL-n)						
50	13-sep	18,64	10,52	1,80	1,52	
64	27-sep	31,92	20,80	3,40	2,92	1,56
81	14-oct					6,36
LLUVIOSO TARDIO (LL-ta)						
52	13-sep	18,08	9,13	1,48	1,36	
66	27-sep	20,53	21,83	3,24	2,55	1,84
83	14-oct					5,96
NORMAL TEMPRANO (N-te)						
23	27-sep	12,36	2,44			
40	14-oct	17,52	7,56	1,04	0,52	0,28
61	04-nov			2,84		
70	13-nov			3,16		N/M
78	21-nov			3,00		
NORMAL TARDIO (N-ta)						
55	13-sep	12,52	4,40	0,44	0,44	
69	27-sep	10,04	6,92	0,84	0,76	1,20
86	14-oct	22,36				2,56
SECO TEMPRANO (S-te)						
47	13-sep	18,72	6,92	1,12	1,00	
61	27-sep	23,40	14,12	2,32	3,32	1,04
78	14-oct					7,12
SECO TARDIO (S-ta)						
22	14-oct	13,92	2,80			
37	29-oct	18,00	7,01	0,88	1,36	N/M
60	21-nov			2,08		
80	11-dic			3,00	3,56	N/M
REFERENCIA						
55	13-sep	15,32	6,72	1,36	1,04	
69	27-sep	21,92	20,88	3,68	3,12	0,88
86	14-oct					6,00

N/M: No medido