

CAMINOS, T. S.
Comportamiento de Césped



2005

61194

T.397



**Comportamiento De Céspedes
Mesotérmicos Bajo Diferentes Niveles De
Intensidad Luminica**

Maestría en Producción Vegetal
Facultad De Agronomía y Veterinaria
Universidad Nacional De Río Cuarto

Autora: Ing. Agr. **Teresa Silvana Caminos**

Director: Ing. Agr. M. Sc. **Oscar Giayetto**

Codirector: Ing. Agr. Ph. D. **Hernán Acuña Pommiez**

2005

61194

MFN:
Clasif:
T. 3 ⁹⁷

JURADO DE TESIS

Nombre y apellido: **Alberto Cantero**
Título Profesional: **Ingeniero Agrónomo**
Título Académico: **M Sc. en Suelos**

Nombre y apellido: **Mónica Sacido**
Título Profesional: **Ingeniera Agrónoma**
Título Académico: **M Sc. En Agroecología y Desarrollo Rural Sustentable**

Nombre y apellido: **Carlos Alberto Vieyra**
Título Profesional: **Ingeniero Agrónomo**
Título Académico: **M Sc. en Ciencias Agropecuarias**

Fecha de aprobación de la tesis: **1º de julio de 2005**

A mis hijos: Ignacio y Anabella

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Río Cuarto y en particular a la Facultad de Agronomía y Veterinaria que me brindó la posibilidad de realizar localmente, estudios de posgrado de excelente nivel.

A la Ing. Agr. (Ph. D.) Mónica Balzarini de la Cátedra de Estadística y Biometría y Diseño de Experimentos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba, por su invaluable y desinteresada ayuda en los análisis estadísticos de esta tesis.

A el Ing. Agr. MSc Oscar Giayetto, por sus valores humanos, vocación y capacidad de investigación, lo que hizo posible a través de su dirección, la conclusión de esta tesis.

A mis compañeros del Departamento de Producción Vegetal, por el aliento para que termine la carrera y especialmente a mi compañero de Cátedra, Sergio Estévez, por estar siempre dispuesto a colaborar y reemplazarme en actividades académicas, lo que permitió la terminación de esta tesis.

A mi madre por su invaluable ayuda, estar siempre presente y dispuesta a colaborar en todo lo que me hiciera falta para que pudiera dedicar tiempo para la elaboración de esta tesis.

A mi familia y especialmente a mis hijos que me supieron comprender el tiempo que no les dediqué.

ÍNDICE GENERAL

	Página
➤ RESUMEN	x
➤ ABSTRACT	xi
➤ CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
❖ 1.1. Caracterización de la problemática y definición del objeto de estudio	1
❖ 1.2. Hipótesis de trabajo	5
❖ 1.3. Objetivo general	5
❖ 1.4. Objetivos específicos	5
➤ CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	
❖ 2.1. La luz y el crecimiento de las plantas	6
2.1.1. Efecto de la intensidad de la luz	6
2.1.2. Efecto de la calidad de la luz	9
❖ 2.2. Las especies cespitosas y la luz	12
❖ 2.3. Las especies cespitosas y la temperatura	15
➤ CAPÍTULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS	
❖ 3.1. Caracterización del área donde se realizó el estudio	20
❖ 3.2. Descripción del ensayo experimental	22
❖ 3.3. Descripción de las determinaciones realizadas	24
3.3.1. Período de emergencia-establecimiento	25
3.3.1.1. Muestreo con cilindros	25
3.3.1.2. Muestreo directo en la sub-parcela	25
3.3.2. Período de crecimiento de las especies	26
3.3.2.1. Muestreo con cilindros	26
3.3.2.2. Muestreo directo en la sub-parcela	27
❖ 3.4. Cuidados culturales	28
❖ 3.5. Análisis de los resultados	30
➤ CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
❖ 4.1. Período de emergencia - establecimiento	32
4.1.1. Análisis de perfiles	32
4.1.2. Número de plántulas emergidas	32
4.1.3. Altura de plántulas	33
4.1.4. Grado de cobertura y uniformidad	34
4.1.5. Síntesis del período emergencia – establecimiento	35
❖ 4.2. Período de crecimiento de las especies	36

4.2.1. Análisis de perfiles	36
4.2.2. Densidad	37
4.2.3. Cobertura	42
4.2.4. Peso seco de la biomasa aérea total	45
4.2.5. Peso seco de la materia verde y porcentaje del peso seco de la materia verde/peso seco total	49
4.2.6. Peso seco de la broza y porcentaje peso seco de la broza/peso seco total	53
4.2.7. Porcentaje de materia seca de la biomasa verde aérea	56
4.2.8. Índice de área foliar	58
4.2.9. Área foliar específica	60
4.2.10. Calidad visual o apariencia	61
4.2.11. Síntesis del período de crecimiento de las especies	64
➤ CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	78
➤ CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA CITADA	80
➤ CAPÍTULO 7. ANEXOS	
❖ 7.1. Anexo I Análisis químico y curva de capacidad hídrica del suelo del sitio experimental	92
❖ 7.2. Anexo II Correlación entre el área foliar verde y peso seco del material verde del muestreo de marzo de 2000	94
❖ 7.3. Anexo III Coeficientes de correlación y autovectores de los Análisis de Componentes principales	95
❖ 7.4. Anexo IV Fotografías del experimento a campo	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Valores de intensidad lumínica, porcentaje de reducción de luz en cada malla y valor nominal de sombra indicado por el fabricante.	23
Tabla 2. Valores de intensidad lumínica en el rango de 400 a 800 nm, 400-500 nm, 600-700 nm, 700-800 nm del espectro solar y las relaciones entre azul (A), rojo (R) y azul+rojo (A+R) y el espectro 400 a 800 nm.	23
Tabla 3. Valores umbrales de los atributos densidad, cobertura, IAF y apariencia en los sistemas culturales deportivo y ornamental.	65
Tabla 4. Análisis químico del suelo antes de la implantación ensayo.	92
Tabla 5. Contenido hídrico en los primeros 15 cm. del suelo para diferentes valores de succión.	92
Tabla 6. Modelos lineales de regresión y coeficientes de correlación entre área foliar verde y el peso seco en el muestreo de marzo de 2000.	94
Tabla 7. Coeficientes de correlación entre 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron al sol.	95
Tabla 8. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales para las especies que crecieron al sol.	95
Tabla 9. Coeficientes de correlación entre 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 25% de sombra.	96
Tabla 10. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales para las especies con 25% sombra.	96
Tabla 11. Coeficientes de correlación entre 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 50% de sombra.	97
Tabla 12. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales para las especies con 50% de sombra.	97
Tabla 13. Coeficientes de correlación entre 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 80% de sombra.	98
Tabla 14. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales para las especies con 80% de sombra.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Temperaturas del aire medias, medias mínimas y máximas entre Abril 1999- Abril 2000 y las temperaturas medias históricas del período 1974/2002.	20
Figura 2. Promedios decádicos de la temperatura media del suelo entre Abril 1999- Abril 2000 y las temperaturas medias históricas del período 1974/2002.	21
Figura 3. Número de plántulas emergidas de cada especie en los diferentes niveles de sombra a los 17, 24 y 34 DDS.	32
Figura 4. Altura de las plántulas de cada especie en los diferentes niveles de sombra a los 34 DDS.	33
Figura 5. Grado de cobertura y uniformidad alcanzada por cada especie en los diferentes niveles de sombra a los 34 DDS.	34
Figura 6. Densidad de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	38
Figura 7. Cobertura visual de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	43
Figura 8. Peso seco total de biomasa aérea de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	46
Figura 9. Peso seco de la materia verde de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	49
Figura 10. Porcentaje del peso seco de la materia verde con relación al peso seco de la biomasa total producido por cada especie para las diferentes fechas de muestreo.	51
Figura 11. Porcentaje del peso seco de la materia verde con relación al peso seco de la biomasa total en los diferentes niveles de reducción de luz y fechas de muestreo.	52
Figura 12. Peso seco de la broza producido por cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo	54
Figura 13. Porcentaje del peso seco de la broza con relación al peso seco total de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	55
Figura 14. Porcentaje de materia seca de la biomasa aérea verde de cada especie para las diferentes fechas de muestreo.	57

Figura 15. Porcentaje de materia seca de la biomasa verde aérea en los diferentes niveles de reducción de luz y fechas de muestreo.	57
Figura 16. Índice de área foliar de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	59
Figura 17. Área foliar específica de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	60
Figura 18. Apariencia de cada especie en los diferentes niveles de sombra y fechas de muestreo.	62
Figura 19. Biplot generado por el Análisis de los Componentes Principales cuando las especies crecieron al sol	66
Figura 20. Biplot generado por el Análisis de los Componentes Principales cuando las especies crecieron con 25% de sombra	69
Figura 21. Biplot generado por el Análisis de los Componentes Principales cuando las especies crecieron con 50% de sombra	71
Figura 22. Biplot generado por el Análisis de los Componentes Principales cuando las especies crecieron con 80% de sombra	74
Figura 23. Curva de capacidad hídrica del suelo del ensayo	93

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. This is essential for ensuring the integrity of the financial statements and for providing a clear audit trail. The records should be kept up-to-date and should be easily accessible to all relevant parties.

2. The second part of the document outlines the procedures for the monthly reconciliation process. This involves comparing the company's internal records with the bank statements to ensure that they match. Any discrepancies should be investigated and resolved promptly to avoid any potential issues.

3. The third part of the document describes the process for preparing the monthly financial statements. This includes calculating the total revenue, expenses, and profit for the month. The statements should be reviewed and approved by the appropriate management personnel before being distributed to the relevant stakeholders.

4. The fourth part of the document discusses the importance of regular communication and reporting. This involves providing regular updates to the board of directors and other key stakeholders on the company's financial performance. This helps to ensure that everyone is kept in the loop and can make informed decisions based on the latest information.

ÍNDICE DE FOTOS

	Página
Foto 1. Imágenes de <i>Agrostis</i> , <i>Festuca</i> y <i>Poa</i> tomadas a fines del verano bajo luz solar plena	68
Foto 2. Imágenes de <i>Agrostis</i> , <i>Festuca</i> y <i>Poa</i> tomadas en febrero y de <i>Agrostis</i> en marzo , creciendo bajo 25% de reducción lumínica	70
Foto 3. Imágenes de <i>Agrostis</i> , <i>Festuca</i> y <i>Poa</i> tomadas a fines del verano bajo 50% de sombra	73
Foto 4. Imágenes de <i>Agrostis</i> , <i>Poa</i> y <i>Festuca</i> tomadas a fines del verano con 80% de sombra	75

RESUMEN

Comportamiento de céspedes mesotérmicos bajo diferentes niveles de intensidad lumínica.

El césped, uno de los componentes clave de los espacios verdes, desempeña un rol importante contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la disminución de problemas ambientales. Entre las condiciones ambientales del sitio, la reducción de la intensidad lumínica, es el factor principal que puede alterar el comportamiento y la calidad de una cubierta cespitosa, constituyendo una problemática para su manejo. El presente estudio se realizó en condiciones de campo en el área experimental de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la UNRC (Córdoba, Argentina), con el objetivo de determinar la aptitud cuali-cuantitativa de tres especies mesotérmicas (*Festuca rubra*, *Agrostis stolonifera var palustris* y *Poa trivialis*) para formar cubiertas cespitosas bajo diferentes niveles de intensidad lumínica (0, 25, 50 y 80% de reducción de la luz solar). En el período emergencia-establecimiento se determinó: número y altura de plántulas y grado de cobertura y uniformidad, mientras que en la etapa de crecimiento se evaluó densidad, cobertura, peso fresco y seco de masa vegetativa viva y muerta, porcentaje de materia seca, índice de área foliar, área foliar específica y calidad visual. Ninguna de las especies estudiadas puede emplearse como genotipo único para formar céspedes bajo luz solar plena (0% reducción de luz) ya que las temperaturas por encima de los valores óptimos registradas durante el período estival, comprometen su sobrevivencia. Con reducciones lumínicas del 25 y 50% sólo *Agrostis stolonifera var palustris* produce cubiertas cespitosas de buena calidad visual y funcional como especie única, lo que facilita su elección para campos deportivos de mediana complejidad. Bajo sombras más densas (80%), *Agrostis stolonifera var palustris* y *Poa trivialis* forman cubiertas aptas para uso como césped ornamental con calidad diferenciada; mayor para *Agrostis* y sólo aceptable para *Poa*. Los indicadores clave que sustentan estas afirmaciones fueron la densidad, cobertura, IAF y calidad visual que presentaron las especies.

Palabras claves: césped, *Agrostis stolonifera var palustris*, *Poa trivialis*, *Festuca rubra*, sombra, crecimiento.

Handwritten text, possibly a date or reference number, located in the lower-left quadrant of the page.

Small handwritten text or mark, possibly a signature or initials, located below the first block of text.

Small handwritten text or mark, possibly a signature or initials, located to the right of the second block of text.

Small handwritten text or mark, possibly a signature or initials, located below the second block of text.

Small handwritten text or mark, possibly a signature or initials, located to the right of the third block of text.

ABSTRACT

Performance of cool season turfgrasses under different levels of light intensity.

Turfgrass, one of the key components of the landscape, plays a major role in contributing to improvement the quality of life to reduce environmental problems. Among the environmental conditions of the site, the reduction of light intensity is the main factor that can change turfgrass behavior and quality, thus becoming a management problem. This study was carried out under field conditions in the experimental station of the Facultad de Agronomía y Veterinaria- UNRC-(Córdoba, Argentina). The objective of this study was to determine the qualitative and quantitative suitability of three cool season turfgrasses (*Agrostis stolonifera var palustris*, *Poa trivialis* and *Festuca rubra*) grown under 0, 25, 50 and 80% light reduction conditions. Plantlet number and height, soil cover and uniformity were measured in the emergence-establishment period, while density, soil cover, fresh and dry weight of live and dead biomass, dry matter percentage, leaf area index (LAI), specific leaf area and overall quality were measured during the growing period. None of the species studied can be utilized to form turfgrass as a single genotype under full sun light conditions (0% light reduction), due to the high summer temperatures, which exceeded their optimum values for growth affecting their survival. With 25 and 50% light reduction only *Agrostis stolonifera var palustris* was able to produce good visual and functional quality turfgrass, as a single species, being suitable for medium complexity sport fields. Under a denser shade (80%), *Agrostis stolonifera var palustris* and *Poa trivialis* developed turfgrass suitable for lawns, where *Agrostis* performed better than *Poa*, which was just acceptable. Density, soil cover, LAI and overall quality of the species were key indicators that support these conclusions.

Key words: turfgrass, *Agrostis stolonifera var palustris*, *Poa trivialis*, *Festuca rubra*, shade, growing.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCION

1.1. Caracterización de la problemática y definición del objeto de estudio

Los espacios verdes públicos o privados deben ser entendidos como productos de tipo histórico-cultural y examinados desde su rol recreativo, de sociabilidad y como moderadores ambientales. Actualmente, la calidad de vida urbana en las grandes ciudades sufre un proceso de empobrecimiento debido, entre otras causas, a la crisis ambiental de la ciudad moderna. Una de las características de esta crisis es la reducida disponibilidad de espacios verdes con fines recreativos, deportivos y estéticos, que ofrezcan a sus habitantes lugares de distensión para contrarrestar las dificultades sociales creadas como consecuencia del estrés laboral y urbano. El aumento de los espacios verdes y el acondicionamiento de los existentes significa, no sólo un gran aporte al mejoramiento de la calidad ambiental urbana, sino una contribución importante para que sus habitantes puedan alcanzar una vida digna, asegurando un entorno espacial y socialmente equitativo, que posibilite la creatividad y la socialización facilitando el encuentro consigo mismo, con los demás, con la naturaleza y la cultura (G.C.B.A., S.P.U. y Co.P.U.A., 2000).

El césped, uno de los componentes clave de los espacios verdes, desempeña un rol importante, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población y la reducción de problemas ambientales. Además de ser estéticamente atractivo y proveer superficies blandas, resilientes y seguras para el esparcimiento y la práctica de deportes, brinda numerosos beneficios funcionales. Beard y Green (1994) brindan evidencias sólidas de los beneficios del césped, tales como: estabilización del suelo reduciendo la erosión y escorrentía; disminución de la polución ambiental y del agua por su función de filtros vegetativos. Resulta, además, altamente efectivo en la disipación del calor, proporcionando un enfriamiento significativo especialmente en regiones áridas y semiáridas.

Para que un césped cumpla acabadamente con tales funciones, debe hallarse en óptimas condiciones de uso, las que dependen de una adecuada combinación de

factores tales como las condiciones ambientales del sitio, la aptitud de las especies elegidas, el uso a que será sometido y las prácticas de manejo que se apliquen.

El comportamiento de las cubiertas cespitosas varía, entre otras causas, por su exposición directa al sol o a algún grado de sombra. El ambiente sombrío involucra una combinación de factores que altera el normal crecimiento de las especies, entre los que cabe mencionar la fuente de sombra (construcciones o árboles), restricción del movimiento del aire, competencia de raíces y posibles efectos alelopáticos (Whitcomb, 1972; Beard, 1973; Dudeck y Peacock, 1992; Bell y Danneberger, 1999). Sin embargo, la intensidad lumínica es el factor principal que altera la calidad de una cubierta cespitosa. En ese sentido, la baja intensidad lumínica puede ocasionar alteraciones en la densidad, cobertura, color y afectar, además, la supervivencia en el tiempo de la cubierta cespitosa. De allí que la preservación del césped bajo sombra se constituye en una problemática esencial del manejo de espacios verdes (Beard, 1973; Dudeck y Peacock, 1992).

Algunas estimaciones a escala mundial señalan, por ejemplo, que entre un 20 y 25% de los céspedes que integran diferentes espacios verdes y campos deportivos en Estados Unidos, se mantienen bajo algún grado de sombra producida por árboles, arbustos o edificios (Beard, 1973). En nuestro país, y particularmente en la región centro sur de la provincia de Córdoba, no se dispone de cuantificaciones similares que den cuenta de la superficie de céspedes que se encuentran bajo sombra. Datos suministrados por la Municipalidad de Río Cuarto (P.E.R.C.2000, 1997), indican que esta ciudad posee una superficie aproximada de 400.000 m² de espacios verdes públicos distribuidos en plazas, plazoletas y parques. De ellos, el Parque Sarmiento solo abarca 150.000 m² y se caracteriza por tener una alta densidad de plantas, principalmente árboles de follaje caducifolio, y edificios de gran envergadura como un anfiteatro, que proyectan diferentes tipos de sombras sobre la cubierta cespitosa que crece debajo o alrededor de ellos. Una situación similar puede encontrarse en otros espacios verdes públicos así como en aquellos pertenecientes a clubes, parques, jardines y patios privados, donde árboles, arbustos, edificios y demás construcciones

que componen el paisaje, generan sombras de diferente tipo y densidad sobre el césped.

La composición específica de los céspedes que componen los espacios verdes de la región centro sur de la Provincia de Córdoba es, en general, de baja diversidad genotípica y está basada, principalmente, en gramíneas megatérmicas como *Cynodon dactylon*. En el invierno, las temperaturas bajas provocan la entrada en dormición de dicha especie por períodos de 4 a 5 meses, razón por la que se recurre muy frecuentemente a resiembras otoñales de especies mesotérmicas, con el objeto de mantener las cubiertas cespitosas verdes durante todo el año. Para ello, las especies de uso habitual son: *Lolium multiflorum*, *Lolium perenne* y *Poa trivialis* cuya elección se basa en la alta sensibilidad al calor que las mismas poseen, cualidad aprovechada porque provoca su rápido decaimiento con la llegada de la estación cálida permitiendo así el rebrote de *Cynodon*. Este esquema clásico de manejo es comúnmente usado en campos deportivos.

Una estrategia de manejo alternativa a la descrita, consistiría en la elección de especies mesotérmicas, y/o sus cultivares, sobre la base de dos criterios diferentes. Uno orientado a la búsqueda de genotipos más tolerantes a condiciones de radiación y temperatura elevadas. El otro, sustentado en el empleo de genotipos que posean un buen comportamiento bajo condiciones de reducción de luz. Tales criterios persiguen objetivos diferentes, el primero busca responder a la necesidad de producir cubiertas cespitosas persistentes y de buena calidad bajo luz solar directa; el otro procura lo mismo, pero para ambientes donde la intensidad lumínica se ve reducida por efecto de diferentes componentes del paisaje que generan sombra.

Existe en el mercado una amplia oferta de especies mesotérmicas con sus cultivares cuyo comportamiento frente a las condiciones climáticas regionales se desconoce siendo necesario, entonces, evaluar sus cualidades o atributos ecofisiológicos.

En la literatura, numerosas referencias muestran que bajo diferentes intensidades de luz el comportamiento entre especies mesotérmicas y aún entre cultivares de una misma especie, varía sensiblemente (Wood, 1969; Wu *et al.*, 1985),

mediante cambios morfológicos, anatómicos y fisiológicos, que determinan diferentes grados de adaptación a la sombra. El rango de respuesta observado entre las especies mesotérmicas, muestra a *Lolium* spp. con baja tolerancia a la sombra (Karnok, 1982; Lefton, 1993; Harivandi y Gibeault, 1997; Stier, 1999; Fagerness y Keeley, 2000 y Ervin, 2000); *Festuca rubra* de excelente adaptación a bajas intensidades lumínicas (Bakker y Vos, 1976; Karnok, 1982; Brilman, 1985; Harivandi y Gibeault, 1997; Relf, 1997; Stier, 1999; Tankersley y Samples, 1999), en particular la var. Pennlawn (Juska *et al.*, 1969; Baird *et al.*, 1996; Bruneau *et al.*, 1998; Fagerness y Keeley, 2000), y a *Agrostis palustris* (*A. stolonifera*) y *Poa trivialis* como de buena adaptación a la sombra (Bakker y Vos, 1976; Stier, 1999). Sin embargo, Ellengerg *et al.* (1991) encontraron que la tolerancia a la sombra es mayor en *Agrostis palustris* (*A. stolonifera*) que en *Festuca rubra*, siendo *Poa trivialis* la menos tolerante de las tres especies. Contrariamente, otros autores (Karnok, 1982; Danneberger, 1993; Harivandi y Gibeault, 1997) señalan que *Poa trivialis* tiene un excelente comportamiento en condiciones de baja intensidad lumínica.

El crecimiento de céspedes con baja intensidad lumínica expresa cambios en sus respuestas morfofisiológicas tales como disminuciones de número de macollos, pesos fresco y seco, área foliar verde remanente y cobertura, que se traducen en modificaciones de su calidad visual o apariencia. *Agrostis palustris*, *Poa trivialis* y *Festuca rubra*, aunque se indican como especies adaptadas a la sombra, muestran respuestas disímiles bajo diferentes intensidades de luz (Beard, 1969; Wood, 1969; Misha, 1991).

En el presente estudio se propone generar conocimientos sobre la calidad visual y funcional de tres especies mesotérmicas sometidas a distintos niveles de sombra durante la implantación y el primer año de crecimiento. Dichos conocimientos son necesarios para desarrollar recomendaciones de uso y nivel de calidad deseado bajo diferentes grados de intensidad lumínica. Se trabajará con especies disponibles en el mercado, de las cuales hay escasos antecedentes en el país y nulos a escala regional. El ámbito de aplicación de los resultados que se esperan obtener es la región centro sur de la Provincia de Córdoba.

1.2. Hipótesis de trabajo

La calidad visual y funcional de los céspedes constituidos por las especies *Festuca rubra*, *Agrostis stolonifera* var. *palustris* o *Poa trivialis*, está influenciada por la intensidad de luz que reciben. Ellas están indicadas por el buen comportamiento a distintos niveles de intensidad lumínica, lo que posibilita su elección como especie única con diferentes calidades para el uso en sistemas culturales (ornamental o deportivo) donde la luz se ve reducida por efecto de diferentes componentes del paisaje.

1.3. Objetivo general

Determinar la aptitud cuali – cuantitativa de tres especies mesotérmicas para formar cubiertas cespitosas bajo diferentes niveles de intensidad lumínica.

1.4. Objetivos específicos

- Evaluar los procesos de emergencia–establecimiento y crecimiento estacional de las especies *Festuca rubra*, *Agrostis stolonifera* var. *palustris* y *Poa trivialis*, bajo diferentes niveles de sombra.
- Definir los posibles usos de las cubiertas cespitosas formadas por *Festuca rubra*, *Agrostis palustris* y *Poa trivialis* y las condiciones de calidad mínimas requeridas por cada una de ellas en ambientes con diferente nivel de luz.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

2.1. La luz y el crecimiento de las plantas

2.1.1. Efecto de la intensidad de la luz

El sol es la fuente de energía que soporta la vida vegetal en la Tierra. La cantidad o intensidad de luz que incide sobre las plantas, su composición espectral, la dirección con que incide y la duración diaria (fotoperíodo), son aspectos del ambiente luminoso que cambian en condiciones naturales.

La intensidad de la luz, tiene un profundo efecto sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. A través de pigmentos especializados, éstas pueden capturar la energía radiante en diferentes regiones del espectro electromagnético. Los pigmentos de clorofila (a y b) capturan la radiación solar, en una banda espectral de longitudes de ondas entre los 400 y 700 nm; es la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y corresponde a la región visible del espectro de luz solar (Meyer *et al.*, 1960; Blackwell, 1966). La RFA absorbida por el tejido fotosintético, se convierte en energía química, usada luego, para fijar el CO₂ atmosférico que, combinado con el agua, produce oxígeno y carbohidratos. El porcentaje de RFA incidente que es interceptado y absorbido por un canopeo cespitoso varía con su tipo y la estructura que el mismo posee (Wilkinson y Beard, 1974; Dudeck y Peacock, 1992). Los céspedes sometidos a corte, son capaces de absorber y convertir en energía química solamente 1 a 2% del total de energía radiante incidente (Beard, 1973). Las gramíneas mesotérmicas requieren intensidades de luz entre 116 y 233 W. m⁻² para que funcione óptimamente el ciclo de Calvin (Dudeck y Peacock, 1992).

La eficiencia de conversión de energía lumínica en energía química, depende de numerosos factores genotípicos y ambientales. La disminución de la intensidad luz produce una reducción de la RFA. Las plantas que ocupan hábitats sombreados son incapaces de tener altas tasas fotosintéticas, pero se comportan eficientemente a bajas intensidades de luz. En cambio, plantas que crecen a altas intensidades de luz en su

hábitat nativo, tienen alta capacidad de fotosintetizar a intensidades de luz saturadas; pero muestran menores tasas de fotosíntesis en ambientes sombríos (Boardman, 1977). Por ende, las plantas que son capaces de adaptarse a la sombra desarrollan una mayor eficiencia fotoquímica, la cual se expresa por una pendiente más pronunciada en las primeras fases de la curva de respuesta a la luz (Leopold y Kriedmann, 1975).

El balance fotosíntesis-respiración es un factor crítico en la adaptación a la sombra. La fotosíntesis neta debe exceder a la respiración para que la planta sobreviva (Wilkinson *et al.*, 1975). Este balance podría ser mejorado bajando la tasa de respiración o el punto de compensación de la luz (Björkman *et al.*, 1972) que, en las plantas de césped adaptadas a sombra, generalmente es bajo. La habilidad de las gramíneas de maximizar la fotosíntesis a bajas intensidades de luz y tener menores puntos de compensación, les permite competir en situaciones sombreadas. Según Beard (1973), el punto de compensación para la mayoría de los céspedes está entre el 2 y 5% de la luz solar plena. Bajo sombra de coníferas, *Lolium perenne* alcanzó ese punto con una intensidad lumínica de $150 \text{ moles.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y un promedio de 2,5 hs de luz cada día. (Azcon-Bieto *et al.*, 1981)

Wilkinson *et al.* (1975), encontraron que *Poa pratensis* cv. "Merion" y *Festuca rubra* cv. "Pennlawn" respondieron de manera similar a la reducción de la intensidad de la luz en términos de fotosíntesis neta, punto de saturación y de compensación de la luz; pero estos factores no pudieron ser asociados con la habilidad de *F. rubra* para proporcionar un césped más deseable que el de *P. pratensis* en la sombra. La respiración oscura de plantas individuales de *F. rubra* fue reducida en la intensidad lumínica más baja mientras que ello no ocurrió en *P. pratensis*. Esa respuesta puede contribuir al balance positivo de CO_2 de *F. rubra* y por ende a su adaptabilidad a la sombra.

El crecimiento de las plantas a bajas intensidades de luz, exhibe distintas respuestas fisiológicas (Daubenmire, 1959) y morfológicas. Los cambios fisiológicos observados son: mayor contenido de clorofila, menor tasa de respiración, punto de compensación más bajo, menores reservas de carbohidratos, relación C/N más baja,

tasa de transpiración reducida, mayor contenido de humedad en los tejidos y menor presión osmótica. Por su parte, los cambios morfológicos más importantes son: hojas más delgadas con menor peso por unidad de área, reducción del ancho de la hoja, mayor longitud de la hoja y altura de la planta, reducción del número de macollos, entrenudos más largos, diámetro de tallo reducido y hábito de crecimiento más erecto (Beard, 1973). Estos cambios morfológicos y fisiológicos, provocados por un ambiente sombrío, causan un deterioro global en el vigor y la rusticidad de la planta. Los céspedes que crecen bajo sombra tienen una estructura más delicada y succulenta (Juska, 1963; Juska *et al.*, 1969), menor tolerancia al frío, calor, sequía e intensidad de uso; como así también mayor susceptibilidad a enfermedades e insectos (Lucanus, *et al.*, 1960; Whitcomb, 1968; Zarlengo, *et al.*, 1994).

Para evaluar el efecto de la disminución de la intensidad lumínica en cubiertas cespitosas formadas por especies mesotérmicas o megatérmicas, sin alterar la calidad espectral de la luz, muchos investigadores utilizaron en sus experimentos mallas media sombra de color negro, con diferente entramado para ajustar la densidad de sombra deseada (McBee y Holt, 1966; Callaham y Fribourg, 1975; Gaussoin *et al.*, 1988; Bär, *et al.*, 1995; Wu y Harivandi, 1995; Huber y Schulz, 1997; Bell y Danneberger, 1999). Las mallas también fueron utilizadas para evaluar especies forrajeras en la sombra (Auda *et al.*, 1966; Singh *et al.*, 1974; Eriksen y Whitney, 1981; Norton *et al.*, 1990; Allard *et al.*, 1991; Kephart *et al.*, 1992; Kephart y Buxton, 1993; Mosquera-Losada *et al.*, 2001). Otros investigadores usaron luz artificial, ajustando la intensidad de luz deseada mediante combinaciones de tubos fluorescentes e incandescentes sin alterar la calidad espectral (Wood, 1969); y Ludlow *et al.* (1974), Wong (1990) y Kaligis (1995) emplearon una combinación de luz artificial y mallas media sombra de color negro. Barrios *et al.* (1986) y Gaussoin *et al.* (1988) estudiaron el comportamiento de céspedes megatérmicos creciendo bajo mallas media sombra, pero de color verde.

Mediciones realizadas con espectroradiómetro a mallas media sombra de color negro y con diferente entramado (sombreado entre 30 y 98%), comprobaron que

se comportaban de forma neutra. Esto significa que reducen la transmisión de luz uniformemente entre los 300 y 1100 nm del espectro solar, sin alterar su calidad espectral (McBee y Holt, 1966; Yates, 1989; Allard *et al.*, 1991; Buisson y Lee, 1993; Baraldi *et al.*, 1998; Stuefer y Heidrun, 1998 y Kittas *et al.*, 1999). Gaskin (1965), evaluó la calidad espectral de la luz bajo mallas plásticas de color verde, con un medidor de temperatura color -instrumento que mide energía espectral azul y roja- para simular sombra de árboles deciduos, concluyendo que la calidad de la luz era comparable a la producida por ese tipo de árboles cuando la sombra era menor al 75%. En contraposición, Yates (1989) encontró que, aunque las copias de los árboles y las mallas aumentan la región verde del espectro; la luz transmitida a través de la vegetación contiene una proporción mucho mayor en el rango del infrarrojo cercano, que la que podría encontrarse bajo la malla media sombra de color verde.

2.1.2. Efecto de la calidad de la luz

En la mayoría de los paisajes el césped crece en asociación con árboles, arbustos y construcciones de todo tipo, las que producen sombras que reducen la cantidad de radiación disponible para la fotosíntesis y alteran la composición espectral de la luz influenciando la fotomorfogénesis.

Desde el punto de vista de la calidad de la luz y basados en la banda de absorción de los pigmentos (clorofila a y b, carotenoides, fitocromo, etc.), la RFA puede estar dividida dentro de longitudes de onda de alta y baja actividad. La RFA de 400 a 500 nm, referida como luz azul y la RFA de 600 a 700 nm, referida como luz roja, son activas para la fotosíntesis, fotomorfogénesis y síntesis de clorofila (Blackwell, 1966). La RFA desde 500 a 600 nm, generalmente llamada luz verde, es básicamente inactiva para el crecimiento y desarrollo de la planta. La radiación roja-lejana, ocurre en la banda espectral desde 700 a 800 nm y no es activa para la fotosíntesis, pero influencia fuertemente la fotomorfogénesis (McMahon *et al.*, 1991; Casal y Sánchez, 1994).

La calidad espectral de la luz en sombras producidas por árboles deciduos, coníferas y construcciones en un ambiente natural fue estudiada por Mc Kee, (1963);

Gaskin (1965), Vezina y Boulter (1966) y Bell *et al.* (2000). La relación entre la radiación azul, roja y roja-lejana, que influencia varias respuestas de las plantas, fueron afectadas tanto por la fuente de sombra, como por la densidad de sombra (Bell *et al.*, 2000). A diferencia de la sombra producida por construcciones, el canopeo de los árboles, deciduos o coníferas, actúan como filtros selectivos. A medida que la luz solar alcanza el canopeo de un árbol, esta puede ser absorbida por las hojas, reflejada dentro de la atmósfera o transmitida a las plantas que crecen debajo de él.

Mc Kee (1963), utilizando un medidor de temperatura color, concluyó que la luz azul estaba enriquecida comparada con la luz roja, en sombra de árboles deciduos y en sombra de edificios, pero que declinó en sombra de coníferas. Usando un instrumento similar, Gaskin (1965) mostró que la calidad de luz bajo árboles deciduos, no difería de la luz solar completa si la densidad de sombra no superaba el 75%. Cuando la sombra producida por los árboles era mayor, aumentaba en proporción la luz roja. Gaskin (1965), también encontró que la sombra de una construcción era más rica en longitudes de onda azul que la de un roble (*Quercus alba* L.) y un arce (*Acer* sp.). Vezina y Boulter (1966), demostraron una reducción en longitudes de onda roja y azul y un incremento proporcional en longitudes de onda verde y rojo lejano bajo un bosque de árboles deciduos. Sin embargo, bajo un bosque de coníferas, encontraron una sombra casi “neutral” respecto a su calidad espectral; esto es, predominante en longitudes de onda corta del azul, aunque con proporciones de rojo lejano mayores que fuera del bosque. Similares resultados obtuvieron Bell *et al.* (2000) realizando mediciones con espectralradiómetro en sombra de coníferas. Sus estudios también indicaron que la proporción de fotones de alta actividad (rojo + azul) fue significativamente más baja en sombra de árboles deciduos y coníferas, que en sombra de construcciones y luz solar completa. La proporción de luz azul no difirió en sombra de árboles deciduos y coníferas, pero fue mayor en sombra de construcciones; mientras que la proporción en el rango del rojo lejano fue más baja en la sombra de edificios que en la sombra vegetal. Estos autores también demostraron que con el incremento de la densidad de sombra, la cantidad de fotones de luz azul aumentó y la de luz roja disminuyó. En contraposición, McBee (1969) encontró bajo

la canopia de *Quercus stellata*, que a medida que la sombra era más densa desde el perímetro de la copa hacia el tronco, el mayor porcentaje de reducción era en la porción azul del espectro.

Meyer *et al.* (1960) mostraron, que el espectro de absorción de clorofila a y b, es máximo en la región azul del espectro solar, con un máximo secundario en la zona del rojo. McBee (1969) reportó que el crecimiento de bermudagrass (*Cynodon dactylon* L.) mejoró en cobertura y calidad visual, cuando la luz azul estaba presente y la luz roja era filtrada, comparada con la situación inversa. Hallazgos similares fueron reportados por McVey y Mayer (1969), trabajando con *Poa pratensis* cv. "Windsor" y *Cynodon dactylon* cv. "Tifgreen". La calidad del césped de ambas especies se mejoró cuando fueron expuestas bajo unidades de plásticos acrílicos con transmitancia en el azul (410-510 nm), en comparación con la exposición a la luz producida por acrílicos grises (390-760 nm) a intensidades de luz similares.

Para evaluar el comportamiento de especies cespitosas mesotérmicas o megatérmicas a la disminución de intensidad lumínica, muchas investigaciones se realizaron bajo árboles caducos (Beard, 1965 y 1969; Wood, 1969; Chesnel *et al.*, 1980; Wu *et al.* 1985; Misha, 1991; Sifers *et al.*, 1991; Morton *et al.*, 1994 a, b, c; Riffell *et al.*, 1995; Christians *et al.*, 1998, 1999, 2000, 2001; Christians y Li, 2002). En tanto, Wilkinson y Beard (1974), trabajaron con luz artificial y una calidad que simulaba la producida por la canopia de árboles deciduos. Varias especies forrajeras también fueron evaluadas bajo sombra de árboles (Hart *et al.*, 1970; Sanchez e Ibrahim, 1990). En estos estudios, no es posible conocer si la respuesta de las diferentes especies a la sombra, fue debida a la disminución de la intensidad lumínica, al cambio de su calidad espectral o a ambas. Además, al tratarse de sombra producida por árboles deciduos, los genotipos recibían sol desde la caída de hojas hasta la brotación siguiente, lo que beneficiaría a las especies mesotérmicas. Según Whitcomb (1972), muchas de las investigaciones bajo árboles no mantuvieron una parcela control sin la influencia de las raíces de los árboles, ya que su presencia reduce el

crecimiento y vigor de la mayoría de las gramíneas, además de involucrar posibles efectos alelopáticos.

2.2. Las especies cespitosas y la luz

La evaluación de la calidad visual y funcional de los céspedes durante su establecimiento y período de crecimiento se realiza a través de la velocidad de implantación, densidad de la parte aérea, porcentaje de cobertura del suelo, producción de materia fresca o seca, apariencia y color, entre otros (Turgeon, 1996).

A continuación se reseñan antecedentes de la literatura sobre el comportamiento de especies cespitosas a la intensidad lumínica a través de las respuestas de sus procesos de crecimiento.

La **implantación** es una etapa importante en los céspedes sometidos a sombra. Bär *et al.* (1995), mostraron que *Festuca rubra* se implantó más rápido que *Poa pratensis*, encontrándose *Agrostis palustris*, en situación intermedia; sin embargo, no encontraron diferencias entre distintos niveles de sombra (15, 55 y 75%). La altura del canopeo aumentó con incrementos del nivel de sombra, alcanzando *F. rubra* los valores más altos a la sombra y *P. pratensis* y *A. palustris*, los más bajos. En estudios realizados por Chesnel *et al.* (1980) bajo canopias de *Tilia platyphylla*, probaron que *A. palustris* tuvo una lenta implantación, mientras que *F. rubra* y *P. trivialis* se implantaron rápidamente.

La **densidad de la parte aérea** de *A. palustris* cv. "Penncross" evaluada cualitativamente mediante una escala visual, disminuyó significativamente en las parcelas sombreadas todo el día en el verano, con un promedio de flujo de fotones fotosintéticos del 25% de la luz solar plena, respecto de las no sombreadas. Sin embargo, los tratamientos con sombra a la mañana o la tarde, resultaron ser similares a los de luz solar completa (Bell y Danneberger, 1999). Evaluando la densidad en forma cuantitativa, a través del número de macollos, Juska (1963) trabajando con *A. palustris* y Gaskin (1965) con *P. pratensis*, concluyeron que la densidad del césped disminuye a medida que se reduce la luz. En contraposición, Beard (1969) señaló que

la cantidad de macollos en *Agrostis canina* y *A. palustris* aumenta con poco sombreado, pero disminuye con sombreado intenso. Simulando con luz artificial, la calidad espectral de la sombra producida por árboles deciduos, Wilkinson y Beard (1974), determinaron que la densidad de macollos por cm² de *P. pratensis* disminuyó a partir de una reducción lumínica del 50%, mientras que en *F. rubra*, no declinó hasta que la intensidad de luz fue tan baja como el 12% de la luz solar plena. Bajo un bosque de *Acer saccharum*, que producía 95% de sombra, *P. trivialis* fue dos veces más densa que cualquier otra gramínea y luego le siguió *F. rubra* cv. "Pennlawn" (Beard, 1965).

Especies forrajeras usadas en sistemas silvopastoriles también fueron sometidas a evaluaciones bajo diferentes intensidades lumínicas. Especies C₃ (*Festuca arundinacea*; *Phalaris arundinacea*; *Panicum clandestinum*) y C₄ (*Panicum virgatum*; *Andropogon gerandii*) crecieron bajo mallas media sombra de color negro que producían 30 y 63% de sombra y se compararon con un tratamiento no sombreado. En ése ensayo, Kephart *et al.* (1992) demostraron que el número de macollos disminuyó con el aumento de la sombra, siendo significativa para *F. arundinacea* (C₃) y *A. gerandii* (C₄), pero la densidad de macollos no fue influenciada por el régimen de luz para las otras especies estudiadas. Similares respuestas de reducción de macollos a medida que se disminuye la intensidad lumínica fueron obtenidas por Auda *et al.* (1966) en *Dactylis glomerata*, Ludlow *et al.* (1974) en dos gramíneas tropicales, Wong *et al.* (1985) en *Axonopus compressus* y *Stenotaphrum secundatum* y Allard *et al.* (1991) en *Festuca arundinacea*.

El **peso seco de la biomasa remanente** después del corte, fue evaluado por Wood (1969) en *Poa trivialis* y *Festuca rubra* cv. "Pennlawn" en cámaras de crecimiento con intensidades de luz de 75, 37.5, 12.5 y 5% de la luz solar plena. La producción de materia seca disminuyó con la reducción de la intensidad de luz; la caída fue significativamente mayor para *P. trivialis* que para *F. rubra* cv. "Pennlawn", especialmente con las mayores reducciones lumínicas. Sin embargo, cuando el ensayo se realizó bajo árboles caducifolios (*Acer rubrum*, *Betula*

papyrifera y *Quercus rubra*), que permitían la penetración de aproximadamente el 5% de la luz incidente, *P. trivialis* no difirió de *F. rubra* en la producción de materia seca aérea; mientras que los valores registrados para *Agrostis palustris* cv. "Penncross" fueron significativamente inferiores. Bär *et al.* (1995) evaluaron el rendimiento en materia seca de *F. rubra* y *A. palustris* cv. "Penncross" a las 14 semanas de implantadas y sometidas a reducciones de luz del 15, 55 y 75% con mallas de color negro. En cuatro de las cinco fechas evaluadas, la producción de materia seca de ambas especies fue más alta con 55% de sombra. En la última fecha de evaluación, la materia seca fue mayor en el control (15% de reducción de luz) y decreció con el aumento de la intensidad de sombra.

En los ensayos de Wilkinson y Beard (1974), el peso seco de la parte aérea de *F. rubra* y *P. pratensis* a las 14 semanas de la implantación, se mantuvo estable en la máxima intensidad de luz y cuando se redujo su valor a la mitad (43060 y 21530 lux, respectivamente), pero disminuyó abruptamente con 75 y 95% de sombra. Wu *et al.* (1985) evaluaron el comportamiento de *F. arundinacea* bajo árboles de *Celtis chinensis*, que brindaban sombras de 70 y 90%. El césped creciendo bajo sombra densa obtuvo, a mediados de verano, solo el 30% del peso seco de la parte aérea respecto de los que crecieron al sol, mientras que en las parcelas sometidas a sombra parcial el peso seco fue el 50% del control. En contraposición Misha (1991), trabajando con *F. arundinacea* y *F. rubra* bajo árboles que brindaban 85 y 95% de reducción de luz, encontró que el peso fresco y seco tendió a aumentar con el incremento de sombra.

Evaluaciones de especies forrajeras bajo mallas media sombra mostraron, que el rendimiento en materia seca disminuyó con el aumento del grado de sombreo (Auda *et al.*, 1966; Norton *et al.*, 1990). Similares resultados fueron obtenidos por Allard *et al.* (1991) en *F. arundinacea*, atribuyendo la disminución de la producción total de materia seca a la menor cantidad de macollos por área cosechada. Norton *et al.* (1990) encontraron que si bien el rendimiento en materia seca disminuía con la sombra, el porcentaje de hoja aumentó y el de material muerto o broza disminuyó. El

rendimiento de la parte aérea de las cinco gramíneas C₃ y C₄ evaluadas por Kephart *et al.* (1992), respondieron positivamente al incremento en radiación. Estos autores, analizaron los principales componentes del rendimiento y mostraron que el peso seco de los macollos se incrementó con la irradiación, mientras que el número de macollos no fue influenciado por el régimen de luz. Forrajeras mesotérmicas fueron evaluadas por Mosquera-Losada (2001) bajo malla plástica negra que dejaba pasar 50% de la radiación incidente. Probaron que *Agrostis tenuis* produjo mayor cantidad de materia seca en la sombra que al sol.

El **porcentaje de materia seca** decreció con incrementos en la intensidad de sombra para todas las especies cespitosas mesotérmicas probadas por Bär *et al.* (1995). Esta tendencia fue similar en seis especies forrajeras tropicales sometidas a cuatro niveles de luz con mallas media sombra (Eriksen y Whitney, 1981; Norton *et al.*, 1990).

El **índice de área foliar (IAF)**, es un parámetro útil en evaluaciones de densidad del canopeo, características de crecimiento y respuestas fisiológicas. Rara vez es medido en césped debido al diminuto tamaño de las plantas y por requerir mucho tiempo. Los métodos que utilizan largo y ancho de la hoja (Eggens, 1980) y los que se basan en mediciones electrónicas (medidor de área foliar), son poco seguros en especies cespitosas. Se ha recurrido a métodos matemáticos, basados en la suma de las áreas de la vaina y de la hoja (Brede y Duich, 1980) o métodos indirectos, basados en la atenuación de la luz en la canopia, que era transmitida de una fuente colocada en la base de la misma (Kopec *et al.*, 1987). Para poder estimar el IAF en forma sencilla, Aase (1978) en *Triticum aestivum* y Ramos *et al.* (1983) en *Hordeum* sp., encontraron una alta correlación entre área foliar y peso seco de la hoja, a través de un modelo lineal. Según Beard (1973), la utilización más eficiente de la energía solar en céspedes se encuentra en un índice de área foliar (IAF) de 2 a 3.

El **área foliar de la biomasa remanente después del corte** fue estimada en *P. pratensis* y *F. rubra* bajo cinco niveles de intensidad de luz (Wilkinson y Beard, 1974). *P. pratensis* declinó el área foliar con cada disminución de la intensidad de

luz, mientras que *F. rubra* mantuvo el área foliar hasta el 75% de reducción de la intensidad y luego disminuyó. Las láminas de hojas de *F. arundinacea* creciendo bajo mallas que producían 70% de sombra, obtuvieron entre un 56% a 77% más área foliar que aquellas creciendo en luz solar completa (Allard *et al.*, 1991). En dos gramíneas y dos leguminosas forrajeras Ludlow *et al.* (1974) y Wong *et al.* (1985) probaron que el **área foliar específica** se incrementó con el sombreado, debido a que disminuyó en mayor proporción el peso seco de la hoja que el área foliar de la misma. Wong (1990), mostró que las gramíneas con alta tolerancia a la sombra, tienen un área foliar específica mayor que aquellas de baja tolerancia a la sombra. Con aumentos de irradiación, el área foliar específica disminuyó tanto para las especies C₃ como C₄ (Kephart *et al.*, 1992).

El **porcentaje de cobertura del suelo**, otro factor importante que determina la calidad visual y funcional del césped, es evaluado en todos los estudios, de forma visual a través de escalas cualitativas o como porcentaje de cobertura observado. Bär *et al.* (1995) y Huber y Schulz (1997) mostraron que la cobertura disminuyó con el aumento de la sombra. Durante el verano, *A. stolonifera* cv. "Penncross" cubrió entre un 80 y 70%, cuando creció bajo mallas media sombra que brindaban el 15% y 55% respectivamente, mientras que para *F. rubra* esos valores descendieron al 60% para la mayor intensidad lumínica y menor al 50% de cobertura con el nivel del 55% de sombra. Cuando la reducción de luz alcanzó el 75%, *A. stolonifera* cubrió el 60% del suelo, pero la cobertura de *F. rubra* descendió a niveles menores del 40%; valor que lo consideraron, no aceptables para un césped. Sin embargo, el comportamiento de *F. rubra* cv. "Pennlawn" en evaluaciones realizadas por Callahan y Fribourg (1975) bajo 0%, 30%, 50% y 70% de sombra fue disímil. Bajo 70% de sombra y en pleno sol, el porcentaje de cobertura fue sólo del 30%, aumentando alrededor del 50% bajo los niveles de sombreado del 30 y 50%. Según estos autores la especie sufrió un estrés en pleno sol por efecto de las altas temperaturas del aire y la poca disponibilidad de agua en el horizonte superficial del suelo, pero las condiciones ambientales se moderaron cuando *F. rubra* creció en los niveles intermedios de sombra.

Las disminuciones en el porcentaje de cobertura con intensidades de luz menores, fueron encontrados por McBee y Holt (1966) en especies cespitosas megatérmicas como *Cynodon dactylon* "Tifway" y *Paspalum notatum*, mientras que la cobertura tendió a incrementarse en *Stenotaphrum secundatum* y *Zoysia japonica* "Meyer". Wu y Harivandi (1995), estudiaron el comportamiento de dos variedades de *Buchloe dactyloides* en intensidades de luz del 50%, 30% y el control sin sombrear. En la variedad menos tolerante a sombra, el porcentaje de cobertura se redujo a un 50% en la sombra intermedia y a un 40% bajo el 70% de sombra, en tanto en la variedad más tolerante no disminuyó la cobertura bajo el 50% de sombra y sólo disminuyó al 95% bajo fuerte sombreado.

El criterio principal en la evaluación de un césped es su **apariencia estética**, la que se valora mediante una escala cualitativa. En los ensayos de Callaham y Fribourg (1975), *Festuca arundinacea* y *Festuca rubra* alcanzaron una calidad media a pobre a lo largo del verano bajo sol, 30, 50 y 70% de sombra, debido al stress por altas temperaturas. Bär *et al.* (1995) y Huber y Schulz (1997) mostraron que la reducción de la intensidad lumínica durante el verano, desde el control hasta 75% de sombra, produjo apariencias aceptables en *A. palustres* cv. "Penncross" pero no así en *F. rubra*. En evaluaciones realizadas en céspedes mesotérmicos bajo sombra (70%) y sol directo, Al-Mana (2000) probó que *A. palustris* cv. "Penncross" obtuvo niveles de calidad aceptables durante los dos años de estudio. La calidad de todas las gramíneas y su comportamiento fueron generalmente mejores en el invierno y la primavera. Durante el verano, todas las especies creciendo bajo sombra sobrevivieron y continuaron su crecimiento en el segundo año; mientras que las crecieron bajo el sol, murieron.

Estudios realizados por Beard (1965), bajo un bosque compuesto por *Acer saccharum*, que permitió penetrar sólo el 5% de la luz solar incidente, mostraron que *F. rubra* cv. "Pennlawn" obtuvo mejor calidad que *P. trivialis*. Bajo árboles latifoliados que brindaban una sombra entre 90% y 98%, Chesnel *et al.* (1980) determinaron que la calidad de *A. palustris* fue mejor que la de *F. rubra* y *P. trivialis*

en los dos primeros años de estudio. En los ensayos de adaptación a sombra bajo *Ulmus pumila*, Christians *et al.* (1998, 1999, 2000 y 2001) y Christians y Li (2002) reportaron que el promedio de calidad a lo largo de varios años, fue mejor para *F. rubra* cv. "Pennlawn" que para *P. trivialis* cv. "Sabre", manteniéndose en valores cercanos al mínimo aceptable.

2.3. Las especies cespitosas y la temperatura

Las especies mesotérmicas poseen un rango de temperaturas óptimas de 15 a 24 °C para el crecimiento de la parte aérea y de 10 a 18 °C para el crecimiento radical (Beard, 1973). Estas especies, frecuentemente utilizadas en regiones climáticas frías, templadas y de transición en EE. UU., encuentran restricciones al crecimiento cuando las temperaturas de verano exceden los niveles óptimos por períodos extensos (Xu and Huang, 2000 a, b). Según Turgeon (1996), *A. stolonifera* var. *palustris* está considerada como una especie de mayor tolerancia al calor; mientras que *P. trivialis* y *F. rubra* son más sensibles a las altas temperaturas.

Las temperaturas por encima del óptimo disminuyen la tasa fotosintética foliar y aumentan la respiración reduciendo el contenido de carbohidratos totales no-estructurales de la biomasa aérea y radical e inhibiendo la translocación de carbono a raíces de especies mesotérmicas como *A. stolonifera* var. *palustris*. Así, Huang y Gao (2000) mostraron que temperaturas del aire de 30 °C, redujeron la calidad del césped y el crecimiento de las raíces de *A. stolonifera* var. *palustris*. Dicha declinación estaría relacionada con el desbalance fotosíntesis/respiración y la menor disponibilidad de carbohidratos producidos bajo condiciones de temperaturas altas.

Los valores de temperaturas óptimas de suelo para el crecimiento radical son menores a los de parte aérea, lo que estaría indicando una mayor sensibilidad de las raíces al incremento de la temperatura. En tal sentido, Xu y Huang, 2000b, 2001a, mostraron que temperaturas de suelo por encima del óptimo son más perjudiciales que la temperatura del aire para el crecimiento de raíces y parte aérea y la absorción de nutrientes. Xu y Huang (2001b), determinaron que no hubo incrementos significativos en densidad de macollos, rendimiento de recortes, número y peso fresco

de raíces en cultivares de *A. stolonifera* var. *palustris*, hasta que la temperatura del suelo se redujo a 29 °C. Cuando dicha temperatura alcanzó 24 °C, la calidad del césped, la tasa de crecimiento de la parte aérea y la relación raíz/parte aérea se mantuvieron en los mismos niveles que el control (20 °C temperatura del aire/20 °C temperatura de suelo). Además, la temperatura del suelo influencia fuertemente el crecimiento de la parte aérea, a través de la producción de citoquininas en los tejidos radicales (Kuroyanagi y Paulsen, 1988). La menor producción de estas hormonas y su baja transferencia a la parte aérea afectan la fotosíntesis en hoja, el contenido de clorofila y el crecimiento aéreo.

El sistema radical de *A. stolonifera* var. *palustris* se reduce durante el verano (Carrow, 1996). Los cambios en la producción de raíces nuevas y la muerte de las existentes, pueden contribuir a la declinación del césped. Huang y Liu (2003), demostraron que las altas temperaturas de suelo durante el verano produjeron entre un 40-60% de mortalidad de raíces en *A. stolonifera* var. *palustris* y un acortamiento en la profundidad de enraizamiento, lo que contribuyó a la disminución de la calidad del césped. El largo total y el número de raíces fueron mayores en febrero y decrecieron en marzo. De enero a marzo, el número y la longitud de raíces nuevas decrecieron, mientras se incrementó el de raíces muertas. En consecuencia, la relación raíces muertas/raíces vivas en longitud y número se incrementó hacia fines del verano.

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Caracterización del área donde se realizó el estudio

El estudio se realizó en la Universidad Nacional de Río Cuarto ($33^{\circ} 07'$ de latitud sur, $64^{\circ} 14'$ de longitud W de G. y 421 m sobre el nivel del mar).

El clima regional es templado, subhúmedo a semiárido, con estación seca en invierno (Ravello y Seiler, 1978/79). El régimen de precipitaciones es monzónico y concentra el 80% de las lluvias entre octubre y abril, con una precipitación media anual de 850 mm. Las temperaturas máximas medias oscilan entre 15°C en el mes de julio y 29°C en enero, mientras que las mínimas medias son $2,5^{\circ}\text{C}$ en julio y 17°C en los meses de diciembre y enero. El período libre de heladas es de 256 días y se extiende entre el 12 de setiembre (± 20.3 días) y el 25 de mayo (± 14.3 días) (Seiler *et al.*, 1995). En la Figura 1 se muestran las temperaturas del aire (medias, mínimas y máximas medias) registradas durante el período de evaluación (Abril 1999-Abril 2000) y la serie histórica de temperaturas medias, tomadas de registros de 28 años (1974-02), para los mismos meses.

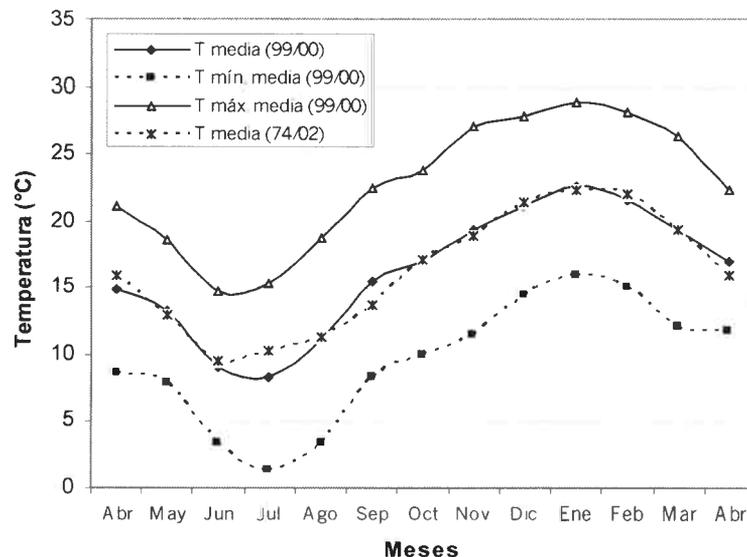


Figura 1. Temperatura del aire media, mínima media y máxima media registradas entre Abril 1999-Abril 2000 y la temperatura media histórica del período 1974/2002.

Por su parte, en la Figura 2 se consignan los promedios decádicos de la temperatura de suelo (a 10 cm de profundidad) registrada durante el período de evaluación antes mencionado y los registros históricos del período 1974-2002 (Estación Agrometeorológica de la Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC).

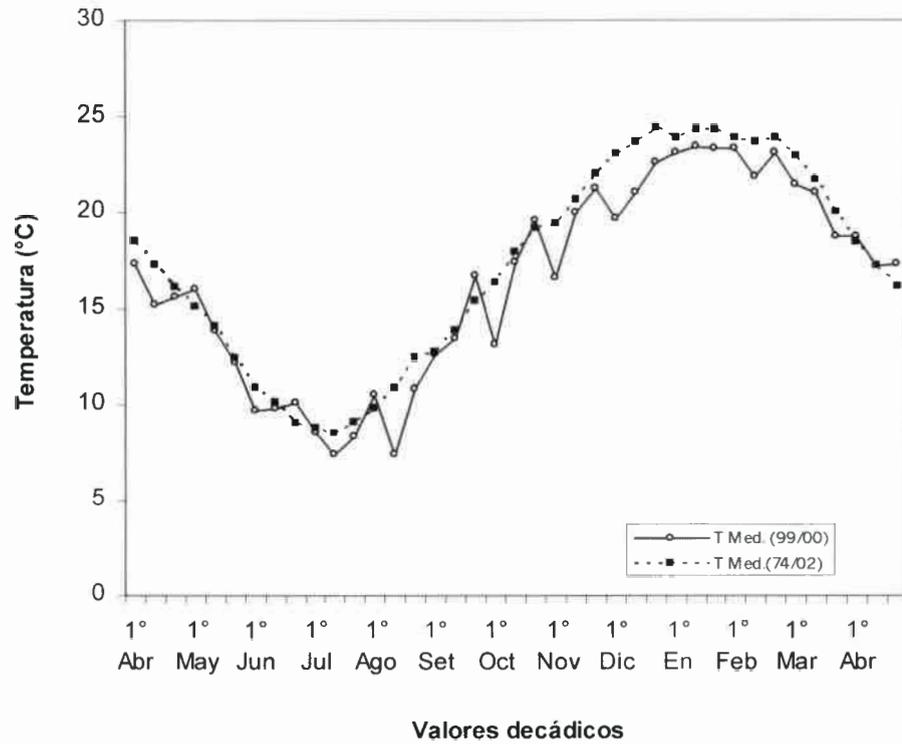


Figura 2. Promedios decádicos de la temperatura media del suelo (a 10 cm de profundidad) registrada entre Abril 1999 y Abril 2000 y la temperatura media del suelo del período 1974/2002.

El suelo del área de estudio está clasificado como Hapludol típico de textura franco arenosa muy fina. Presenta susceptibilidad a la degradación superficial y compactación, debido a que entre el 60 y 80% de las partículas granulométricas corresponden al tamaño de las fracciones limo y arena muy fina y a los bajos contenidos de arcilla y materia orgánica (Cantero *et al.*, 1987). Este suelo tiene una representatividad regional importante en el centro-sur de la provincia de Córdoba.

3.2. Descripción del ensayo experimental

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con tres repeticiones y un arreglo espacial en parcelas divididas. El nivel de intensidad de luz se asignó a la parcela principal y las especies a las sub-parcelas.

Los niveles de intensidad de luz evaluados fueron: 0% (control o luz solar plena), 25, 50 y 80% de reducción de la luz solar plena o nivel de sombra (expresiones que serán utilizadas indistintamente en el cuerpo del presente trabajo). Cada condición experimental de sombra se ajustó con mallas plásticas negras de diferente entramado, sujetas a estructuras rectangulares de hierro con cuatro patas para fijarlas al suelo. Las mismas se removían para realizar las tareas de mantenimiento y la recolección de datos. Las dimensiones de las estructuras de mallas plásticas fueron 2,60 x 1.50 m, de tal manera que abarcaban las tres sub-parcelas correspondientes a cada una de las especies utilizadas bajo un mismo nivel de intensidad de luz.

Sobre ellas se ubicaron las mallas que cubrían la parte superior a una altura de 25 cm del suelo y los laterales con una prolongación de 10 cm desde el borde superior, para impedir la entrada directa de luz solar a las sub-parcelas (Ver Anexo IV, 7.4.1).

La elección de mallas plásticas negras se basa en su comportamiento neutral ya que transmiten la luz uniformemente entre los 300 y 1100 nm de longitud de onda del espectro solar, sin alterar su calidad espectral (McBee y Holt, 1966; Yates, 1989; Allard *et al.*, 1991; Buisson y Lee, 1993; Baraldi *et al.*, 1998; Stuefer y Heidrun, 1998 y Kittas *et al.*, 1999). Esa cualidad fue verificada previo a la instalación del ensayo mediante un control cuali-cuantitativo de las mallas empleando un espectralradiómetro modelo LI-1800 (LiCor, Lincoln, NE). La Tabla 1 muestra la cantidad de luz que atraviesa cada una de las mallas. Para determinar posibles cambios de la calidad espectral, se relacionó el flujo de fotones del espectro en el rango del azul, del rojo y la suma de ambos respecto al espectro entre 400 y 800 nm. Como se observa en la Tabla 2, el aumento de la densidad de las mallas (de 25 a 80%) produjo una ligera disminución del flujo de fotones en el rango del rojo y un

aumento, de similar magnitud, en el rango del azul. Sin embargo, la relación entre la suma de ambos rangos (que constituye la radiación RFA) y el espectro total (400 a 800 nm) no se modificó confirmando la neutralidad de las mallas.

Tabla 1. Valores de intensidad lumínica en el rango de la RFA (400-700 nm), en $\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, porcentaje de reducción de la luz en cada una de las mallas y diferencia del valor nominal de sombra indicado por el fabricante.

Niveles de intensidad de luz	400-700 nm	Porcentaje de reducción de luz respecto del control	Diferencia con lo indicado por el fabricante
Luz solar completa (control)	1942	100.00	---
25% sombra (75% intensidad de luz)	1433	73.79	- 1.21
50% sombra (50% intensidad de luz)	967.2	49.80	- 0.20
80% sombra (20% intensidad de luz)	446.4	22.99	+ 2.99

Tabla 2. Valores de intensidad lumínica ($\mu\text{moles}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) en el rango de 400 a 800 nm, del azul (400-500 nm), rojo (600-700 nm), rojo lejano (700-800 nm) del espectro solar y las relaciones entre azul (A), rojo (R) y azul+rojo (A+R) y el espectro 400 a 800 nm.

Niveles de intensidad de luz	400-800 nm (I)	400-500 nm	600-700 nm	700-800 nm	A/(I)	R/(I)	A+R/(I)
Luz solar completa (control)	2573.0	525.5	718.2	629.4	0.203	0.279	0.483
25% sombra (75% intensidad de luz)	1896.0	390.3	525.2	462.2	0.205	0.277	0.482
50% sombra (50% intensidad de luz)	1279.0	268.3	350.4	310.9	0.209	0.274	0.483
80% sombra (20% intensidad de luz)	590.5	130	157.2	143.7	0.219	0.266	0.486

Las especies y variedades evaluadas fueron: *Festuca rubra* L. ⁽¹⁾ cv. “Pennlawn” (en adelante “*festuca*”), *Poa trivialis* L. ⁽¹⁾ cv. “Sabre” (en adelante “*poa*”) y *Agrostis stolonifera* L. var. *palustris* (Huds) Farw ⁽¹⁾ cv. “Penncross” (en adelante “*agrostis*”), que son muy utilizadas en *greens* de campos de golf, en resiembras de campos deportivos y espacios verdes en general. Además, como se mencionó en los antecedentes, se encuentran entre las especies más adaptadas a bajas intensidades lumínicas dentro de las disponibles en el mercado. Se caracterizan, por

⁽¹⁾ Nomenclatura según Zuloaga *et al.*, 1974

la textura (ancho de la lámina), siendo muy angosta en “*agrostis*” e intermedia en “*poa*”.

El tamaño de las sub-parcelas fue de 1,2 m² (1,50 x 0,80 m). Se dejó un espacio entre sub-parcelas de 0,1 m que se mantuvo libre de vegetación para evitar posibles mezclas entre las especies. La siembra se realizó el 20 de abril de 1999 con una densidad de 35.000 semillas viables por m² sobre el terreno previamente preparado y nivelado. Esa densidad es la recomendada técnicamente para lograr un césped ornamental de buena calidad o un campo deportivo de mediana competencia. Previo a la siembra se evaluó la calidad fisiológica de las semillas (normas ISTA, 1999), obteniéndose los siguientes resultados:

- Poder germinativo: “*agrostis*” 46%, “*festuca*” 84 y “*poa*” 87%.
- Pureza: 99% en las tres especies.

Sobre la base de estos datos se efectuaron los correspondientes ajustes de cantidad de semilla a sembrar para asegurar la densidad planificada.

Previo a la siembra se realizó un análisis de suelo para determinar la cantidad y disponibilidad de nutrientes y determinar las posibles necesidades de fertilización. Los resultados se muestran en el Anexo I, Tabla 4. Contrastando el nivel de nutrientes disponible en el suelo, con los requerimientos de las especies para cada nivel de luz, no fue necesario realizar una fertilización al momento de la siembra.

3.3. Descripción de las determinaciones realizadas

Las evaluaciones y observaciones planificadas, se realizaron siguiendo dos modalidades: una indirecta basada en la extracción y reposición de muestras (cilindros) y la otra en forma directa sobre la subparcela. Para evitar el posible disturbio asociado al muestreo con cilindros, se procedió a dividir la subparcela, destinándose una mitad (0,8 x 0,75 m) para el muestreo con cilindros (determinaciones de número de plántulas emergidas, número de macollos, peso fresco, área foliar verde); y la otra mitad para determinar directamente altura de canopeo, cobertura y apariencia.

Para evitar falta de independencia entre las muestras debida al proceso de extracción de los cilindros, se confeccionó una grilla de 0,65 x 0,65 m con

subdivisiones (celdas) internas de 0,09 x 0,09 m, dejando una bordura de 0,08 m. A cada celda se le asignó un número correlativo del 1 al 49 (Ver Anexo IV, 7.4.2). Luego, en cada fecha de muestreo se sortearon las 3 celdas de la grilla en las que se realizó el muestreo con el cilindro de 0,062 m de diámetro y 0,07 m de altura, según la metodología propuesta por Lush y Franz (1991), (Ver Anexo IV, 7.4.3). Completadas las determinaciones, cada muestra se repuso en la celda respectiva.

Desde el punto de vista fenológico, se consideraron dos etapas. La primera correspondiente al período entre la siembra y los 34 días después de la siembra, denominada etapa de establecimiento. Desde allí y hasta la finalización del estudio (11 meses posteriores), las especies se mantuvieron en crecimiento vegetativo, nombre que se asignó a esta etapa.

3.3.1. Período de emergencia-establecimiento

Esta etapa tuvo una duración ligeramente superior a un mes y durante la misma se realizaron a los 17, 24 y 34 días desde la siembra (DDS) las siguientes determinaciones:

3.3.1.1. Muestreo con cilindros

Número de plántulas emergidas: Se cuantificó el número de plántulas emergidas y los resultados se expresaron en N° plántulas/m².

3.3.1.2. Muestreo directo en la sub-parcela

Altura de plántulas: Con una regla graduada se tomaron 3 medidas al azar de la altura alcanzada por las plántulas en centímetros.

Grado de cobertura y uniformidad: Se determinó en forma visual, a través de una escala cualitativa basada en el porcentaje de cobertura y grado de uniformidad que presentaban las plántulas emergidas en la parcela. La escala estuvo comprendida entre 0 y 5, siendo:

0 = suelo desnudo, sin cobertura.

1 = hasta 30% de suelo cubierto y baja uniformidad (en manchones).

2 = 31-50% de suelo cubierto y regular a baja uniformidad.

3 = 51-70% de suelo cubierto y uniformidad media.

4 = 71-90% de suelo cubierto y uniformidad media a buena.

5 = >90% de suelo cubierto y uniformidad buena a excelente.

3.3.2. Período de crecimiento de las especies

Aproximadamente a los 60 días después de la siembra había comenzado la etapa de macollaje en todas las parcelas, con algunas diferencias según los niveles de luz, siendo más retrasadas las que crecieron bajo 80% de sombra.

3.3.2.1. Muestreos con cilindros

Durante los meses de junio, julio, setiembre, octubre y diciembre de 1999 y febrero, marzo y abril de 2000, se evaluaron en forma cuantitativa los siguientes parámetros:

Densidad: Mediante el recuento del número de macollos vivos por metro cuadrado.

Peso fresco y seco de masa vegetativa viva y muerta y porcentaje de materia seca:

Después del recuento de macollos, se cortó la biomasa aérea dejando un remanente de 0,5 cm para permitir la recuperación del césped. Se registró el peso fresco total del material extraído y luego se separó en biomasa viva (verde) y muerta (broza). Ambas muestras se secaron en estufa con circulación de aire forzado a 80 °C hasta peso constante. Se registró el peso seco de: la biomasa aérea total (PSTo), la materia verde (PSMv) y la broza (PSBr). Los resultados se expresaron en unidades de peso por superficie (gr/m^2). El porcentaje de materia seca (PorMS), se calculó como la proporción del peso seco total respecto al peso fresco total, por 100. Así mismo, se relacionó el PSMv y el PSBr con el PSTo y se lo expresó en porcentaje, obteniendo el $\text{PorPSMv}/\text{To}$ y $\text{PorPSBr}/\text{To}$.

Área foliar verde (AFv, en cm^2): En marzo de 2000, se midió el área foliar verde del material vivo previamente separado. Para ello, dicho material se distribuyó sobre una superficie blanca para su posterior “escaneo” y determinación del AFv con el programa Sigma Scan Pro (Jandel Scientific, San Rafael, CA). Para estimar el AFv en los otros meses, se utilizó un método indirecto basado en la correlación entre el AFv medida en marzo de 2000 y el peso seco del material verde correspondiente. Para elegir la correlación de mejor ajuste, se analizaron las siguientes variantes: 1) todos los datos de peso seco del material verde y área foliar verde; 2) los promedios de ambas variables de las tres muestras en cada nivel de luz y especie; 3) los promedios por nivel de luz; y 4) los promedios por especie (Anexo II, Tabla 6). De acuerdo a la

correlación observada se seleccionó la variante 3. La relación estimada se usó para obtener el AFv de las otras fechas de muestreo a partir del dato medido de peso seco del material verde.

Índice de Área Foliar (IAF): Se calculó a partir de los datos de AFv.

Área foliar específico (AFE, cm²/gr): Se calculó dividiendo el AFv de la muestra por el peso seco de la materia verde.

3.3.2.2. Muestreo directo en la sub-parcela

En las mismas oportunidades que se realizaron los muestreos con cilindros, se evaluó la cobertura en forma cuanti y cualitativa y la calidad visual o apariencia de manera cualitativa.

Cobertura del suelo: La cobertura fue evaluada como el porcentaje de superficie de suelo cubierto por material vivo de la especie vegetal sembrada en la sub-parcela (Greig-Smith, 1964; Collocott y Dobson, 1974) empleándose para ello dos métodos:

1) Point Quadrat, método cuantitativo no destructivo basado en seleccionar al azar un número de puntos en un área y determinar la proporción de éstos que son interceptados por la vegetación. Luego, la cobertura se calcula como el número de intercepciones relativas al número total de puntos muestreados (Heslehurst, 1971). El instrumento utilizado, consistió en un marco que sostiene 10 agujas (Rothery, 1974) con la punta bien afinada (Warren Wilson, 1959), alineadas verticalmente y espaciadas a intervalos regulares de 5 cm. Cada aguja se desplazaba en sentido vertical descendente hacia la vegetación, por orificios de tamaño adecuado, de modo que la dirección del desplazamiento no puede ser influenciada por el operador (Ver Anexo IV, 7.4.4). Las intercepciones se contabilizaron como el contacto de la punta de la aguja con la vegetación. En cada sub-parcela se tomaron 4 muestras al azar con 10 puntos de contacto cada una siguiendo la recomendación de Fisser y Van Dyne (1966) para especies que forman césped.

2) Método cualitativo según una escala visual basado en una fotografía a color de cada sub-parcela y posterior determinación de la cobertura en laboratorio a través de una escala. Se utilizó una cámara fotográfica Nikon FE2, con objetivo de 35 mm montada sobre un soporte de 4 patas a 1 m de altura del suelo con idéntico ángulo de

exposición en todas las tomas (Ver Anexo IV, 7.4.5). La superficie abarcada por cada fotografía fue de 50 x 35 cm. La escala aplicada fue la utilizada por Morton *et al.* (1994a) con valores de 1 a 9, siendo el mínimo aceptable 6. Los porcentajes de cobertura del suelo con césped, correspondientes a cada valor de la escala fueron:

- 1 ≤ 20%
- 2 = 21–30%
- 3 = 31–40%
- 4 = 41–50%
- 5 = 51–60%
- 6 = 61–70%
- 7 = 71–80%
- 8 = 81–90%
- 9 = 91–100%.

Calidad visual o apariencia: Se determinó a través de una escala cualitativa que contempló los siguientes componentes de calidad: porcentaje de cobertura del suelo, densidad del canopeo y color (Horst *et al.*, 1984). La escala fue de 0 a 5, siendo 3 el valor aceptable para un césped de calidad.

- 0 = suelo desnudo, sin cobertura y/o con césped muerto, amarillento o amarronado.
- 1 = cobertura no uniforme, densidad baja con predominio de suelo desnudo y/o hasta 80% de biomasa aérea amarillenta o amarronada.
- 2 = cobertura no uniforme con algunas áreas de suelo desnudo, densidad del canopeo regular a media y/o con hasta 50% de biomasa aérea amarillenta o amarronada.
- 3 = cobertura uniforme con densidad del canopeo media y/o con hasta 30% de biomasa amarillenta o amarronada.
- 4 = cobertura uniforme con densidad media a alta y/o con hasta 10% de biomasa aérea amarillenta o amarronada.
- 5 = 100% cobertura de suelo, alta densidad del canopeo y color verde uniforme.

3.4. Cuidados culturales

Se aplicaron a todos los tratamientos y fueron los siguientes:

Corte: Todos los tratamientos bajo estudio, fueron cortados a 5 cm de altura con una máquina autopropulsada y sistema de corte de tipo rotativo. La altura fue determinada sobre la base de recomendaciones para céspedes sometidos a sombra (Beard, 1973).

La frecuencia de corte, se basó en la regla del tercio, es decir, cortar toda vez que el césped creciera un tercio de su altura de corte, variando con el crecimiento estacional.

Riego: Para establecer el momento de riego y la cantidad de agua a aplicar a cada tratamiento, se calculó la curva de capacidad hídrica del suelo con olla de presión a -0.16, -0.33, -0.70, -1.5, -3.0, -7.0, -10.0 y -15.0 bares de succión (Black, 1965) a partir de muestras compuestas tomadas antes de la siembra y hasta una profundidad de 15 cm. En el Anexo I (Tabla 5 y Figura 23) se muestran los resultados obtenidos. Durante la evolución del cultivo se monitoreó el contenido de humedad del suelo, con un medidor de humedad Time Domain Reflectometry (TDR), utilizando una guía de ondas de 15 cm de largo, con una frecuencia de 2 a 3 veces por semana en primavera-verano y 1 vez por semana en otoño e invierno. Con el valor de humedad volumétrica registrado, se calculó para cada nivel de luz y especie, la cantidad de agua necesaria a suministrar para mantener el contenido de humedad en un 80% de capacidad de campo. La reposición de agua se realizó toda vez que el contenido de humedad del suelo descendió por debajo del 40% de capacidad de campo.

Fertilización: Teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo al momento de la siembra y que la demanda de las especies mesotérmicas se relaciona con el aumento de su tasa de crecimiento en primavera y otoño, se realizaron 3 fertilizaciones de mantenimiento en los meses de septiembre y noviembre de 1999 y marzo de 2000. El criterio utilizado para definir la dosis a aplicar se basó en los requerimientos de nitrógeno (N) para cada una de las especies, mientras que las necesidades de fósforo (P) y potasio (K) fueron calculadas como un 20-25% y 75%, respectivamente, de los requerimientos de N. Se consideró, además, que los requerimientos nutricionales disminuyen con la reducción de la intensidad lumínica (Beard, 1973). En cada una de las oportunidades señaladas, se suministraron 5 gr de N, 1 gr de P y 4 gr de K por m^2 para “*agrostis*” y “*poa*” a pleno sol y 75% de incidencia de luz. Para estas mismas especies, pero con 20% y 50% de incidencia de luz, las cantidades fueron 4, 1 y 3 gr/m^2 de N, P y K, respectivamente. En el caso de “*festuca*” con 100 y 75% de incidencia de luz se aplicaron 3, 1 y 2 gr/m^2 de N, P y K,

respectivamente y para 20% y 50% de intensidad lumínica las cantidades fueron 2, 1 y 2 gr/m².

Control sanitario: A principios de mayo de 1999 se detectó daño producido por grillo topo (*Scapteriscus* sp.) que fue controlado con aplicación de Clordano en dosis de 8 cm³ cada 10 m² de superficie. En julio de 1999 se controlaron malezas de hoja ancha (*Bowlesia incana*, *Lamiun amplexicaule*, *Sorbus oleraceus*, *Polygonum aviculare* y *Coronopus didymus*) con una mezcla de 2,4-D (0,75 litros de p.c./ha), Bromoxinil (1,5 litros de p.c./ha) y un coadyuvante aplicados con equipo manual. Al mes y medio de realizado el control quedaba algunas plantas de *Lamiun amplexicaule*.

A mediados de octubre de 1999 se observaron síntomas en las hojas en forma de manchas de color marrón dispuestas en manchones irregulares en todas las especies y niveles de sombra. Posteriormente, se verificó que las mismas eran causadas por un hongo (*Pythium* sp.). La mayor severidad de esta enfermedad se produjo en *F. rubra* y *P. trivialis*, “*festuca*” bajo el 25% de sombra y “*poa*” bajo el 80% de reducción de luz. La evaluación correspondiente a este mes se hizo después de detectada la enfermedad, lo que permitió observar su efecto sobre el comportamiento de estas especies especialmente en densidad, cobertura, cantidad de materia seca y apariencia. En el muestreo de diciembre, a diferencia de lo observado en “*festuca*”, “*poa*” mostró una buena recuperación en todas las variables. El producto aplicado fue Benomil (Benlate) en dosis de 1kg de p.c./ha, obteniéndose buen control al mes del tratamiento.

3.5. Análisis de los resultados

Las variables evaluadas en este estudio fueron medidas en el tiempo con una frecuencia mensual. Por tal motivo, los datos se sometieron a un análisis de medidas repetidas en el tiempo. Se aplicó la prueba de esfericidad (criterio de Mauchly, $p < 0.05$) a partir de cuyo resultado se descartó la posibilidad de emplear el modelo univariado de parcelas divididas como estrategia de análisis. Luego, los datos fueron procesados mediante el análisis de perfiles (enfoque multivariado para el análisis de medidas repetidas en el tiempo) (Johnson y Wichern, 1998). Se usó el estadístico Lambda de Wilks para contrastar las hipótesis que involucraron el efecto del tiempo y

el estadístico F para las hipótesis que incluyeron los efectos de luz y/o especie. Cuando la interacción triple especie×luz×fecha fue significativa, se evaluaron las diferencias entre especies para cada nivel de luz en cada una de las fechas mediante la prueba LSD de Fisher ($\alpha= 0.05$).

Adicionalmente, se realizó un análisis multivariado de componentes principales con la finalidad de explorar la variabilidad producida por los niveles de cada factor (fecha, especie y luz) y sus combinaciones en función de la correlación entre todas las variables. La técnica fue aplicada considerando simultáneamente todas las variables involucradas durante el período de activo crecimiento de las especies. Los análisis se realizaron con el software estadístico InfoStat, versión profesional (InfoStat, 2003).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Período de emergencia-establecimiento

4.1.1. Análisis de perfiles

Durante el período de emergencia-establecimiento de las especies (siembra-34 DDS) el número de plántulas emergidas, su altura, el grado de cobertura y la uniformidad alcanzada se modificaron significativamente con el tiempo de observación ($p < 0.0001$). “*Agrostis*”, “*poa*” y “*festuca*” mostraron un comportamiento diferente en relación a esas variables ($p < 0.01$). Excepto para el grado de cobertura y uniformidad, el establecimiento de las especies bajo los cuatro niveles de reducción de luz fue estadísticamente diferente ($p < 0.05$). Se detectó interacción de los efectos principales luz \times especie ($p < 0.04$) en las tres variables.

4.1.2. Número de plántulas emergidas

El número de plántulas emergidas durante el primer mes de establecimiento fue el resultado de una interacción significativa entre especie y nivel de luz ($p < 0.04$) que se acentuó a partir de los 17 DDS. El número de plántulas producidas por cada especie varió con el nivel de sombra bajo el cual creció y esas diferencias fueron iguales en las tres fechas de muestreo ($p = 0.12$), como se muestra en la Figura 3.

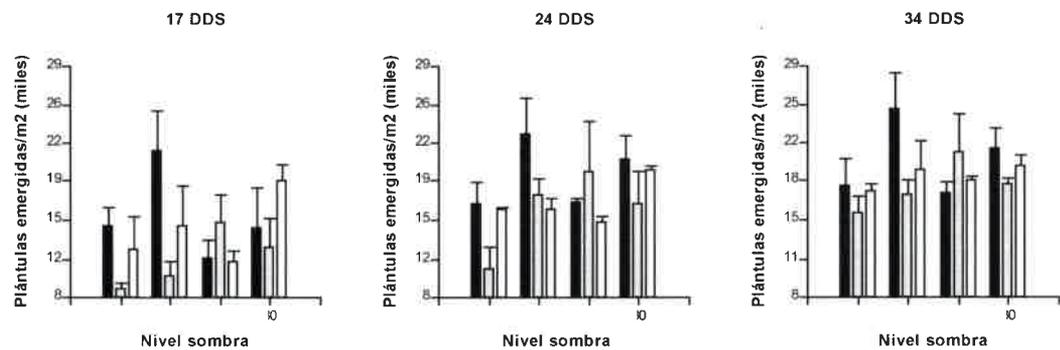


Figura 3. Número de plántulas emergidas (media \pm error estándar) de cada especie en los diferentes niveles de sombra a los 17, 24 y 34 DDS. Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

El menor número de plántulas se detectó bajo luz plena. Entre los 4 y 6 DDS, la ocurrencia de una lluvia importante en cantidad (90 mm) e intensidad, produjo sellado, encostramiento superficial del suelo y escurrimiento que arrastró parte de las semillas fuera de las parcelas. Ello afectó principalmente a las especies que crecieron al sol ya que en las restantes parcelas la malla atemperó el efecto de la lluvia. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre especies en los distintos niveles de intensidad lumínica en las tres fechas de muestreo, lo cual concuerda con las mediciones de Bär *et al.* (1995) realizadas a las dos semanas de implantadas las mismas especies con 15, 55 y 75% de sombra. A los 34 DDS el promedio de plántulas establecidas osciló entre 16.000 y 24.000 por m², lo que representa un 46 y 68% de la cantidad de semillas viables empleadas en la siembra, respectivamente.

4.1.3. Altura de las plántulas

Similar a lo descrito para el número de plántulas, su altura se incrementó entre la emergencia y los 34 DDS, con una marcada interacción especie×luz ($p < 0.015$). Ello significa que la altura alcanzada por las plántulas de cada especie, no fue independiente de los niveles de sombra bajo los cuales crecieron. No se encontraron diferencias entre especies para cada nivel de luz a través de las tres fechas de muestreo ($p = 0.46$), por lo que la Figura 4 se muestra la altura lograda a los 34 DDS.

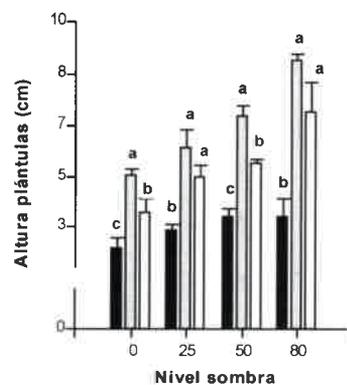


Figura 4. Altura de las plántulas (media \pm error estándar) de cada especie en los diferentes niveles de sombra a los 34 DDS. Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra.

En general, la menor altura se alcanzó, para las tres especies, bajo luz solar plena, aumentando con el porcentaje de sombra, similar a lo hallado por Bär *et al.* (1995). “*Festuca*” logró la mayor altura de plántula en todos los tratamientos superando significativamente a las otras especies cuando creció al sol y con 50% de sombra y “*agrostis*” mostró la menor altura para cada nivel de reducción de luz. Los resultados obtenidos por Bär *et al.* (1995) también señalan a *F. rubra* con la mayor altura de plántulas superando significativamente a “*poa*” y ésta, a su vez, a “*agrostis*”.

4.1.4. Grado de cobertura y uniformidad

El grado de cobertura y la uniformidad logrados por las especies durante el mes de establecimiento aumentaron desde la siembra. La interacción significativa especie×luz ($p<0.04$) señala que las diferencias en el grado de cobertura y uniformidad de las especies dependió de los niveles de sombra bajo los cuales se establecieron. Al mismo tiempo, las diferencias observadas fueron similares en las tres fechas de muestreo ($p=0.26$), por lo que se muestra la situación alcanzada a los 34 DDS (Figura 5)

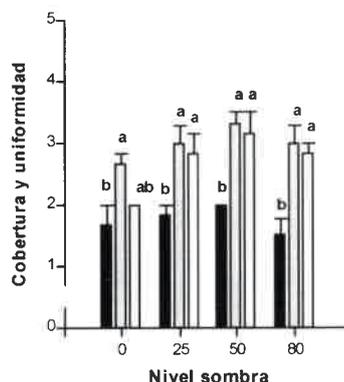


Figura 5. Grado de cobertura y uniformidad alcanzada por cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra a los 34 DDS. Barras negras= *Agrostis stolonifera var. palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p<0.05$) para cada nivel de sombra. Escala de cobertura y uniformidad: 0= sin cobertura, 1= hasta 30% cobertura y baja uniformidad (en manchones); 2= 31 a 50% cobertura y regular a baja uniformidad; 3= 51-70% cobertura y uniformidad media; 4= 71 a 90% cobertura y uniformidad media a buena y 5= >90% cobertura y uniformidad buena a excelente.

En general, “*festuca*” y “*poa*” cubrieron mejor el suelo y con mayor uniformidad que “*agrostis*” y esa cualidad fue menor bajo el sol que para los niveles

de reducción lumínica estudiados. Bajo sombra, tanto "*festuca*" como "*poa*" cubrieron en promedio entre el 51-70% del suelo, con una uniformidad media, mientras que "*agrostis*" cubrió alrededor del 30% en todos los tratamientos de reducción lumínica y en forma de manchones.

Considerando cada nivel de luz, bajo el sol sólo "*festuca*" superó significativamente a "*agrostis*", pero en la sombra "*festuca*" y "*poa*" no se diferenciaron entre sí.

4.1.5. Síntesis del período emergencia - establecimiento

El establecimiento logrado por las especies sometidas a tratamientos de intensidad lumínica diferencial, fue valorado mediante el grado de cobertura y uniformidad. Esta variable de síntesis integra el efecto del número de plantas emergidas-establecidas y su altura. A los 34 DDS, "*festuca*" y "*poa*" tuvieron el mayor grado de cobertura y uniformidad en todos los tratamientos de niveles de sombra, mientras que bajo luz solar plena sólo "*festuca*" superó significativamente a "*agrostis*"; la influencia relativa entre altura y número de plántulas establecidas fue mayor para la primera de éstas. Aunque las especies no se diferenciaron en el número de plántulas, la menor altura lograda por "*agrostis*", determinó un menor grado de cobertura y uniformidad, mientras que la situación inversa se produjo en "*festuca*". El comportamiento específico mostró que *Agrostis stolonifera* var. *palustris* presentó una implantación más lenta, en concordancia con los estudios de Chesnel *et al.* (1980) con las mismas especies creciendo bajo sombras de árboles.

La relación entre el número de plántulas establecidas y la cantidad de semillas empleadas en la siembra (debidamente ajustada según la evaluación de su calidad fisiológica), fue baja y de marcada heterogeneidad entre especies. Un aspecto estrechamente relacionado fue la velocidad del proceso de establecimiento inferior a la esperada, al punto que a los 34 DDS había comenzado la etapa de macollaje y todavía se registraba la emergencia de plántulas nuevas. La regular a pobre calidad fisiológica de las semillas, el efecto de arrastre provocado por la lluvia de alta magnitud e intensidad a los pocos días de la siembra, la presencia de aves-plaga (particularmente en el tratamiento al sol por la ausencia de malla), pueden

contabilizarse entre algunas de las causas de la baja emergencia. Sin embargo, el factor de crecimiento más estrechamente relacionado con los procesos de germinación-emergencia es la temperatura del suelo, encontrándose el rango óptimo entre 15 y 25 °C. En ese sentido, la Figura 2, muestra que la temperatura de suelo en la última década del mes de Abril, estuvo cerca del umbral inferior (15.6 °C) de dicho rango, lo que pudo afectar la velocidad del proceso de germinación-emergencia. Además, tanto esa temperatura como la del aire fueron inferiores a las de la serie de tiempo (1974-02).

Como consecuencia de lo anterior, el proceso de establecimiento –evaluado por el número de macollos- se completó recién entre junio y julio cuando se alcanzó una cantidad promedio igual o superior a 35.000 macollos/m².

4. 2. Período de crecimiento de las especies

4.2.1. Análisis de perfiles

En todos los perfiles se observó la respuesta típica de las especies mesotérmicas caracterizada por presentar picos de crecimiento en primavera y otoño y una disminución en los meses de verano. Este patrón de crecimiento fue seguido por las tres especies reflejado en un efecto del factor tiempo significativo ($p < 0.01$) en todas las variables evaluadas (densidad, cobertura, peso seco de la biomasa aérea total, peso seco de la materia verde, proporción de la materia verde en relación a la biomasa total, peso seco de la broza, proporción de la broza en relación a la biomasa aérea total, porcentaje de materia seca, índice de área foliar, área foliar específica y apariencia).

El crecimiento de las tres especies se vió fuertemente afectado por el genotipo ($p < 0.05$) y los niveles de reducción lumínica ($p < 0.001$). Las diferencias de crecimiento fueron evidentes en todas las variables, excepto para el área foliar específica en cuanto al efecto genotípico y el porcentaje de peso seco de la materia verde y cobertura, en relación al efecto de luz.

Hubo interacción significativa ($p < 0.05$) de los efectos del nivel de sombra en el tiempo para todas las variables. Es decir, no se puede concluir que un nivel de reducción de luz sea uniformemente mejor que otro durante todo el período del

estudio; sino que la magnitud de las diferencias entre ellos depende de las fechas que se realizaron las evaluaciones. Igualmente, la diferencias entre las especies dependieron de la fecha en la que se realizó la observación y se manifestaron en todas las variables ($p < 0.05$).

Se registró, además, interacción triple (especie×luz×fecha) significativa ($p < 0.05$) para todas las variables, excepto porcentaje del peso seco de la materia verde, porcentaje de materia seca, cobertura y apariencia. La interacción especie×luz sólo fue estadísticamente significativa ($p < 0.05$) para densidad, cobertura, peso seco de la broza y apariencia.

El rango de temperaturas medias óptimas para el crecimiento de la parte aérea de las especies mesotémicas es de 15 a 24 °C (Beard, 1973). Durante el período del estudio (junio/99-abril/00), la temperatura estuvo en ese rango desde setiembre y se mantuvo hasta abril. A partir de julio-agosto el crecimiento de las especies se fue activando progresivamente con aumento de la densidad de macollos, cobertura, peso de la biomasa aérea verde y total, índice de área foliar y porcentaje de materia seca; cambios que, en conjunto, produjeron un mejoramiento de la calidad visual de la cubierta cespitosa. No obstante, entre noviembre y marzo, las temperaturas máximas medias fueron superiores o cercanas a 27 °C provocando respuestas diferenciales entre las especies, ya que “*poa*” y “*festuca*” son más sensibles al calor que “*agrostis*” (Turgeon, 1996). Durante ese período, las variables antes mencionadas disminuyeron sus valores aumentando la cantidad de material muerto y el porcentaje de materia seca. Desde el mes de abril, esas temperaturas descendieron progresivamente (alrededor de 22 °C) tornándose nuevamente favorables para el crecimiento activo posibilitando, de esa manera, la recuperación de las especies.

4.2.2. Densidad

La densidad de macollos durante el período de crecimiento, fue el resultado de una fuerte interacción entre especie×luz ($p < 0.0009$), indicando que las diferencias en densidad mostradas por las especies no fueron independientes de la intensidad de luz bajo la que estaban creciendo. Además, esas diferencias variaron significativamente según las fechas de muestreo ($p < 0.0042$), lo que se puede ver en la Figura 6.

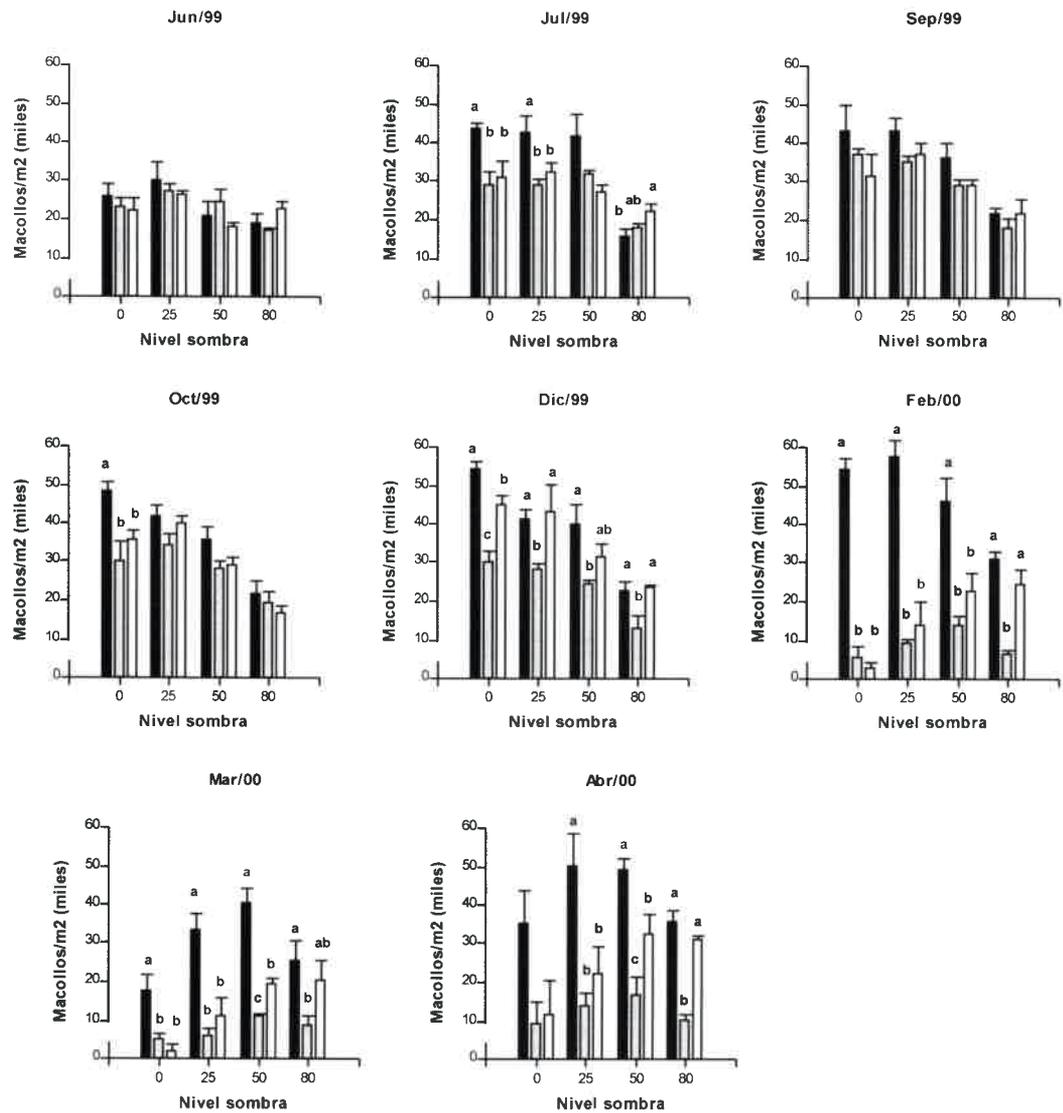


Figura 6. Densidad de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra para las fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indica falta de diferencias significativas entre especies para cada nivel de sombra.

Durante los meses de crecimiento activo (julio/agosto a diciembre), las especies disminuyeron su densidad con el aumento del nivel de sombra, concordando con lo observado por otros autores en especies mesotérmicas, como *Agrostis* spp. y *Poa pratensis* (Juska, 1963; Gaskin, 1964) y en especies megatérmicas (McBee y Holt, 1966). Otros resultados similares obtuvieron Auda *et al.* (1966), Ludlow *et al.*

(1974), Wong *et al.* (1985), Allard *et al.* (1991) y Kephart *et al.* (1992) en especies forrajeras C₃ y C₄ utilizadas en sistemas silvo-pastoriles.

Las diferencias más notables entre especies ocurrieron durante el verano. Las temperaturas máximas medias registradas a partir de noviembre (Figura 1), superiores al valor óptimo para estas especies, afectaron negativamente la densidad de “*festuca*” y “*poa*” desde el inicio de la estación (diciembre), siendo dicho efecto más marcado en los tratamientos de menor reducción lumínica; mientras que en “*agrostis*” ese efecto se manifestó recién a fines del verano (marzo).

Las primeras diferencias en densidad se observaron en julio, ya que durante el período de implantación no se habían detectado. Durante esta primera etapa del ciclo de crecimiento, las tres especies mantuvieron su densidad sin cambios importantes entre 0 y 50% de reducción lumínica, disminuyéndola con 80% de sombra. Sin embargo, “*agrostis*” superó a las otras dos especies bajo luz solar plena y a 25% de sombra y “*poa*” produjo más macollos con la máxima reducción de luz, pero sin diferenciarse de “*festuca*”. Estas observaciones concuerdan, en parte, con las investigaciones realizadas por Wilkinson y Beard (1974) quienes hallaron que a las 14 semanas de la siembra, la densidad de *Poa pratensis* disminuyó por efecto de una reducción lumínica del 50%, similar a la respuesta de *Poa trivialis* en el presente estudio. En cambio, *Festuca rubra* no declinó el número de macollos hasta un 88% de sombra, diferencia que se debió, posiblemente, a que dichos autores alteraron la calidad de la luz para simular artificialmente la producida debajo de árboles caducifolios con beneficios para *F. rubra*.

Uno de los cambios que experimentan los céspedes cuando crecen bajo sombra, es un aumento de la susceptibilidad a enfermedades (Beard, 1965; Zarlengo *et al.*, 1994). En octubre, “*poa*” y “*festuca*” fueron afectadas por una enfermedad fúngica causada por *Pythium* sp. que se originó en el tratamiento de sombra. Sin embargo, debido a las prácticas de manejo propias del cultivo como el corte y al tránsito por las parcelas, la enfermedad se extendió a los tratamientos bajo luz solar plena. En esta última condición, sólo se redujo significativamente la densidad,

mientras que en los tratamientos de sombra se afectaron otras variables como cobertura, PorPSMv/To, PorPSBr/To y apariencia.

Al inicio del verano (diciembre en la Figura 6), "*poa*" mostró una buena recuperación de la densidad, mientras que "*festuca*" tuvo valores inferiores al registrado en el muestreo anterior. Esta especie pareció, además, más perjudicada por las altas temperaturas, resultando una densidad significativamente inferior a las otras dos especies en todos los niveles de reducción lumínica, excepto bajo 50% de sombra, donde no se diferenció de "*poa*". No obstante, la densidad lograda con 0, 25 y 50% de reducción lumínica, se considera aceptable para un césped ornamental (24 a 30.000 macollos/m²). "*Poa*", no se diferenció de "*agrostis*" al 25 y 50% de sombra, pero fue inferior en luz solar plena. Sin embargo, estas dos especies lograron en esos tres niveles de intensidad de luz, densidades aceptables para céspedes deportivos de buena calidad (32 a 54.000 macollos/m²). Con la máxima reducción lumínica ensayada, sólo "*agrostis*" y "*poa*" alcanzaron valores medios de 23.000 macollos/m², considerados aceptables para un césped con fines ornamentales.

A mediados de la estación estival (febrero), la sombra más densa (80%) favoreció el macollaje de "*agrostis*" y de "*poa*". "*Festuca*" experimentó la mayor disminución de la densidad en todos los tratamientos, con valores máximos inferiores a 14.000 macollos/m², considerados no aceptables para céspedes ornamentales. "*Poa*" tuvo un comportamiento similar al de "*festuca*", aunque bajo 80% de sombra su densidad no se diferenció de la medida en diciembre y de "*agrostis*", con valores promedio superiores a 24.000 macollos/m², aceptable como cubierta cespitosa de uso ornamental. Esta última especie mantuvo valores similares, e incluso superiores, a los de diciembre bajo 0, 25 y 50% de reducción lumínica (más de 46.000 macollos/m²).

En marzo, "*festuca*" y "*poa*" se mantuvieron prácticamente sin cambios importantes respecto al muestreo anterior, con valores de densidad no aceptables para un césped ornamental. "*agrostis*" experimentó marcadas disminuciones a 0 y 25% de sombra y mantuvo valores ligeramente inferiores en los restantes tratamientos. A plena luz solar, la reducción de la densidad fue muy marcada, tornándose inaceptable para fines ornamentales. No obstante, bajo 25 y 50% de sombra el número de

macollos se mantuvo por encima de 30.000 por m² lo que podría considerarse aceptable para un césped de campos deportivos de buena calidad. Con 80% de sombra, “*agrostis*” y “*poa*” mantuvieron densidades consideradas aceptables para un césped ornamental (> 20.000 macollos/m²).

A diferencia de “*poa*” y “*festuca*”, “*agrostis*” mostró mayor densidad al sol durante el verano, con un promedio estacional (diciembre-marzo) de 42.000 macollos/m², que bajo la máxima reducción lumínica donde fue sólo de 26.000 macollos/m². Ello concuerda con lo hallado por Bell y Danneberger (1999) en esta especie creciendo al sol y con 75% de sombra durante la estación estival. Sin embargo, al igual que lo observado por Beard (1969), “*agrostis*” tendió a aumentar la densidad con sombras intermedias (25 y 50%), pero decreció cuando la misma fue más densa. “*Poa*” en cambio, pareció beneficiarse con reducciones de luz del 50 y 80%, similar a lo hallado por Beard (1965) en *Poa trivialis* y *Festuca rubra* cv. “Pennlawn” creciendo bajo arces que brindaban el 95% de sombra. Como se señaló anteriormente, *F. rubra* pudo haberse beneficiado con el cambio de calidad de la luz que producen los árboles.

El comportamiento de “*agrostis*” durante el verano y su respuesta en el mes de marzo puede deberse a su mayor tolerancia al efecto negativo de las temperaturas máximas del rango óptimo. Estudios recientes (Huang y Gao, 2000; Xu y Huang 2000, 2001a, 2001b y Huang y Liu, 2003), mostraron los efectos detrimentales que tienen sobre esta especie la temperatura del aire y, particularmente, del suelo superior a 24 °C. La temperatura máxima media de enero y febrero fue superior a 28 °C; sin embargo, “*agrostis*” manifestó una marcada declinación de la densidad en el mes de marzo cuando “*festuca*” y “*poa*” ya la habían experimentado.

A principios de otoño, cuando las especies recuperaron su macollaje, “*agrostis*” y “*poa*” mantuvieron su superioridad bajo 80% de sombra con densidades que oscilaron entre 30-35.000 macollos/m². Bajo 25 y 50% de reducción de luz, “*agrostis*” continuó siendo mejor a las otras dos especies. Con luz solar plena, no se detectaron diferencias entre las tres especies.

4.2.3. Cobertura

La cobertura medida a campo con el método cuantitativo Point Quadrat, se comparó con aquella obtenida mediante el método visual cualitativo basado en el análisis de imágenes fotográficas en laboratorio. Los resultados obtenidos por ambos métodos mostraron una tendencia similar en la variación de la cobertura para las distintas especies, niveles de sombra y fechas de muestreo. Sin embargo, el método Point Quadrat pareció sobreestimar la cobertura, por lo que se decidió analizar esta variable con la otra metodología.

La cobertura de suelo se relacionó estrechamente con la variación de la densidad de macollos descrita en el punto anterior. Aumentó hasta la primavera y disminuyó durante la estación cálida para recuperarse en el otoño siguiente.

Hubo interacción significativa especie×luz ($p<0.01$), de manera que las diferencias de cobertura entre especies dependieron de los niveles de sombra en que crecieron, sin cambios importantes entre las fechas de muestreo para este patrón ($p=0.12$). No obstante, se juzgó conveniente mostrar los cambios experimentados durante la época favorable para el crecimiento de las especies y los ocurridos durante el verano y el otoño (Figura 7).

En general, la mayor densidad observada en “*agrostis*”, significó una mejor cobertura del suelo respecto a las otras dos especies. Desde fines de invierno, la cobertura fue aceptable en todas las especies, disminuyendo a partir de octubre sólo en la máxima reducción lumínica. Durante el verano “*poa*” y “*festuca*” redujeron marcadamente la cobertura del suelo en todos los niveles de sombra, mientras que “*agrostis*” la aumentó hasta mediados de la estación cálida. Fue también durante el verano, que se produjeron los cambios de cobertura más importantes bajo sombra. En todos ellos, la cobertura disminuyó, pero fue más acentuada en las menores intensidades de sombra (0 y 25%).

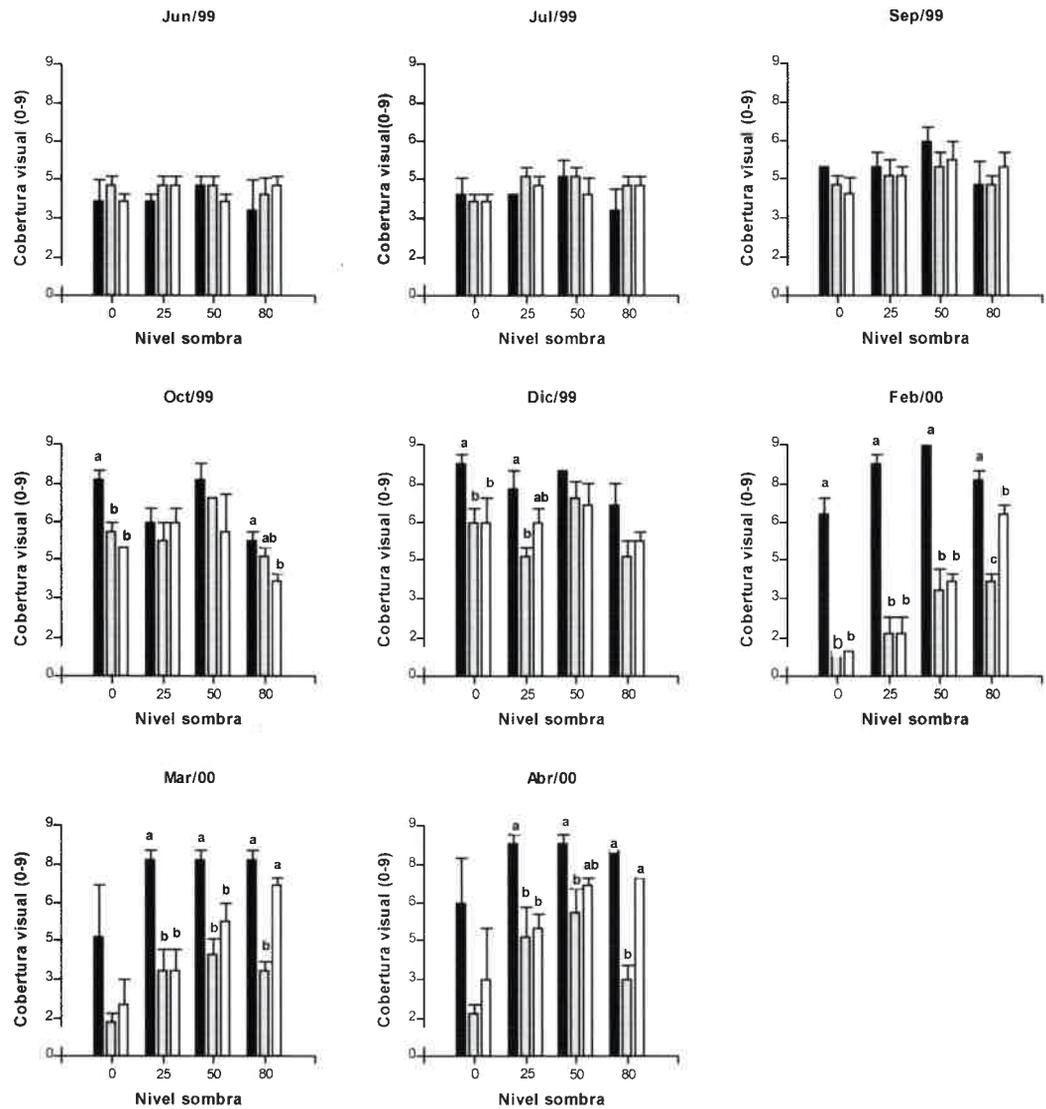


Figura 7. Cobertura visual de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra para las fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas entre especies para cada nivel de sombra. Escala de cobertura visual: 1 = $\leq 20\%$; 2 = 21%– 30%; 3 = 31%– 40%; 4 = 41%– 50%; 5 = 51%– 60%; 6 = 61%– 70%; 7 = 71%– 80%; 8 = 81%– 90% y 9 = 91%– 100%.

Aunque “*festuca*” y “*poa*” lograron mayor grado de cobertura y uniformidad durante el establecimiento, cuando las especies fueron sometidas a corte durante el período de crecimiento, no hubo diferencias entre ellas en los distintos tratamientos de sombra, hasta octubre. En esa fecha, el efecto de la enfermedad causada por *Pythium* sp. en la condición de sombra máxima (80%) redujo la cobertura aunque el

número de macollos no difirió. “*Poa*” fue la especie más afectada cubriendo significativamente menos el suelo que “*agrostis*” y sin diferenciarse de “*festuca*”. También hubo diferencias significativas entre especies bajo el sol, donde la menor densidad de “*poa*” y “*festuca*” se correspondió con menores coberturas respecto a “*agrostis*”. Bajo los niveles intermedios de sombra (25 y 50%) no se registraron diferencias en densidad ni cobertura.

A comienzos del verano, “*festuca*” mostró falta de recuperación del problema sanitario lo que, sumado al efecto de las temperaturas estivales, determinó menor cobertura que “*agrostis*” al sol y 25% de sombra. Por el contrario, “*poa*” se recuperó aumentando la densidad y por ende la cobertura, pero sin diferenciarse de “*festuca*” al sol. En esta condición, ambas especies produjeron coberturas aceptables (60-70%) para un césped ornamental de muy buena calidad. Bajo 25% de sombra, “*poa*” logró cubrir más el suelo, no diferenciándose de “*agrostis*”, con coberturas aceptables para un césped de uso deportivo. Todas las especies mostraron una buena recuperación de la cobertura, bajo el máximo nivel de reducción de luz, respecto al muestreo anterior; en especial “*poa*” que había sido la más afectada. Por ello, no se produjeron diferencias, alcanzando valores promedio de cobertura entre 50 y 70%, considerados apropiados para un césped ornamental. Al 50% de sombra, las tres especies obtuvieron valores superiores a los observados bajo el 25%, pero sin diferencias entre ellas. Este comportamiento específico al inicio del verano, concuerda, en parte, con lo hallado por Bär *et al.* (1995) y Huber y Schulz (1977). Para estos autores, la cobertura disminuyó con el aumento de la sombra de 55 y 75%, manteniendo *Agrostis stolonifera* var. *palustris* cv. “Pennecross”, coberturas altas en la máxima reducción lumínica, mientras no ocurrió lo mismo en *Festuca rubra*. Ello pudo deberse a que sus experimentos se realizaron en ambientes con veranos más frescos que los de este estudio, que favorecieron a “*agrostis*”.

A mediados de verano (febrero), y similar a lo observado en densidad, se produjeron los cambios más importantes ya que las sombras densas limitaron la disminución rápida de la cobertura. El mayor número de macollos logrado por “*agrostis*” en los niveles de sombra del 25 y 50%, produjo coberturas

significativamente mayores que las otras dos especies y superiores a las observadas en diciembre. Los valores oscilaron entre 80 y 100%, en tanto “*poa*” y “*festuca*” no llegaron a cubrir el 40% del suelo. Cuando las especies crecieron al sol, redujeron su cobertura siendo significativamente inferior en “*poa*” y “*festuca*” que no lograron cubrir el 20% del suelo, mientras que “*agrostis*” lo hizo en un 65%, aunque su densidad se mantuvo en valores similares a los registrados en diciembre. En el máximo nivel de sombra, “*agrostis*” y “*poa*” no se diferenciaron en densidad, pero esta última cubrió menos el suelo logrando valores aceptables, superiores al 60%, mientras que “*festuca*” no llegó al 40%. El pobre comportamiento de esta última especie durante el verano, coincide con lo hallado por Callahan y Fribourg (1975).

Hacia finales de verano, “*agrostis*” comenzó a bajar la cobertura manteniendo la misma tendencia observada en el muestreo anterior y comparable con la evolución de densidad. Es decir, esta especie mostró en promedio 75 a 80% de cobertura bajo sombras del 25 y 50%, siendo superior a las otras dos especies y siendo aceptable para uso en campos deportivos. Sin embargo, bajo el 80% de reducción lumínica, “*poa*” y “*agrostis*” no se diferenciaron en densidad ni en cobertura, logrando cubrir más del 70% del suelo, lo cual es aceptable para un césped ornamental. Al sol, las especies no se diferenciaron mostrando valores entre 20 y 45%.

La recuperación del macollaje que las especies mostraron en el otoño (abril), se tradujo también en la cobertura. Similar a lo observado hacia fines de verano, las especies no se diferenciaron cuando crecieron al sol, con valores entre 20 y 60%. Al 25% de sombra, en cambio, “*agrostis*” mantuvo mayor cobertura que las otras dos especies, alcanzando valores superiores al 80%. Sin embargo, no se diferenció de “*poa*” al 50 y 80% de reducción lumínica, con coberturas superiores al 70% en ambos niveles.

4.2.4. Peso seco de la biomasa aérea total (PSTo)

La biomasa total de las especies siguió una tendencia similar a la registrada para la variable densidad, alcanzando valores máximos a inicios del verano, una disminución gradual desde ese momento y fines de la estación estival y una leve recuperación en otoño.

No se detectó interacción especie×luz ($p < 0.051$), por lo que las diferencias en PSTo se consideran independientes de los niveles de luz en que ellas crecieron. Sin embargo, debido a que esas diferencias variaron entre las fechas de las evaluaciones ($p < 0.001$), en la Figura 8 se muestran las más representativas del ciclo de crecimiento.

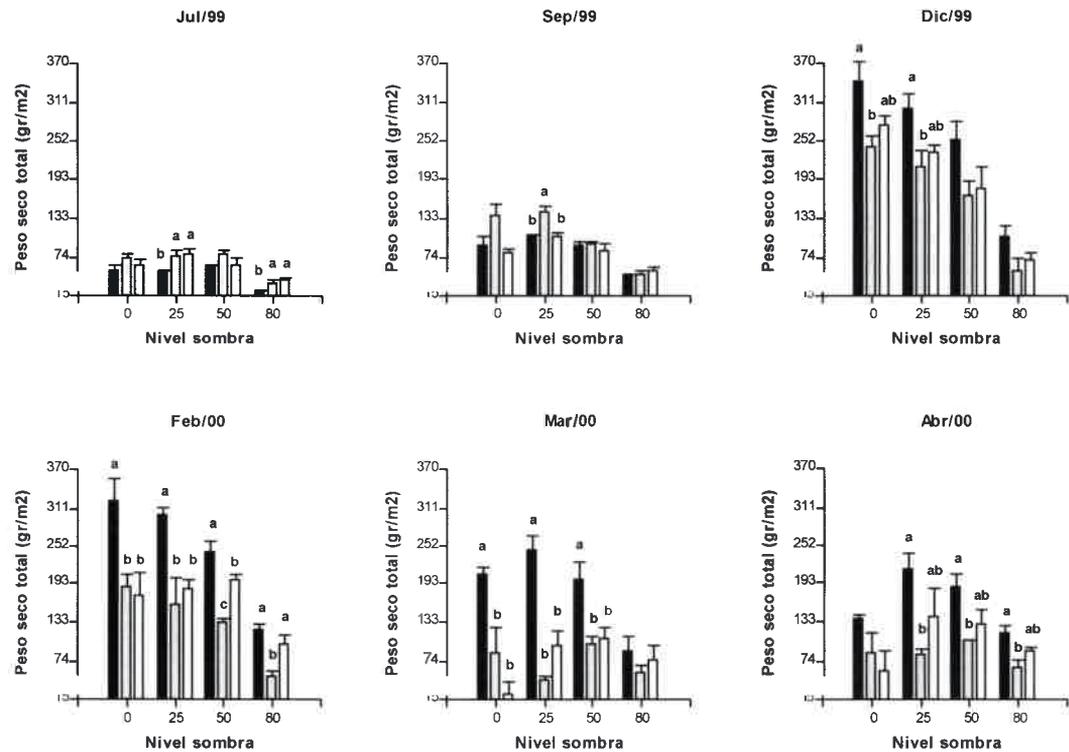


Figura 8. Peso seco total de biomasa aérea de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra para las fechas de muestreo (Julio-Septiembre-Diciembre 1999, Febrero-Marzo-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas entre especies para cada nivel de sombra.

En general, la mayor densidad lograda por “*agrostis*” desde el inicio del verano y hasta finalizado el período de evaluación, se correspondió con un mayor PSTo respecto a las otras dos especies. Por otra parte, entre mediados de primavera y verano el PSTo disminuyó con el aumento de sombra. Hacia fines de la estación estival y en el otoño (abril), la biomasa aérea se redujo en todos los niveles de reducción de luz ensayadas, con mayor intensidad bajo el sol; mientras que, en el otro

extremo del gradiente lumínico (80% de sombra), las variaciones en biomasa aérea fueron escasas.

Hasta el mes de julio, la acumulación de PSTo bajo los cuatro niveles de luz fue similar en las tres especies, con los mayores valores de biomasa al 0, 25 y 50% de sombra y el menor bajo la máxima reducción lumínica. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Wilkinson y Beard (1974) en *Festuca rubra* y *Poa pratensis* a las 14 semanas del establecimiento, pero contrapuestos a los hallados por Bär *et al.*(1995). Estos últimos autores mostraron, para el mismo tiempo de crecimiento, que la biomasa aérea de *F. rubra* y *Agrostis palustris* cv. "Penncross" fue mayor bajo 15% de reducción de luz y decreció con incrementos de sombras del 55 y 75%. Efecto que, en el presente trabajo, se observó recién en el mes de diciembre.

"*Festuca*" y "*poa*" produjeron mayor biomasa aérea que "*agrostis*" bajo el 25 y 80% de sombra. Esto se debió a la influencia de la textura fina de esta última especie, que no llegó a compensar con la mayor densidad lograda bajo 25% de sombra, el bajo peso producido. No obstante ello, cuando "*agrostis*" creció bajo el sol, no difirió de las otras dos especies. El comportamiento mostrado por *P. trivialis* y *F. rubra* en los primeros muestreos, difiere del obtenido por Wood (1969) en ensayos realizados en cámaras de crecimiento. Este autor observó que la producción de materia seca de esas dos especies disminuyó a las ocho semanas de implantadas con reducciones de la intensidad de luz (25, 62.5, 87.5 y 95%), siendo esa reducción significativamente mayor en "*poa*". Sin embargo, en un ensayo paralelo a campo bajo árboles caducifolios que producían un 95% de sombra y donde se incluyó *Agrostis palustris* cv. "Penncross", este autor no encontró diferencias en el PSTo de las dos especies las que superaron significativamente a *A. palustris*. La diferencia entre ambos ensayos, podría atribuirse al ambiente controlado respecto al de campo y al cambio en la calidad de luz producido por los árboles. Estos resultados concuerdan con lo observado en el presente estudio bajo el 80% de sombra.

A inicios de primavera (septiembre), las especies mostraron diferencias sólo bajo el 25% de sombra, obteniendo “*festuca*” el mayor PSTo debido a su textura más gruesa, mientras que “*agrostis*” y “*poa*” fueron similares entre sí.

En diciembre, se revirtió el comportamiento de las especies. Si bien no se diferenciaron en biomasa bajo el 50 y 80% de reducción de luz, “*agrostis*” obtuvo mayores PSTo con 0 y 25% de sombra, no diferenciándose de “*poa*”, pero sí de “*festuca*” que mostró valores menores.

Similar a lo observado en densidad, con el aumento de las temperaturas estivales (febrero), “*agrostis*” superó significativamente a las otras dos especies, excepto bajo el 80% de sombra donde no se diferenció de “*poa*”. Esa tendencia se mantuvo hacia fines del verano (marzo), pero sin alcanzar diferencias significativas entre las especies al 80% de sombra. Durante la estación estival, “*agrostis*” y “*festuca*” disminuyeron el PSTo a medida que la sombra aumentó. Estos resultados son similares a los observados en *Festuca arundinacea* (Wu *et al.*, 1985; Allard *et al.*, 1991) y en especies forrajeras C3 y C4 (Auda *et al.*, 1966; Norton *et al.*, 1990; Kephart *et al.*, 1992). Al igual que lo hallado por Wu *et al.* (1985) en cultivares de *F. arundinacea* creciendo bajo sombra densa, en el presente trabajo “*agrostis*” y “*festuca*” con el 80% de reducción de luz, obtuvieron alrededor del 30% de la biomasa aérea producida al sol; mientras que, con reducciones lumínicas del 50 y 25%, el PSTo fue equivalente al 70 y 90% del producido a la luz solar plena, respectivamente. Contrariamente, durante el verano “*poa*” se vió favorecida por la sombra, ya que aumentó su biomasa hasta el 50% de reducción lumínica, disminuyéndola en la sombra máxima. El comportamiento *P. trivialis*, fue similar a lo observado por Misha (1991) en varias especies de *Festuca* y Mosquera-Losada *et al.* (2001) en *Agrostis tenuis*, quienes mostraron que el peso seco aumentó con la sombra.

En el otoño (abril), cuando las temperaturas se tomaron nuevamente favorables para el crecimiento de las especies, “*agrostis*” produjo mayor PSTo al 25, 50 y 80% de reducción de luz pero sin diferenciarse de “*poa*”. Al igual que lo observado en cobertura las especies no difirieron en el PSTo obtenido al sol.

4.2.5. Peso seco de la materia verde (PSMv) y porcentaje del peso seco de la materia verde/peso seco total (PorPSMv/To)

La biomasa aérea verde siguió un patrón similar al observado en el PSTo (Figura 8). El PSMv producido por las especies fue independiente del nivel de luz en el que crecieron, es decir, no hubo interacción especie×luz ($p=0.49$). Sin embargo, debido a que esas diferencias variaron entre las fechas de evaluación ($p<0.002$), se muestran y analizan los resultados para los momentos más representativas del ciclo de crecimiento (Figura 9).

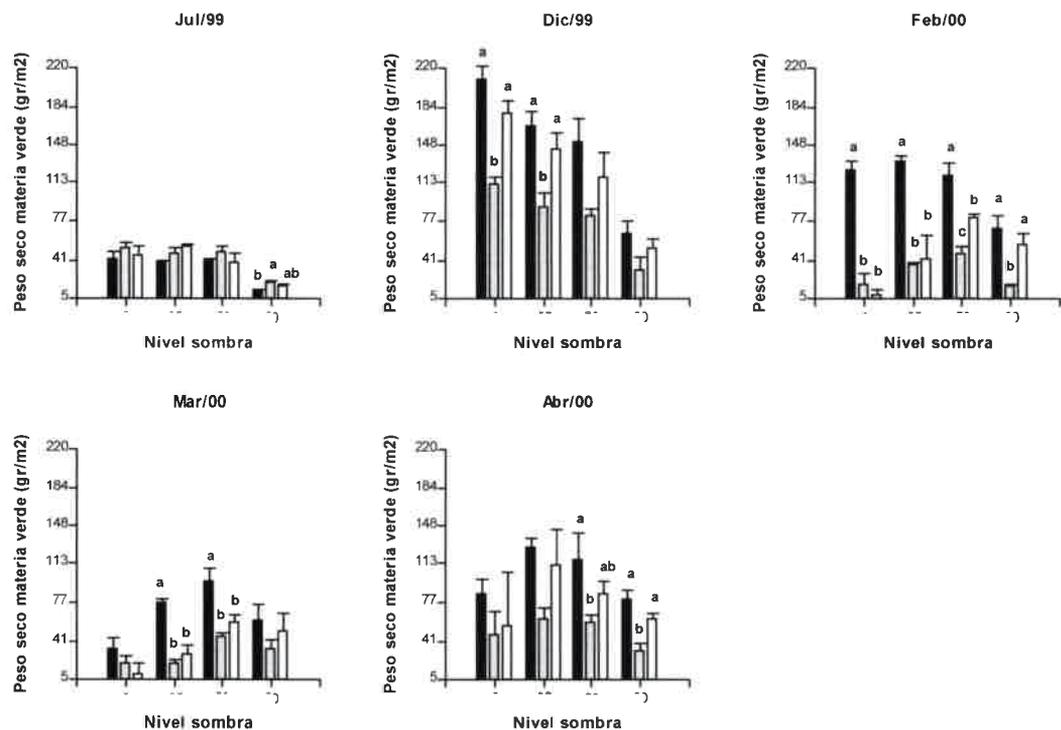


Figura 9. Peso seco de la materia verde de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra para cinco fechas de muestreo (Julio-Diciembre 1999 y Febrero-Marzo-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera var. palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indica falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

Durante el período de activo crecimiento (junio a diciembre) el PSMv disminuyó con el aumento de sombra, igual a lo observado en el PSTo. En general, “*agrostis*” y “*poa*” obtuvieron mayor PSMv al inicio del verano, debido a que “*festuca*” mostró una marcada disminución en la densidad de macollos. Durante el verano, el PSMv disminuyó proporcionalmente más que el PSTo, debido al aumento

de material muerto (broza). La mayor reducción se observó en luz solar plena y 25% de sombra, mientras que al 80% de reducción lumínica, las variaciones fueron escasas. No obstante ello, "*agrostis*" continuó mostrando mayores valores respecto a las otras dos especies en casi todos los niveles de sombra.

Hasta julio, el PSMv sólo se diferenció bajo 80% de sombra mostrando "*festuca*" mayor biomasa verde que "*agrostis*", pero sin diferenciarse de "*poa*".

Las próximas diferencias entre especies se detectaron en diciembre, "*agrostis*" y "*poa*" produjeron mayor PSMv al sol y 25% de sombra, aunque esta última no se diferenció de "*festuca*" en el PSTo (Figura 8). Ello se debió a la recuperación experimentada por "*poa*" de la enfermedad fúngica que la afectó en octubre y a la mayor sensibilidad a las temperaturas estivales mostrada por "*festuca*". Bajo el 50 y 80% de reducción de luz no se observaron diferencias entre las especies, al igual que lo observado en el PSTo.

Con el aumento de las temperaturas estivales (febrero), el PSMv mostró una fuerte disminución, principalmente en "*poa*" y "*festuca*" creciendo al 0, 25 y 50% de sombra. Esta caída no se reflejó en el PSTo, ya que su determinación incluyó el material muerto (broza). "*Agrostis*" produjo mayor biomasa verde en todos los niveles de sombra, excepto bajo la máxima reducción lumínica (80%) donde no se diferenció de "*poa*", la que se benefició con ese nivel de sombra manteniendo un PSMv similar al registrado en diciembre.

Hacia fines de verano (marzo), el PSMv continuó disminuyendo, con valores más bajos en luz solar plena y sin diferencias entre especies, aún cuando "*agrostis*" había mostrado mayor densidad (Figura 6) y PSTo (Figura 8). Esto se debió a la mayor cantidad de material muerto acumulado al sol y por la menor textura de esa especie, lo que también se tradujo en falta de diferencias de IAF respecto a las otras dos.

En otoño, cuando las especies se recuperaron, las diferencias sólo se observaron bajo el 50 y 80% de reducción lumínica. "*agrostis*" y "*poa*" produjeron los mayores PSMv, aunque esta última especie no se diferenció de "*festuca*", cuando crecieron al 50% de sombra.

Un mejor indicador para evaluar el comportamiento de la biomasa aérea producida por las especies en los diferentes niveles de sombra, es la relación entre la cantidad de biomasa verde (PSMv) y biomasa seca total (PSTo) expresada como porcentaje (PorPSMv/To).

No hubo interacción significativa entre especie×luz ($p=0.74$) ni diferencias de patrón en las fechas de muestreo ($p=0.17$), por lo que se analizan los efectos principales sobre PorPSMv/To (Figuras 10 y 11).

El PorPSMv/To mostró una tendencia decreciente desde junio hasta octubre similar en las tres especies, aunque "*agrostis*" superó significativamente a "*poa*" debido, probablemente, a su hábito estolonífero. A partir de esa fecha, se produjeron cambios importantes en "*poa*" y "*festuca*". La primera de ellas, mostró un aumento significativo del PSMv superando significativamente a las otras dos especies en el mes de diciembre, debido a la mejor recuperación de la enfermedad fúngica que "*poa*" experimentó respecto a "*festuca*". En febrero, con el aumento de las temperaturas ambas especies redujeron marcadamente el PorPSMv/To, mientras que "*agrostis*", si bien mantuvo la tendencia decreciente hasta marzo, no alcanzó valores tan bajos (~40%).

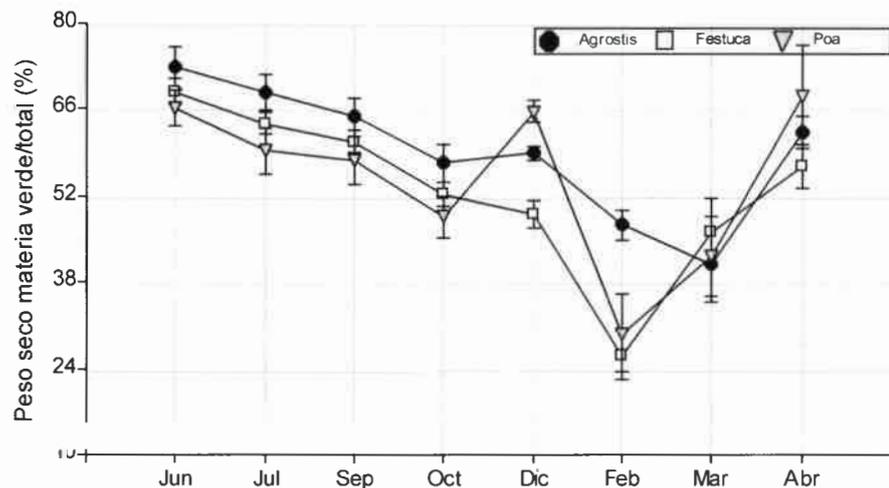


Figura 10. Porcentaje del peso seco de la materia verde en relación al peso seco de la biomasa total (media \pm error estándar) producido por cada especie para las diferentes fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Efecto especie ($p<0.026$), interacción fecha x especie ($p<0.0003$). Las barras indican error estándar.

A partir de febrero para “*poa*” y “*festuca*” y de marzo para “*agrostis*”, el PorPSMv/To se recuperó alcanzando en abril valores similares a los observados durante el período de crecimiento activo.

En la Figura 11 se muestra la evolución del PorPSMv/To bajo los cuatro niveles de sombra.

Durante el período de activo crecimiento (junio a octubre), las especies fueron más eficientes en producir biomasa verde bajo luz solar plena, pero el PorPSMv/To disminuyó con el aumento de sombra. En diciembre, no se observaron diferencias entre los niveles de luz, debido a que “*agrostis*” y “*poa*” produjeron más PSMv en todos los tratamientos de luz y a la recuperación de la enfermedad de esta última especie, principalmente en 80% de reducción lumínica. Durante el verano, la situación se invirtió porque la sombra favoreció el crecimiento de las especies mediante su efecto amortiguador sobre las temperaturas altas propias de la estación. Esto significó que el PorPSMv/To fuera mayor para las tres especies bajo los niveles de mayor reducción lumínica (80%). En el otoño las especies se recuperaron, especialmente en los tratamientos con menos sombra (0 y 25%), logrando valores de PorPSMv/To similares o ligeramente superiores a los observados en setiembre.

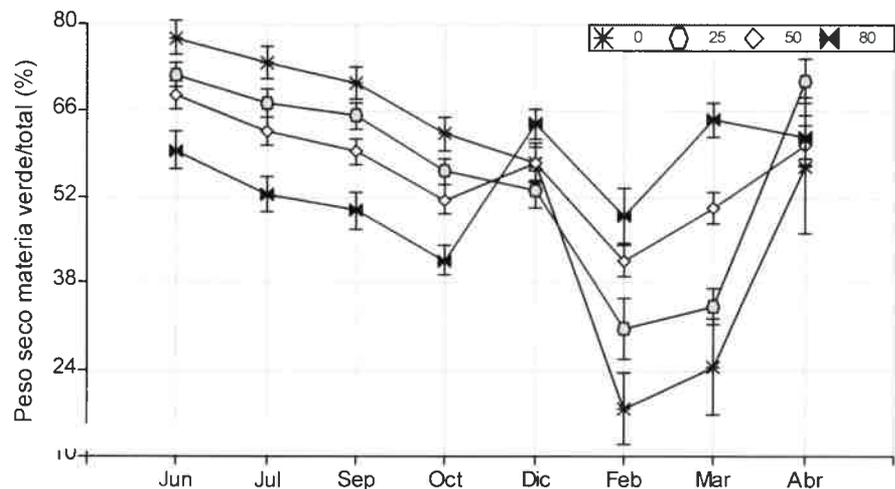


Figura 11. Porcentaje del peso seco de la materia verde en relación al peso seco de la biomasa total (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de reducción de luz para las distintas fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Efecto luz ($p < 0.93$), interacción fecha x luz ($p < 0.0001$). Las barras indican error estándar.

Durante todo el período evaluado, las mayores variaciones en biomasa aérea (PSTo, PSMv y PorPSMv/To) ocurrieron bajo luz solar plena y las menores con 50 y 80% de sombra.

4.2.6. Peso seco de la broza (PSBr) y porcentaje del peso seco de la broza/peso seco total (PorPSBr/To)

El material muerto producido por las especies durante la etapa de crecimiento activo (junio-diciembre), siguió un patrón similar al PSMv. Durante el verano, en cambio, cuando las temperaturas no fueron favorables para su crecimiento, el PSBr aumentó por muerte parcial de la biomasa aérea, para luego disminuir a fines de verano y en el otoño.

Hubo interacción significativa especie×luz ($p < 0.02$), ya que la cantidad de broza producida por las especies dependió del nivel de sombra en que crecieron. Además, esas diferencias variaron significativamente según la fecha de muestreo ($p < 0.0001$), lo que se puede ver en la Figura 12.

Hasta mediados de primavera (octubre), la producción de material muerto no tuvo un patrón definido en respuesta a los tratamientos de sombra. En cambio, durante la estación estival, las especies acumularon más PSBr bajo el sol disminuyendo con el aumento del nivel de sombra, de manera similar a lo observado por Norton *et al.* (1990) en especies forrajeras (*Setaria sphacelata*, *Panicum maximum*, *Paspalum notatum*). En general, las especies no se diferenciaron en la cantidad de material muerto, pero a fines de verano (marzo), “*agrostis*” produjo más PSBr que las otras dos especies ya que fue el período más crítico para ella (ver punto 4.2.2 de este capítulo).

Durante toda la etapa de crecimiento, el PSBr tuvo pocas variaciones bajo el 80% de sombra, al igual que lo observado para PSTo y PSMv, pero experimentó cambios importantes en las mayores intensidades lumínicas.

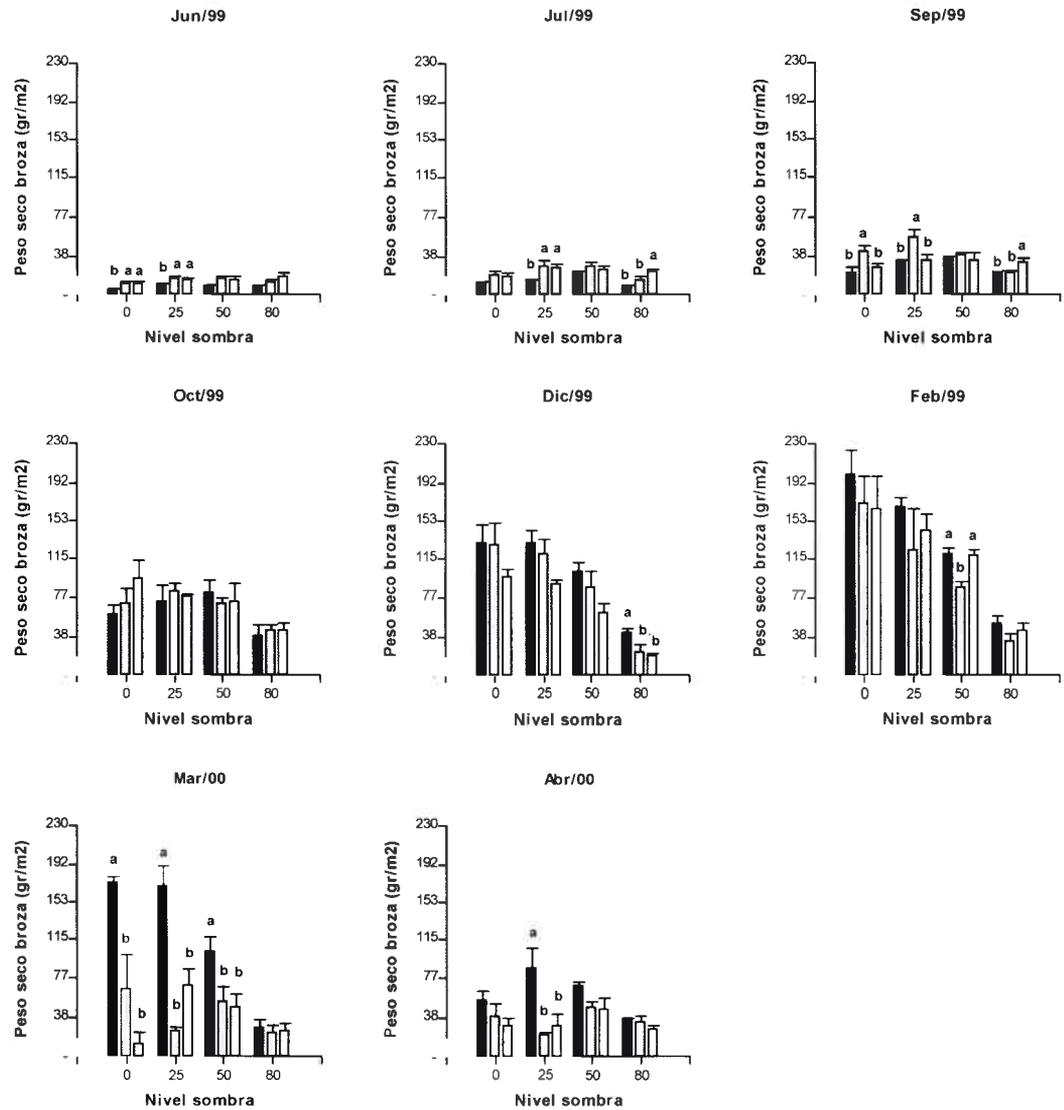


Figura 12. Peso seco de la broza (media \pm error estándar) producido por cada especie en los diferentes niveles de sombra para las fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

La proporción de broza producida por las especies en relación a la biomasa total aérea puede ser mejor evaluada a través del PorPSBr/To. En esta variable, no se observó interacción especie x luz, pero las diferencias variaron a través de las fechas. En la Figura 13, se muestran y analizan los momentos más representativos del período de crecimiento.

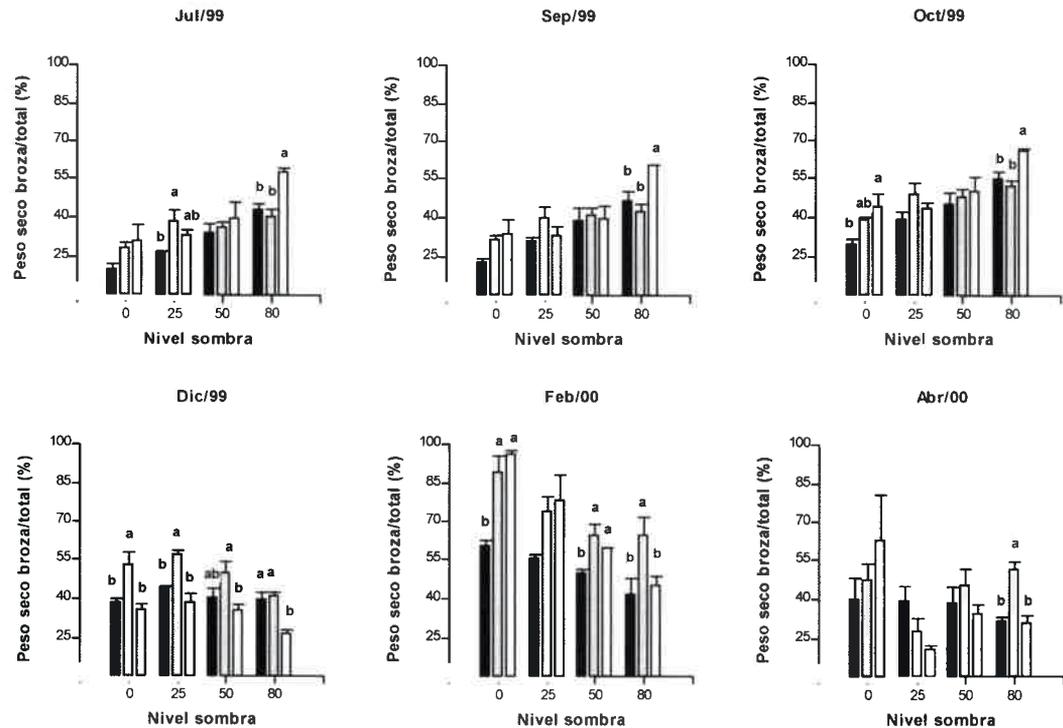


Figura 13. Porcentaje del peso seco de la broza en relación al peso seco total de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra para seis fechas de muestreo (Julio-Septiembre-Octubre y Diciembre 1999 y Febrero-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera var. palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

Durante el período de activo crecimiento, si bien no se observó un patrón definido en la cantidad de material muerto (PSBr) producido por las especies en los diferentes niveles de sombra, el PorPSBr/To fue menor en luz solar plena y aumentó con el nivel de sombra. Durante el verano esta tendencia se revirtió ya que el mayor PorPSBr/To se produjo al sol y disminuyó con la sombra, al igual que lo observado en el PSBr.

Aunque las especies no se diferenciaron en octubre en la cantidad de broza (PSBr), "poa" tuvo, por efecto de la enfermedad fúngica, mayor PorPSBr/To en la máxima reducción lumínica (80%) y no se diferenció de "festuca" en luz solar plena.

A principios del verano (diciembre), la menor tolerancia de "festuca" a las altas temperaturas favoreció un mayor PorPSBr/To bajo el 0, 25 y 50% de sombra, aunque no se diferenció de "agrostis" en las máximas reducciones lumínicas (50 y

80%). En febrero, tanto "*festuca*" como "*poa*" produjeron proporcionalmente más material muerto que "*agrostis*" al 0 y 50% de reducción lumínica alcanzando, en luz solar plena, valores que oscilaron entre 90 y 95%. Con el 80% de reducción de luz, sólo "*festuca*" produjo mayor proporción de broza, tendencia que se mantuvo hasta abril. Es destacable el comportamiento de "*poa*" durante el verano y otoño en la máxima sombra (80%) ya que produjo, al igual que "*agrostis*", mayor PSMv y PorPSMv/To, mientras que el PorPSBr/To fue menor, aunque las tres especies no se diferenciaron en el PSBr.

4.2.7. Porcentaje de materia seca de la biomasa aérea verde (PorMS)

No se observó interacción significativa entre especie×luz ($p=0.19$), ni en las diferentes fechas de las evaluaciones ($p=0.36$). Ello explica el comportamiento independiente del PorMS de las especies bajo los diferentes niveles de luz por lo que se analizan los efectos principales.

Durante el período de activo crecimiento (junio a diciembre), el PorMS experimentó incrementos moderados, mostrando "*poa*" mayores valores que "*agrostis*", lo que significa menor contenido hídrico en sus tejidos y mayor proporción de material muerto; mientras que "*festuca*" se mantuvo en una situación intermedia (Figura 14).

Las altas temperaturas de verano, entre diciembre y febrero, provocaron una fuerte pérdida de agua en los tejidos con el consecuente aumento del PorMS. Éste fue mayor en "*poa*" y "*festuca*", lo que se corresponde con la sensibilidad al calor de estas especies. "*Agrostis*", en cambio, mostró menores pérdidas de agua durante el verano, las que se incrementaron hacia fines de esa estación (marzo) coincidente con el período crítico de esta especie. "*Poa*" y "*festuca*", comenzaron a disminuir el PorMS desde febrero, no observándose en otoño diferencias entre las especies, las que alcanzaron valores similares a los de octubre.

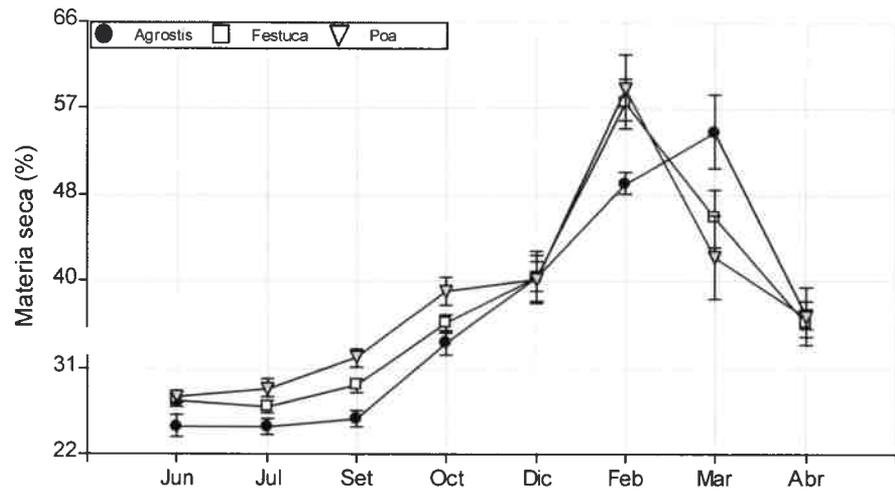


Figura 14. Porcentaje de materia seca de la biomasa aérea verde de cada especie (media \pm error estándar) para las diferentes fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Efecto especie ($p < 0.004$), interacción fecha x especie ($p < 0.01$). Las barras indican error estándar.

Durante toda la etapa de crecimiento, el PorMS fue menor en la máxima reducción de luz (80%), excepto en junio, octubre y abril (Figura 15). Ese alto contenido de agua en los tejidos bajo la máxima sombra en el mes de octubre se vinculó con la mayor severidad de la enfermedad, lo que significó un aumento en el PorMS.

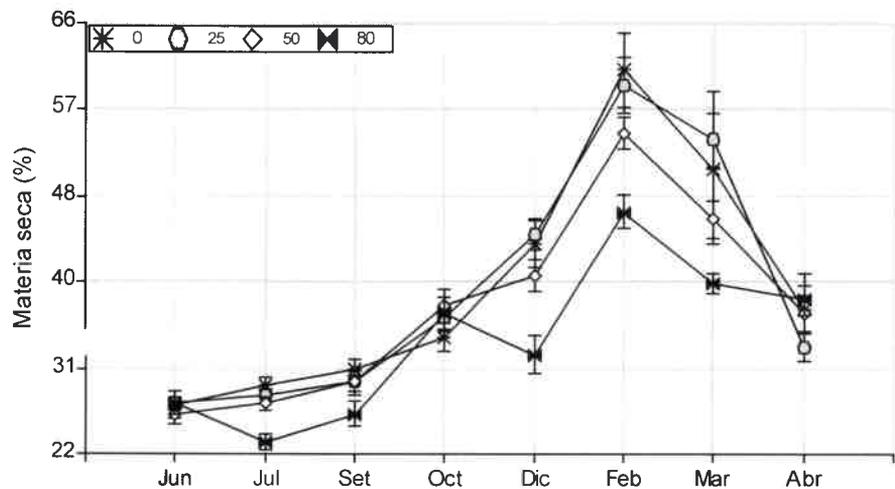


Figura 15. Porcentaje de materia seca de la biomasa verde aérea (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de reducción de luz para las distintas fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Efecto luz ($p < 0.0018$), interacción fecha x luz ($p < 0.02$). Las barras indican error estándar.

De junio a octubre, no hubo diferencias en el PorMS con 0, 25 y 50% de sombra. En cambio, durante los meses de verano (diciembre a marzo), en general el PorMS decreció con el aumento de la sombra, al igual que lo observado en varias especies mesotérmicas (Bär *et al.*, 1995) y en forrajeras tropicales (Eriksen y Whitney, 1981; Norton *et al.*, 1990). Las especies que crecieron bajo las máximas intensidades lumínicas, sol y 25% de sombra, mostraron mayor PorMS que el observado bajo 50% de reducción de luz.

En el otoño, período que vuelve a ser favorable para el crecimiento de estas especies, no se observaron diferencias entre los cuatro niveles de sombra. El marcado aumento en el PorMS en febrero para "*poa*" y "*festuca*" y en marzo para "*agrostis*", se produjeron al sol y 25% de sombra. Ello obedece a la sensibilidad de estas especies a las altas irradiaciones del verano, que afectan su contenido hídrico.

4.2.8. Índice de área foliar (IAF)

La tendencia del IAF, fue similar a la observada para el PSMv. El IAF producido por las especies fue independiente de los niveles de luz en las que crecieron, pero varió con la fecha en que se realizaron las evaluaciones ($p < 0.02$) (Figura 16).

En general, entre junio y diciembre el IAF fue menor al 80% de sombra, mientras que las diferencias entre especies se produjeron recién en diciembre. A partir de allí, "*agrostis*" tuvo mayores valores que las otras especies en casi todos los niveles de sombra. Durante el verano (febrero y marzo), las disminuciones del IAF en todos los niveles de reducción lumínica se correspondieron con las observadas en el PSMv. Sin embargo, la tendencia durante la estación estival fue creciente para todas las especies entre 0 y 50% de reducción lumínica, disminuyendo en la máxima sombra (80%). Para "*agrostis*" y "*festuca*" dicho aumento fue, en promedio, del 50% y el de "*poa*" del 83% respecto a la luz solar plena. Resultados similares fueron obtenidos por Wilkinson y Beard (1974) en céspedes de *F. rubra* y Allard *et al.*, (1991) en *F. arundinacea*, aunque estos autores obtuvieron esos valores con sombras del 70%. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que "*poa*" sobrevivió en verano sólo cuando creció a la sombra.

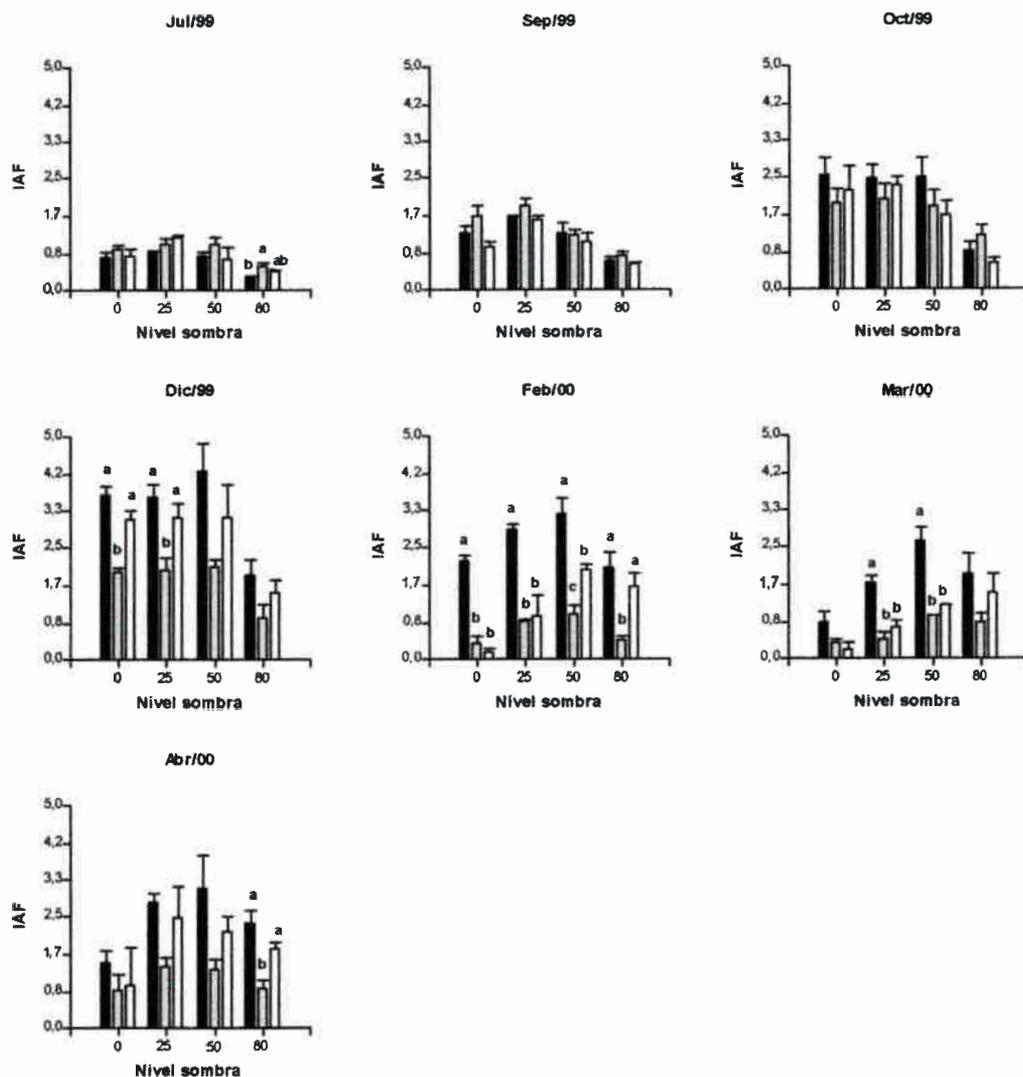


Figura 16. Índice de área foliar de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra en siete fechas de muestreo (Julio-Setiembre-Octubre y Diciembre 1999 y Febrero-Marzo-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera var. palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas, indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

En junio y julio, el área foliar por unidad de superficie mostró un comportamiento similar, por ello se muestra el de julio. Sólo hubo diferencias entre las especies bajo el 80% de sombra donde “*festuca*” y “*poa*” superaron a “*agrostis*”, probablemente debido a sus mayores PSTo (Figura 8) y PSMv (Figura 9).

Recién a comienzos del verano (diciembre), se observaron nuevas diferencias entre especies en los distintos niveles de sombra. “*agrostis*” y “*poa*” produjeron mayor IAF al sol y 25% sombra asociado al mayor PSMv.

A mediados de la estación cálida (febrero), cuando las altas temperaturas condicionaron la supervivencia de las especies en los distintos tratamientos de luz, el IAF siguió una tendencia similar a las de densidad de macollos (Figura 6), PSTo y PSMv. “*Agrostis*” mostró mayor área foliar bajo todos los niveles de sombra, excepto bajo la máxima reducción de luz (80%), donde no se diferenció de “*poa*”. Iguales resultados se observaron a fines del verano (marzo) para las especies que crecieron al 25 y 50% de sombra. Sin embargo, bajo el sol y 80% de reducción de luz, la falta de diferencias en el PSMv también se manifestó en el IAF.

Durante el otoño, cuando las especies recuperaron su ritmo de crecimiento, las diferencias sólo se observaron bajo la máxima reducción lumínica, donde “*agrostis*” y “*poa*” mostraron mayor IAF sin diferencias entre ellas. Estos resultados indican, nuevamente, la supervivencia en el verano y la recuperación otoñal de “*agrostis*” en todos los niveles de sombra y de “*poa*” en la máxima reducción lumínica.

4.2.9. Área foliar específica (AFE)

No hubo interacción especie×luz ($p=0.90$) para esta variable, pero las diferencias observadas en las especies bajo los diferentes niveles de sombreo variaron estacionalmente ($p<0.0003$), por lo que se muestran y analizan los momentos más representativos del período de crecimiento (Figura 17).

Entre junio y abril, el AFE aumentó con la densidad de sombra debido a una reducción del espesor de las hojas que redujeron, en proporción, más biomasa aérea verde que área foliar. Iguales resultados obtuvieron Ludlow *et al.* (1974), Wong *et al.* (1985) y Kephart *et al.* (1992) en especies forrajeras C3 y C4. Durante todo el período de crecimiento analizado, las especies que crecieron al sol tuvieron, en promedio, un AFE 32% menor que bajo 80% de sombra, mientras que al 25% de reducción de luz, la disminución fue sólo de un 19%.

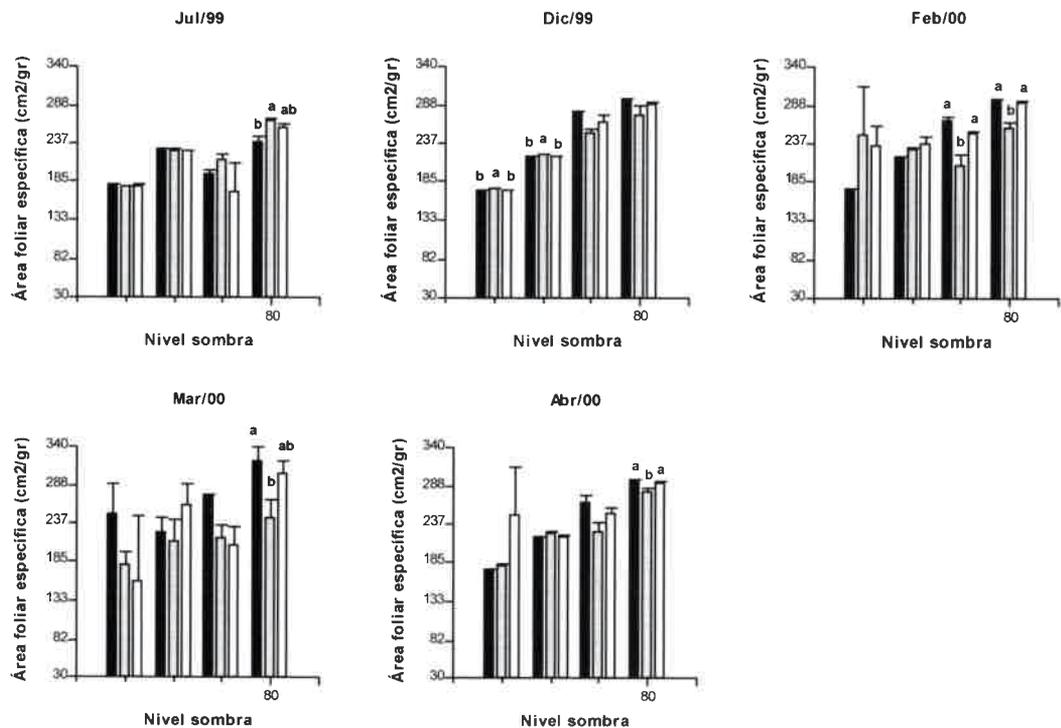


Figura 17. Área foliar específica de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra en cinco fechas de muestreo (Julio-Diciembre 1999 y Febrero-Marzo y Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera var. palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

Respecto al comportamiento específico, cabe destacar lo ocurrido bajo el máximo nivel de sombra (80%) durante febrero, marzo y abril, donde “*agrostis*” y “*poa*” tuvieron mayor AFE que “*festuca*”. Ello sería una estrategia de estas especies para crecer con bajas intensidades lumínicas (Wong, 1990).

4.2.10. Calidad visual o apariencia

La apariencia de las especies es una variable de síntesis que refiere el aspecto visual del césped e integra la cobertura, la densidad y el color.

Hubo interacción especie \times luz ($p < 0.003$) para esta variable, indicando que las diferencias mostradas por las especies dependieron del nivel de sombra bajo el cual crecieron y varió, además, en las fechas de muestreo ($p < 0.0003$) (Figura 18).

Durante el período de crecimiento activo (junio a diciembre), la calidad visual aumentó para todas las especies entre 2 y 4.5. Por su parte, el efecto del nivel de luz

se manifestó recién en el mes de octubre con disminuciones importantes bajo el 80 % de sombra.

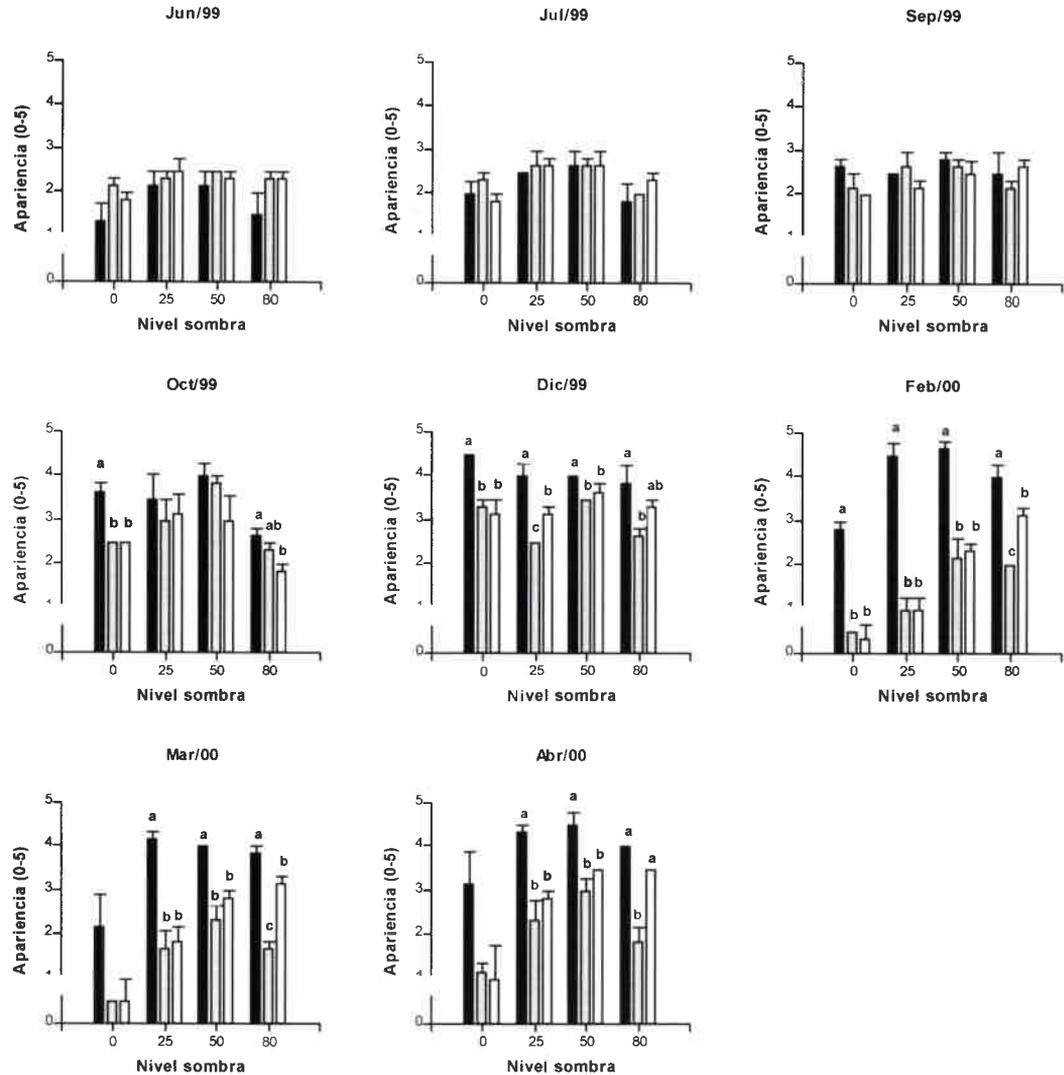


Figura 18. Apariencia de cada especie (media \pm error estándar) en los diferentes niveles de sombra de las distintas fechas de muestreo (Junio 1999-Abril 2000). Barras negras= *Agrostis stolonifera* var. *palustris*, grises= *Festuca rubra* y blancas= *Poa trivialis*. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$) para cada nivel de sombra. Barras sin letras indican falta de diferencias significativas de las especies en los diferentes niveles de sombra.

Escaleta de apariencia: 0= suelo desnudo, sin cobertura y/o con césped muerto amarillento o amarronado; 1= cobertura no uniforme, densidad baja con predominio de suelo desnudo y/o hasta 80% de biomasa aérea amarillenta o amarronada; 2= cobertura no uniforme con algunas áreas de suelo desnudo, densidad del canopeo regular a media y/o con hasta 50% de biomasa aérea amarillenta o amarronada; 3= cobertura uniforme con densidad del canopeo media y/o con hasta 30% de biomasa aérea amarillenta o amarronada; 4= cobertura uniforme con densidad media a alta y/o con hasta 10% de biomasa aérea amarillenta o amarronada y 5= 100% cobertura de suelo, alta densidad del canopeo y color verde uniforme. Valor aceptable= 3.

Desde el inicio del verano y hasta el otoño (diciembre a abril) “*poa*” y “*festuca*”, desmejoraron su apariencia en todos los tratamientos de luz, siendo más

marcada en 0 y 25% de reducción lumínica. “*Agrostis*”, en cambio, mostró mejor calidad visual en todos los niveles de sombra y una importante disminución al sol a partir de febrero.

Las primeras diferencias entre especies se observaron en octubre, donde “*poa*” y “*festuca*” desmejoraron su apariencia al sol y bajo la máxima reducción lumínica (80%) por efecto de la enfermedad fúngica ya descrita. Ello se debió a la menor densidad y cobertura (Figuras 6 y 7) y al aumento de la proporción de material muerto (PorPSBr/To) (Figura 13).

Al inicio del verano (diciembre), “*agrostis*” tuvo mejor apariencia bajo todos los niveles de sombra, sin diferenciarse de “*poa*” al 80% de reducción lumínica, ya que esta especie experimentó una buena recuperación de la enfermedad fúngica. Las altas temperaturas registradas en esta estación, pusieron en evidencia la sensibilidad de “*poa*” y “*festuca*”, que comenzaron a perder calidad visual como consecuencia de las disminuciones de densidad, cobertura, PSTo, PSMv e IAF. No obstante, ambas especies tuvieron apariencias aceptables (> 3), excepto “*festuca*” bajo 25% de sombra debido a que no logró recuperarse satisfactoriamente de la citada enfermedad.

En febrero, el efecto detrimental de las altas temperaturas se manifestó en “*festuca*” y “*poa*” que disminuyeron su calidad visual en todos los tratamientos, siendo especialmente notable al sol y bajo 25% de sombra. En todos los tratamientos, excepto “*poa*” al 80 % (valor mayor a 3), la apariencia no superó 2.5 siendo inaceptable debido a la mayor de área de suelo sin cobertura y la presencia de biomasa amarillenta o amarronada. “*Agrostis*”, en cambio, tuvo una excelente calidad visual bajo 25 y 50% de sombra y aunque fue menor bajo la máxima reducción lumínica (80%), mantuvo valores cercanos a 4. Bajo el sol, esta especie alcanzó una apariencia aceptable para un césped ornamental de calidad.

En marzo, la tendencia mostrada por las especies bajo los diferentes niveles de sombra fue similar a la descrita en febrero, excepto que “*agrostis*” no alcanzó una calidad visual aceptable al sol. “*Poa*” mejoró la apariencia bajo la máxima reducción lumínica mostrando valores cercanos a 4, indicando que la sombra densa benefició el crecimiento de esta especie durante el verano.

En otoño, la apariencia mejoró en todos los niveles de sombra, superando “*agrostis*” a las otras dos especies al 25 y 50% de sombra. “*Poa*” y “*festuca*”, sin embargo, alcanzaron valores aceptables de calidad visual cuando crecieron con 50% de reducción lumínica. Bajo el 80% de sombra se repitió la misma tendencia que el mes anterior, pero “*agrostis*” y “*poa*” no se diferenciaron entre sí con valores cercanos a 4.

Callahan y Fribourg (1975), Bär *et al.* (1995), Huber y Schulz (1997) y Al-Mana (2000) trabajando con las mismas especies, concluyeron que la calidad visual fue buena durante la primavera e inicios de verano; pero que durante la estación estival la apariencia disminuyó en todos los niveles de reducción lumínica debido al estrés que provocan las altas temperaturas estacionales, logrando sobrevivir cuando crecieron bajo algún nivel de sombra. Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con los de esos autores respecto a la sobrevivencia de las especies durante el período estival. Además, nuestros resultados muestran que “*agrostis*” alcanzó la mejor calidad visual durante el verano en todos los tratamientos de sombra y “*poa*” sólo en la máxima reducción de luz (80%). “*Festuca*”, por su parte, sobrevivió con apariencias no aceptables. Ello, concuerda con lo hallado por Bär *et al.* (1995), Huber y Schulz (1997) y Chesnel *et al.* (1985), pero se contrapone con los experimentos de Christians *et al.* (1998, 1999, 2000 y 2001) y Christians y Li (2002) quienes encontraron que *Festuca rubra* obtuvo mejor calidad visual que *Poa trivialis*.

4.2.11. Síntesis del período de crecimiento de las especies

Entre los sistemas culturales a los cuales se pueden destinar las cubiertas cespitosas, cabe señalar el deportivo y el ornamental como los más importantes. Ellos requieren diferentes umbrales de calidad que deben ser satisfechos por la combinación de las especies seleccionadas para tal fin y el manejo al cual deben ser sometidas. En ese sentido, la valoración de la aptitud de una especie mesotérmica, en relación a su uso como especie única o en resiembra y al sistema cultural al cual podrá ser destinada, se basa principalmente en la manifestación de los atributos densidad, cobertura, IAF y apariencia. A modo de referencia, la Tabla 3 indica los

valores umbrales de esos atributos que determinan la calidad y el sistema cultural al que se puede destinar.

Tabla 3. Valores umbrales de los atributos densidad, cobertura, IAF y apariencia en los sistemas culturales deportivo y ornamental.

Sistema cultural	Densidad (macollos/m ²)	Cobertura (%)	IAF	Apariencia (*)
Deportivo	> 35.000	> 70	2.5 - 3.0	> 3.5
Ornamental	20.000 a 30.000	60 - 70	2.0 - 2.5	2.5 - 3.0

(*) Escala de apariencia: 0= suelo desnudo, sin cobertura y/o con césped muerto amarillento o amarronado; 1= cobertura no uniforme, densidad baja con predominio de suelo desnudo y/o hasta 80% de biomasa aérea amarillenta o amarronada; 2= cobertura no uniforme con algunas áreas de suelo desnudo, densidad del canopeo regular a media y/o con hasta 50% de biomasa aérea amarillenta o amarronada; 3= cobertura uniforme con densidad del canopeo media y/o con hasta 30% de biomasa amarillenta o amarronada 4= cobertura uniforme con densidad media a alta y/o con hasta 10% de biomasa aérea amarillenta o amarronada y 5= 100% cobertura de suelo, alta densidad del canopeo y color verde uniforme. Valor aceptable= 3.

Con ese marco de referencia, se presentan a continuación los resultados del análisis multivariado aplicado a las observaciones registradas durante el período junio/99-abril/00 para cada uno de los tratamientos de sombra. A partir del mismo, se efectúa un análisis conjunto de las variables evaluadas –con énfasis en densidad, cobertura, IAF y apariencia- durante el período de crecimiento activo y, particularmente, en la estación estival. Ello, a los fines de focalizar la valoración de la aptitud de los genotipos estudiados como especie única destinada a alguno de los sistemas culturales descriptos. Los biplot generados por los análisis multivariados de componentes principales se muestran en las Figuras 19 al 22 y los coeficientes de correlación y autovectores resultantes en las Tablas 7 al 14 del Anexo III.

Luz solar plena

La Figura 19 muestra la respuesta de las especies cuando crecieron al sol. Los dos primeros ejes del análisis explican el 89% de la variabilidad de las observaciones. Durante el período de activo crecimiento (junio a diciembre), las variables estudiadas mostraron una tendencia creciente para las tres especies, destacándose “*agrostis*”, que estuvo asociada con mayores valores de densidad, cobertura, PSMv,

PorPSMv/To e IAF proporcionándole en conjunto una mejor apariencia respecto a las otras dos especies (ver los datos de Diciembre en la Figura 19).

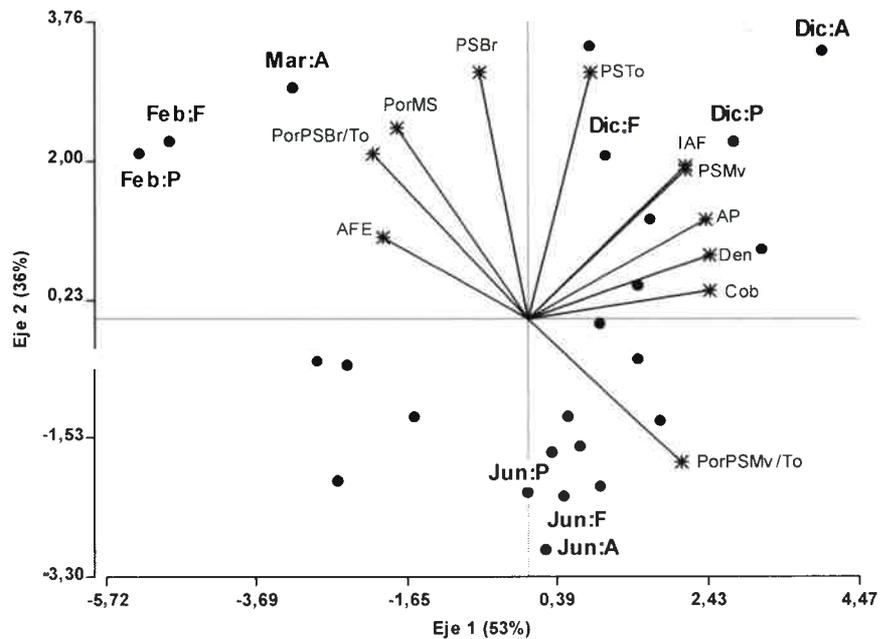


Figura 19. Biplot generado por un Análisis de Componentes Principales. Los puntos (negros) representan las observaciones promedio por fecha del periodo de crecimiento (Junio 1999- Abril 2000) y por especie (A=*Agrostis stolonifera* var. *palustris*; F= *Festuca rubra* y P= *Poa trivialis*) a pleno sol. Los rayos (vectores con terminación en estrella) representan las variables Den= Densidad, Cob=cobertura, PSTo=peso seco total, PSMv=peso seco de la materia verde , PSBr =peso seco de la broza , PorPSMv/To =porcentaje del peso seco de la materia verde en relación a la biomasa total , PorPSBr/To= porcentaje del peso seco de la broza en relación a la biomasa total, PorMS=porcentaje de materia seca, IAF=índice de área foliar, AFE=área foliar específica y AP=apariciencia.

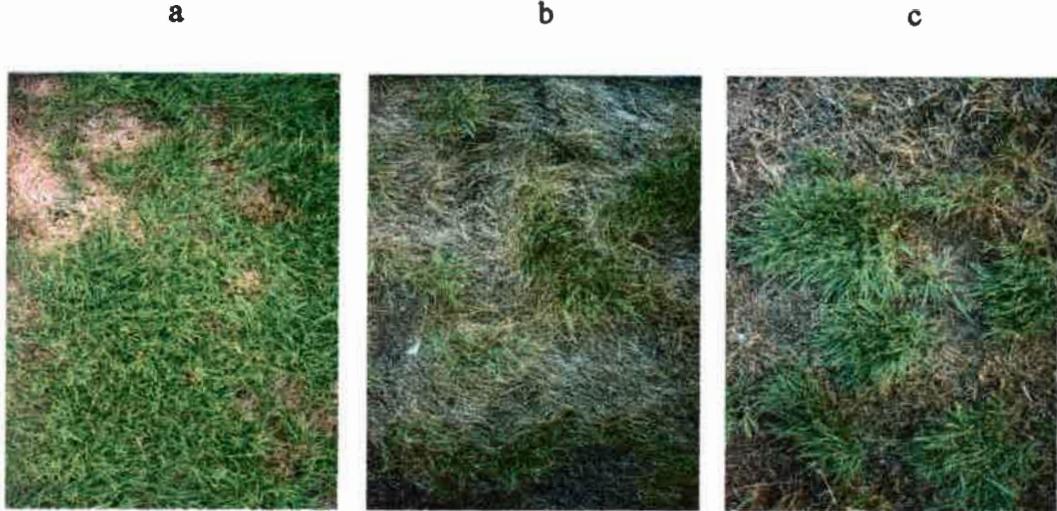
La densidad hasta diciembre osciló entre 43.000 y 54.000 macollos/m² para “*agrostis*”, 30.000 y 45.000 para “*poa*” y 30.000 en “*festuca*”. Ello significó una buena evolución de la cobertura para “*agrostis*” que cubrió más del 90% del suelo en diciembre, mientras que las otras dos especies lograron valores aceptables (60 al 70%). Sin embargo, “*agrostis*” no se diferenció de “*poa*” en el PSMv ni en el IAF cuyo valor estuvo entre 3.1 y 3.6, en tanto “*festuca*” obtuvo sólo valores de 2 (umbral inferior de la condición aceptable). Como consecuencia, “*agrostis*” obtuvo en diciembre la mejor apariencia (valores cercanos al máximo, 4.5), mientras que “*poa*” y “*festuca*” lograron valores aceptables de calidad visual (3.1 - 3.3). Los altos valores obtenidos por “*agrostis*” en los principales atributos que determinan su calidad

durante el período de activo crecimiento, avalan su elección como cubierta cespitosa destinada a uso deportivo; mientras que la opción por "*poa*" y "*festuca*" sería con destino ornamental de muy buena calidad.

Durante el verano, ocurrieron los cambios más importantes, ya que las tres especies experimentaron un notorio deterioro, asociado a un incremento de la cantidad de material muerto (PSBr y PorPSBr/To), el AFE y el PorMS. En "*poa*" y "*festuca*", esos cambios ocurrieron desde el inicio de la estación (febrero en la Figura 19), mientras que "*agrostis*" los manifestó hacia fines del verano (marzo). Así mismo, en esas fechas las especies mostraron los menores valores de PorPSMv/To (variable correlacionada negativamente con el PorPSBr/To), que había alcanzado los mayores valores al inicio de la etapa de crecimiento (junio) como lo sugiere el eje 2 la Figura 19.

Hasta febrero, "*agrostis*" mantuvo densidades similares a las observadas en diciembre, con disminuciones en cobertura, IAF y apariencia, pero superando siempre a las otras dos especies. Sin embargo, a fines de la estación estival (marzo), "*agrostis*" experimentó una marcada declinación, perdiendo su aptitud como especie cespitosa, aún para uso ornamental (17.000 macollos/m², 40-50% cobertura, IAF <1 y apariencia de 2). En "*poa*" y "*festuca*", el deterioro se evidenció desde febrero, debido a su mayor sensibilidad a las altas temperaturas, particularmente manifiesta en este tratamiento. En ese sentido, ambas disminuyeron marcadamente la densidad a menos de 5.000 macollos/m², lo que se tradujo en una cobertura del suelo desuniforme e inferior al 20%, presentaron un alto porcentaje de biomasa amarillenta o amarronada (80%), un IAF menor de 0.3 y calidad visual menor a 1 (Foto 1). En el otoño las tres especies se recuperaron, sin diferencias en las variables estudiadas, pero con valores todavía no aceptables.

Foto 1. Imágenes de *Agrostis stolonifera* var. *palustris* (a), *Festuca rubra* (b) y *Poa trivialis* (c) tomadas a fines del verano bajo luz solar plena, donde se aprecia el deterioro de la calidad.



25% de sombra

El comportamiento de las especies cuando crecieron bajo este nivel de sombra, fue diferente al descrito antes. Hasta diciembre “*agrostis*” y “*poa*” estuvieron asociadas con mayores valores en todas las variables, excepto en PorPSMvTo, PorPSBr/To, PorMS y AFE (Figura 20).

La densidad se fue incrementando desde junio, alcanzando en diciembre valores entre 31.000 y 43.000 macollos/m². La cobertura siguió una tendencia similar, llegando a diciembre con valores entre 70% y 80%, mientras que el IAF, alcanzó valores similares a los observados cuando estas especies crecieron al sol (3.1 a 3.6). A pesar de la similitud entre estas dos especies, “*agrostis*” tuvo mejor apariencia que “*poa*” con valores de 4, lo que la hace más apta para céspedes de campos deportivos de buena calidad. Por su parte “*poa*”, con una calidad visual de 3.1, puede considerarse aceptable para un césped ornamental de buena calidad.

El comportamiento de “*festuca*” fue inferior, ya que habiendo alcanzado una densidad aceptable para un césped ornamental (28.000 macollos/m²), la cobertura del suelo fue inferior al 50% y su apariencia de 2.5, no debiéndose adjudicar a características genotípicas sino a la enfermedad fúngica que la afectó.

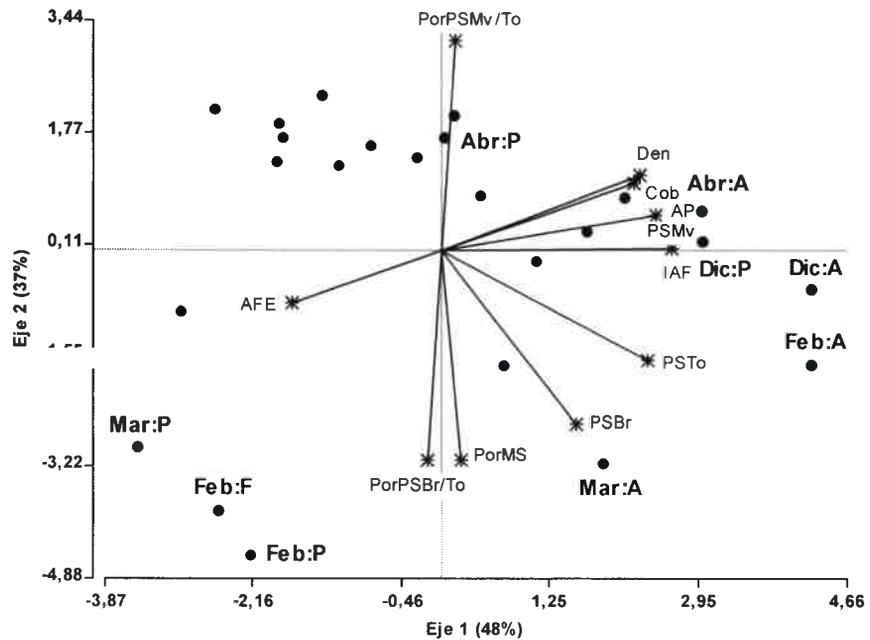


Figura 20. Biplot generado por un Análisis de Componentes Principales. Los puntos (negros) representan las observaciones promedio por fecha del período de crecimiento (Junio 1999- Abril 2000) y por especie (A=*Agrostis stolonifera* var. *palustris*; F= *Festuca rubra* y P= *Poa trivialis*) con 25% de sombra. Los rayos (vectores con terminación en estrella) representan las variables, Den= Densidad, Cob=cobertura, PSTo=peso seco total, PSMv=peso seco de la materia verde , PSBr =peso seco de la broza , PorPSMv/To =porcentaje del peso seco de la materia verde en relación a la biomasa total , PorPSBr/To= porcentaje del peso seco de la broza en relación a la biomasa total, PorMS=porcentaje de materia seca, IAF=índice de área foliar, AFE=área foliar específica y AP=apariciencia.

Bajo esta condición de sombra, sólo “*agrostis*” mantuvo valores superiores en casi todas las variables estudiadas, aunque mostró disminuciones en marzo (eje 1 de la Figura 20) y el deterioro experimentado por las tres especies en el verano fue menor en relación al comportamiento bajo luz solar plena. En este sentido, “*festuca*” y “*poa*” en febrero y “*poa*” y “*agrostis*” en marzo, obtuvieron los valores más altos de PSBr, PorPSBr/To y PorMS, lo que es explicado por el segundo componente principal (eje 2 de la Figura 20) que representa el 37% de la variabilidad no explicada por el primero (eje 1).

La densidad de “*agrostis*” en febrero fue de 57.000 macollos/m², superior a la observada en diciembre y similar a la registrada al sol. En marzo evidenció el deterioro asociado al efecto de las altas temperaturas sobre el crecimiento de las raíces, con una disminución de la densidad a 34.000 macollos/m², para recuperarse

posteriormente en abril. A pesar de ese deterioro, la cobertura se mantuvo superior al 80% y el IAF osciló entre 1.8 y 2.9 y la apariencia fue superior a la observada en luz solar plena y a la registrada en diciembre (4.2 a 4.5). Estos resultados indican que bajo esta condición de sombra “*agrostis*” seguiría siendo apta durante el período estivo otoñal para su uso como césped deportivo (Foto 2).

Foto 2. Imágenes de *Agrostis stolonifera* var. *palustris* en febrero (a), y marzo (b), *Festuca rubra* (c) y *Poa trivialis* (d) tomadas en febrero, creciendo bajo 25% de reducción lumínica. Se aprecia la excelente calidad alcanzada por “*agrostis*” y el marcado deterioro experimentado por las otras dos especies.

a



b



c



d



“*Poa*” y “*festuca*”, también se recuperaron en el otoño, sin embargo durante el verano (febrero y marzo) mostraron valores bajos de densidad (inferiores a los 13.000 macollos/m²), cobertura entre el 20 y 40% y un IAF de aproximadamente 1, resultando en una apariencia entre 1 y 2.8, considerada no aceptable para céspedes de calidad.

50% de sombra

La respuesta de las especies cuando crecieron con este nivel de sombra, se muestra en la Figura 21. Los dos primeros ejes del análisis, explicaron el 88% de la variabilidad de las observaciones. Durante el período evaluado (junio/99 – abril/00), “*agrostis*” estuvo asociada a mayores valores en todas las variables, excepto en el PorPSMv/To, el cual fue mayor para las tres especies al inicio de la etapa de crecimiento (junio).

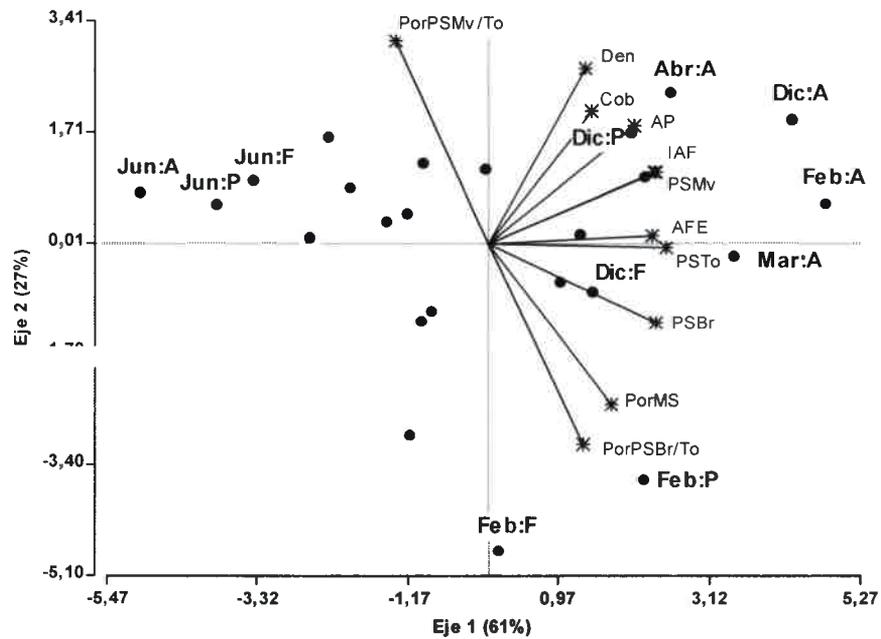


Figura 21. Biplot generado por un Análisis de Componentes Principales. Los puntos (negros) representan las observaciones promedio por fecha del período de crecimiento (Junio 1999- Abril 2000) y por especie (A=*Agrostis stolonifera* var. *palustris*; F= *Festuca rubra* y P= *Poa trivialis*) con 50% de sombra. Los rayos (vectores con terminación en estrella) representan las variables, Den= Densidad, Cob=cobertura, PSTo=peso seco total, PSMv=peso seco de la materia verde , PSBr =peso seco de la broza , PorPSMv/To =porcentaje del peso seco de la materia verde en relación a la biomasa total , PorPSBr/To= porcentaje del peso seco de la broza en relación a la biomasa total, PorMS=porcentaje de materia seca, IAF=índice de área foliar, AFE=área foliar específica y AP=apariciencia.

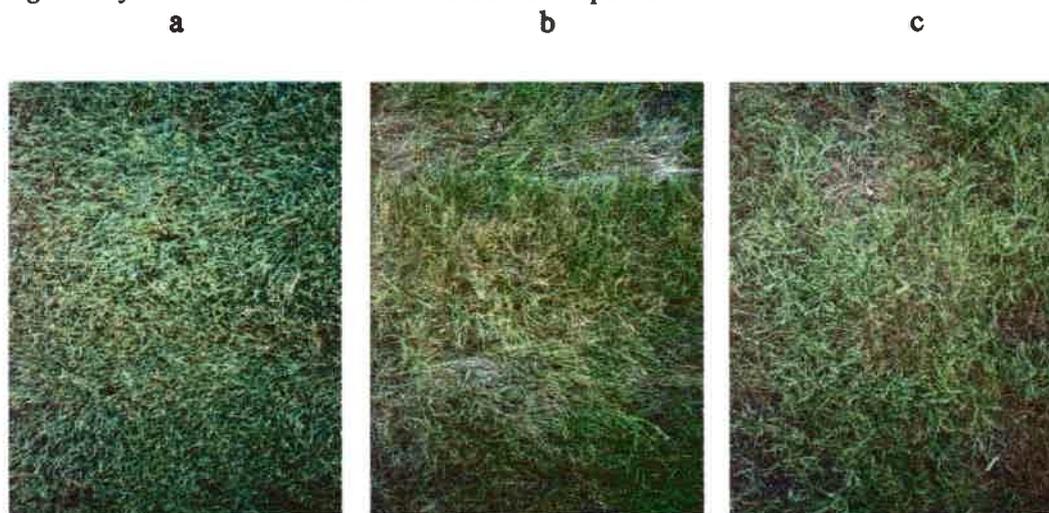
Si bien en diciembre, “*poa*” y “*festuca*” obtuvieron valores positivos altos (eje 1 de la Figura 21) en todas las variables (excepto PorPSMv/To), éstos fueron inferiores a los registrados en “*agrostis*”. Esta especie y “*poa*” no se diferenciaron en densidad, sin embargo “*agrostis*” mostró una mejor evolución a partir de junio, con un número de macollos/m² que osciló entre 24.000 y 40.000, mientras que para “*poa*” fue de 18.000 a 31.000. Algo similar ocurrió en cobertura, las tres especies no se diferenciaron durante todo el período, pero a partir de setiembre “*agrostis*” cubrió más del 70% del suelo, llegando a diciembre con valores superiores al 90%. “*Poa*” y “*festuca*”, en cambio, obtuvieron valores sensiblemente inferiores. Así mismo, “*agrostis*” alcanzó antes valores óptimos de IAF, aún cuando en diciembre las tres especies fueron similares.

Todo ello se tradujo en la mejor apariencia de “*agrostis*”, observada en diciembre, con valores de 4, equivalentes a los registrados bajo 25% de sombra y a luz solar plena, por lo que podría considerarse una especie apta para formar cubiertas cespitosas destinadas a campos deportivos de buena calidad. “*Festuca*” obtuvo valores inferiores de densidad (24.000 y 30.000 macollos/m²) durante todo el período de crecimiento los que, sin embargo, fueron aceptables. Además, esta especie y “*poa*” obtuvieron mejor calidad visual que la observada bajo el 25% de sombra, con valores alrededor de 3.5, aunque significativamente inferiores a “*agrostis*”. Como consecuencia de lo descripto hasta diciembre, “*festuca*” y “*poa*” serían aptas para cubiertas cespitosas ornamentales de muy buena calidad.

Durante el verano, únicamente “*agrostis*” mostró un buen comportamiento en este nivel de sombra, aunque “*poa*” obtuvo mayores valores en todas las variables que el observado bajo luz solar plena y con 25% de sombra. Desde febrero a abril, “*agrostis*” logró densidades similares o superiores a las observadas en diciembre, entre 40.000 y 50.000 macollos/m², coberturas entre 80 y 100%, mientras que el IAF varió entre 2.6 y 3.2. Este comportamiento produjo una excelente apariencia, con valores que oscilaron entre 4 y 4.7, por lo que esta especie mantuvo condiciones para formar céspedes de uso deportivo de muy buena calidad. Por su parte, en esta estación “*poa*” y “*festuca*” experimentaron un comportamiento no aceptable, ya que

aumentaron la cantidad de material muerto (PorPSBr/To) y el PorMS (eje 1 de la Figura 21). Aunque “*poa*”, logró mayor densidad que “*festuca*”, con valores entre 19.000 y 32.000 macollos/m², ambas especies obtuvieron coberturas pobres (30 a 40%), IAF muy bajos (1 a 1.2) y una apariencia que osciló entre 2.1 y 2.8 (Foto 3).

Foto 3. Imágenes de *Agrostis stolonifera* var. *palustris* (a), *Festuca rubra* (b) y *Poa trivialis* (c) tomadas a fines del verano bajo 50% de sombra, donde se aprecia el buen comportamiento de “*agrostis*” y el deterioro de la calidad de las otras dos especies.



80% de sombra

Bajo la máxima densidad de sombra ensayada, “*poa*” y “*agrostis*” estuvieron asociadas con mayores valores en todas las variables, excepto el PorPSBr/To (Figura 22). “*Festuca*”, en cambio, desde diciembre comenzó a declinar mostrando un comportamiento no aceptable evidenciado por su ubicación en el lado izquierdo negativo del eje 1 de la Figura 22 y por los altos valores del PorPSBr/To en el verano (febrero).

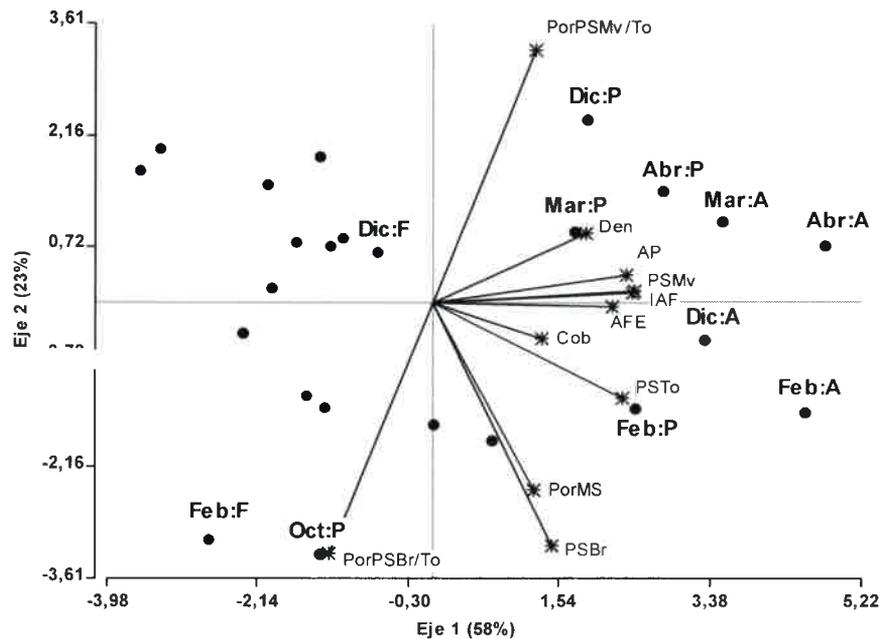


Figura 22. Biplot generado por un Análisis de Componentes Principales. Los puntos (negros) representan las observaciones promedio por fecha del periodo de crecimiento (Junio 1999- Abril 2000) y por especie (A=*Agrostis stolonifera* var. *palustris*; F= *Festuca rubra* y P= *Poa trivialis*) con 80% de sombra. Los rayos (vectores con terminación en estrella) representan las variables, Den= Densidad, Cob=cobertura, PSto=peso seco total, PSMv=peso seco de la materia verde , PSBr =peso seco de la broza , PorPSMv/To =porcentaje del peso seco de la materia verde en relación a la biomasa total , PorPSBr/To= porcentaje del peso seco de la broza en relación a la biomasa total, PorMS=porcentaje de materia seca, IAF=índice de área foliar, AFE=área foliar específica y AP=apariencia.

De junio a octubre, las tres especies mostraron una buena evolución en la densidad (18.000 a 22.000 macollos/m²) no diferenciándose entre ellas. Sin embargo, en octubre, “*poa*” cubrió menos el suelo que “*agrostis*”, no diferenciándose de “*festuca*”, como consecuencia de la enfermedad fúngica que afectó a ambas especies. Durante esta fecha, aunque no se observó diferencias genotípicas en los pesos de la biomasa aérea (PSto y PSMv) y en el IAF, “*poa*” por ser la más afectada, mostró mayores valores de PorPSBr/To (eje 2 de la Figura 22), lo que en su conjunto produjo una menor apariencia. No obstante ello, en diciembre, esta especie logró recuperarse, lo que se refleja por el mayor PorPSMv/To (eje 2 de la Figura 22), mientras que “*festuca*” no lo hizo, lo que estaría indicando el efecto conjunto negativo que tuvieron sobre esta especie, las altas temperaturas y bajas intensidades lumínicas. Por tal razón, en esa fecha (diciembre) “*agrostis*” y “*poa*” produjeron mayor densidad, con valores aceptables (23.000 macollos/m²), para formar un césped ornamental, no

así los de "*festuca*" que fueron de 13.000 por m². Aunque no se observó diferencias genotípicas entre junio y diciembre, la cobertura osciló entre un 50 y 70%, mientras que el IAF alcanzó en diciembre valores entre 1 y 2. Como resultado de ello la apariencia, fue mejor en diciembre para "*agrostis*", que no se diferenció de "*poa*", con valores de 3.3 a 3.8, semejantes a los observados bajo el 25% y 50% de sombra. "*festuca*", en cambio, no logró mostrar una buena apariencia (2.6), lo que indica que no llegó a mostrar una cobertura uniforme, ya que tuvo algunas áreas desnudas, con densidad regular a media y un buen porcentaje de biomasa amarillenta o amarronada.

Durante el verano y el otoño "*agrostis*" y "*poa*", continuaron mostrando mayor densidad, la cual osciló entre 20.000 a 35.000 macollos/m². Aunque a mediados de verano "*agrostis*" cubrió más el suelo, "*poa*" mostró valores aceptables ya que logró coberturas mayores al 70%. A partir de allí las especies no se diferenciaron, alcanzando a cubrir más del 80% del suelo. Así mismo, el IAF fue mayor en "*agrostis*" y "*poa*" y osciló entre 1.6 a 2.4. La apariencia observada en estas dos especies, fue aceptable para un césped ornamental durante todo el verano y otoño, aún cuando "*agrostis*" mostró mejor calidad visual en el verano, el que osciló en valores de 4, mientras que en "*poa*" fue de 3.1. "*Festuca*" en cambio, mostró un comportamiento muy pobre, con densidades que oscilaron entre 5.000 y 10.000 macollos/m², cobertura de 30 a 40%, IAF de 0.4 a 1 y apariencia muy baja (1.7 a 2). (Foto 4).

Foto 4. Imágenes de *Agrostis stolonifera* var. *palustris* (a), *Poa trivialis* (b) y *Festuca rubra* (c) tomadas a fines del verano con 80% de sombra, donde se aprecia el buen comportamiento de las dos primeras y el deterioro de la calidad de "*festuca*".

a

b

c



En resumen, bajo luz solar plena y con las prácticas de manejo empleadas en este estudio, ninguno de los genotipos evaluados mostró aptitud para ser usado como especie única. Por el contrario, bajo sombra las tres especies mostraron aptitud para su elección como cubierta cespitosa en sistemas culturales deportivo y ornamental, con calidad y respuestas genotípicas diferenciales. “*Agrostis*”, se destacó como la mejor especie única bajo los tres niveles de sombra ensayados y “*poa*” sólo en la sombra más densa (80%). Esta respuesta se corresponde con la aptitud de ambas especies respecto a su mayor tolerancia a la sombra, a lo que se agrega la menor susceptibilidad de “*agrostis*” a las altas temperaturas propias del verano en la región del estudio. Esto es consistente con mediciones de temperatura del aire realizadas en diciembre y enero bajo las mallas media-sombra usadas y que reportaron disminuciones de 8.0, 5.0 y 2.8 °C para el 80 y 50 y 25% de reducción lumínica, respectivamente.

Con respecto al uso posible de estas especies en resiembras otoñales, aunque no fue un objetivo específico del estudio, los resultados obtenidos permiten señalar que todas ellas serían aptas bajo diferentes niveles de luz, sistemas culturales y calidad deseada.

Tal como lo indica la bibliografía, las fuentes de sombra modifican, además de la cantidad de luz, su calidad (Mc Kee, 1963; Gaskin, 1965; McBee, 1969; McVey y Meyer, 1969; Bell *et al.*, 2000) y, consecuentemente, inciden en el crecimiento de las cubiertas cespitosas. Sin embargo, hasta el presente ningún estudio evaluó el posible efecto interactivo entre cantidad y calidad de luz de diferentes fuentes de sombra sobre el comportamiento de céspedes. Este trabajo se basó en una fuente de sombra neutra respecto a la cantidad de luz fotosintéticamente activa. No obstante, se observó un leve enriquecimiento en la longitud de onda del azul con el aumento de la densidad de sombra (80% versus luz solar plena) de menor magnitud (7%, ver Tabla 2) que el descrito por Bell *et al.* (2000) para sombras de edificios. Por lo tanto, los resultados de este estudio son consistentes con los efectos probados de la densidad de sombra sobre el crecimiento de cubiertas cespitosas pero podrían, además, vincularse con el efecto beneficioso que produce el incremento relativo de la longitud de onda

del azul en sombras producidas por edificios según lo demostrado por Meyer *et al.* (1960), Mc Bee (1969) y Mc Vey y Meyer (1969).

Sin embargo, son necesarias más investigaciones para determinar los cambios cuali y cuantitativos de los céspedes al efecto interactivo de cantidad y calidad de la luz bajo sombra.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Este estudio corrobora que la intensidad de luz modifica la calidad visual y funcional de céspedes constituidos por *Festuca rubra*, *Agrostis stolonifera* var. *palustris* y *Poa triviales*, las cuales muestran comportamientos cuali cuantitativos disímiles que dependen del nivel de sombra bajo el cual crecen y ello posibilita su elección como especie única con diferentes niveles de calidad para su uso en sistemas culturales ornamental o deportivo.

En la región del estudio con centro en la ciudad de Río Cuarto, la siembra de las especies evaluadas, debe realizarse entre fines de verano y comienzos de otoño para evitar que la temperatura del aire limite el crecimiento de las plántulas y antes del 15 de abril mientras la temperatura de suelo se mantiene dentro del rango óptimo para los procesos de germinación y emergencia. Siembras posteriores al 20 de abril pueden retrasar ambos procesos como se observó en este estudio.

F. rubra y *P. trivialis* producen mejor grado de cobertura y uniformidad que *A. stolonifera* var. *palustris*, cuando son sembradas bajo 25, 50 y 80% de reducción de luz, ya que al mes de la siembra alcanzan mayor altura y número de plántulas. Estas dos especies son recomendables para una implantación rápida bajo sombra, mientras que en luz solar plena sólo lo es *F. rubra*.

Los resultados obtenidos validan la hipótesis en lo referente a que ninguna de las especies estudiadas puede emplearse como genotipo único para formar céspedes bajo luz solar plena ya que tienen comprometida su sobrevivencia durante el período estival. Con reducciones lumínicas del 25 y 50% sólo *A. stolonifera* var. *palustris* produce cubiertas cespitosas de buena calidad visual y funcional como especie única, lo que facilita su elección para campos deportivos de mediana complejidad. Bajo sombras más densas (80%), *A. stolonifera* var. *palustris* y *P. triviales* forman cubiertas aptas para uso como césped ornamental con calidad diferenciada; mayor para “*agrostis*” y sólo aceptable para “*poa*”.

Los resultados obtenidos durante el período junio a diciembre, permiten inferir el comportamiento de estas especies para su posible uso en resiembras otoñales, el cual no fue un objetivo específico de este estudio. *A. stolonifera* var. *palustris* puede emplearse con esa finalidad bajo luz solar plena y con 25 y 50% de sombra para producir céspedes de muy buena calidad que permiten su uso en campos deportivos de mediana complejidad. Del mismo modo, *F. rubra* y *P. trivialis* serían especies aptas para uso ornamental de buena calidad al sol y bajo 50% de sombra. Cuando la reducción de luz es del 25% sólo *P. trivialis* muestra que mantiene esa calidad para dicho uso. Para uso ornamental de calidad sólo aceptable, se destaca *F. rubra* creciendo con 25% de sombra; mientras que cuando la reducción de luz llega al 80% *A. stolonifera* var. *palustris* y *P. trivialis* serían las especies más adecuadas.



CAPÍTULO 6

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Aase, J. K.** 1978. Relationship between leaf area and dry matter in winter wheat. *Agron. J.* 70(4): 563-565.
- Allard, G.; Nelson, C. J. and S. J. Pallardy.** 1991. Shade effects on growth of Tall Fescue: I. Leaf anatomy and dry matter partitioning. *Crop Sci.* 31 (1): 163-167.
- Al-Mana, F.A.** 2000. Performance of some cool season turfgrass cultivars grown under shade or sun in Riyadh, Saudi Arabia. *Egyptian Journal of Horticulture.* 27 (1): 15-28.
- Auda, H.; Blaser, R. E. and R. H. Brown.** 1966. Tillering and carbohydrate contents of Orchardgrass as influenced by environmental factors. *Crop Sci.* 6(2): 139-143.
- Azcon-Bieto, J., Farquhar, G.D and A. Caballero.** 1981. Effects of temperature, oxygen concentration, leaf age and seasonal variations on the CO₂ compensation point of *Lolium perenne* L. Comparison with a mathematical model including non-photorespiratory CO₂ production in the light. *Planta* 152:503-504.
- Baird, J.; Baker, J.R; Bambara, S.; Brandenburg, R.L.; Bruneau, A.H.; Lewis, W.M; Lucas, L.T.; Peacock, C.; Powell, M.A.; Sneed, R. and R. White.** 1996. Managing lawn grasses in the shade. North Carolina Cooperative Extension Service. North Carolina State University. Disponible en: <http://ipmwww.ncsu.edu/urban/cropsci/c10turf/shade.html>
- Bakker, J. J. and H. Vos.** 1976. Reaktion von Grasen auf Schatteneinwirkung. *Rasen, Grünflächen, Begrünungen.* 7(4): 88-91.
- Bär, D.; Jacob, H. und H. Schulz.** 1995. Wirkung unterschiedlicher Beschattungsintensität auf die Entwicklung einiger Rasengräserarten (Effect of different intensities of shading on the development of some turfgrass species) *Rasen Turf Gazon* 26 (3) 84-94.

- Baraldi, R.; Rapparini, F.; Rotondi, A. and G. Bertazza.** 1998. Effects of simulated light environment on growth and leaf morphology of peach plants. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 73 (2): 251-258.
- Barrios, E. P.; Sundstrom, F. J.; Babcock, D. and L. Leger.** 1986. Quality and yield response of four warm season lawngrasses to shade conditions. *Agron. J.* 78 (2): 270-273.
- Beard, J. B.** 1965. Factors in the adaptation of turfgrasses to shade. *Agron. J.* 57 (5): 457-459.
- Beard, J. B.** 1969. Turfgrass shade adaptation. Proceedings of the first International Turfgrass Research Conference. 273-282.
- Beard, J. B.** 1973. Turfgrass: Science and culture. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. 658 pp.
- Beard, J. B. and R. L. Green.** 1994. The role of turfgrass in environmental protection and their benefits to humans. *J. Environ. Qual.* 23(3):452-460.
- Bell, G.E and T.K. Danneberger.** 1999. Temporal shade on Creeping Bentgrass. *Turf. Crop Sci.* 39: 1142-1146.
- Bell, G.E.; Danneberger, T.K. and M.J. McMahon.** 2000. Spectral irradiance available for turfgrass growth in sun and shade. *Crop Sci.* 40 (1): 189-195.
- Björman, O.; Boardman, N. K; Anderson, J. M.; Thorne, S. W.; Goodchild, D. J. and N. A. Pyliotis.** 1972. Effect of light intensity during growth of *Atriplex patula* on the capacity of photosynthetic reactions, chloroplast components, and structure. *Ann. Rept. Dir., Dep. Plant Biol., Carnegie Inst.* 115-135.
- Black, C. A.** 1965. Methods of soil analysis. Agronomy 9. American Society of Agronomy CSSA, and SSSA. Madison. WI.
- Blackwell, M.J.** 1966. Radiation meteorology in relation to field work. In: R. Bainbridge *et al.* (ed.) Light as an ecological factor. British Ecological Society. Blackwell Scientific Publ., Oxford.
- Boardman, N.K.** 1977. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28: 355-377.

- Brede, A.D. and J.M. Duich.** 1980. A mathematical estimate of the leaf area index of Kentucky bluegrass turf. *Agronomy Abstracts*. p.114.
- Brilman, L. A.** 1985. Shade tolerant turfgrasses. *Weeds Trees & Turf*. 24 (10): 46-48.
- Bruneau, A.H.; Lewis, W.M; Lucas, L.T.; Powell, M.A; Brandenburg, R.L; Sneed, R.E; DiPaola, J.M and C.H. Peacock.** 1998. Selecting and managing lawns grasses for shade. North Carolina Cooperative Extension Service. Disponible en: <http://www.ces.ncsu.edu/TurfFiles/pubs/Shade1.html>.
- Buisson, D. and D. W.Lee.** 1993. The developmental responses of Papaya leaves to simulated canopy shaded. *American Journal of Botany*. 80 (8): 947-952.
- Callaham, L.M. and H.A. Fribourg.** 1975. Effects of shade on stand and sod quality of selected turf and forage grasses. *Tennessee Farm & Home Science Progress Report* 96: 13-15.
- Cantero, A.; Bricchi, E.; Bonadeo, E. y R. Gallardo.** 1987. Propiedades físicas de los principales subgrupos de suelos del centro sur oeste de Córdoba. II Jornadas científicas técnicas de la F.A.V.- U.N.R.C. Río Cuarto. *Actas*. Pag. 146.
- Carrow, R. N.** 1996. Summer decline of bentgrass greens. *Golf Course Manage.* 64: 51-56.
- Casal, J.J. and R. A. Sanchez.** 1994. Impaired stem-growth responses to blue-light radiance in light-growth transgenic tobacco seedlings overexpressing Avena phytochrome A. *Physiologia Plantarum*. 91: 268-272.
- Chesnel, A.; Croise, R. and B. Bourgoin.** 1980. Tree shade adaptation of turfgrass species and cultivars in France. *Proceedings of the 3th International Turfgrass Research Conference*. 431-436.
- Christians, N.E. and D. Li.** 2002. Shade Adaptation Study – 2001. 2002 Iowa Turfgrass Research Report. Iowa State University. Disponible en: <http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/2002/10-Shade.html>
- Christians, N.E.; Bingaman, B. R.; and G. M. Peterson.** 1998. Shade Adaptation Study – 1997. 1998 Iowa Turfgrass Research Report. Iowa State University.

Disponibile en:

<http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/1998/87%2694st.html>

<http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/1998/87%2694st2.html>

Christians, N.E.; Bingaman, B. R.; and G. M. Peterson. 2000. Shade Adaptation Study – 1999. 2000 Iowa Turfgrass Research Report. Iowa State University.

Disponibile

en:

<http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/2000/shadetrial99.html>

Christians, N.E.; Bingaman, B. R.; and G. M. Peterson. 2001. Shade Adaptation Study – 2000. 2001 Iowa Turfgrass Research Report. Iowa State University.

Disponibile

en:

http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/2001/10_shade.html

Christians, N.E.; Bingaman, B. R.; Benning, L. A. and G. M. Peterson. 1999. Shade Adaptation Study – 1998. 1999 Iowa Turfgrass Research Report. Iowa State University.

State

University.

Disponibile

en:

<http://turfgrass.hort.iastate.edu/pubs/turfrpt/1999/87%2694shadetrial99.html>

Collocott, T. C. and A. B. Dobson. 1974. Dictionary of Science and Technology. Edinburgh: Chambers. 1328 pp.

Danneberger, T.K. 1993. Turfgrass: Ecology & Management. Cindy Code, Editor and Co-Publisher of Lawn & Landscape Maintenance Magazine. 201 pp.

Daubenmire, R.F. 1959. Plants and environment. John Wiley & Sons, Inc, New York. pp. 1-422.

Dudeck, A. E., and C.H. Peacock. 1992. Shade and turfgrass culture. In D.V. Waddington, R.N Carrow and R. C. Shearman (ed.) Turfgrass. ASA. Monogr. 32. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. p. 269-284.

Eggens, J. L. 1980. Use of the third youngest leaf to estimate leaf area in Kentucky bluegrass. Agron. J. 72(6): 1061-1063.

Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Wernerr, W. und Paulissen, D. 1991. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Verlag Erich Goltze D.G., Göttingen.

- Eriksen, F. I and A. S. Whitney.** 1981. Effects of light intensity on growth of some tropical forage species. I. Interaction of light intensity and nitrogen fertilization on six forage grasses. *Agron. J.* 73: 427-433.
- Ervin, E.** 2000. Tips for growing grass in dense shade. *Missouri Environment and Garden. News for Missouri's Gardens, Yards and Resources.* 6 (11). Disponible en: <http://agebb.missouri.edu/hort/meg/archives/v6n11/meg1.htm>
- Fagerness , M. J. and S. J. Keeley.** 2000. Shade tolerant grasses. *Horticulture Report.* Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service MF-2128. Disponible en: <http://www.oznet.ksu.edu>
- Fisser, H. G. and G. M. Van Dyne.** 1966. Influence of number and spacing of point on accuracy and precision of basal cover estimates. *J. Range Mgmt.* 19: 205-211.
- Gaskin, T.** 1965. Growing turfgrass in shade. *Park Maintenance.* 17(10): 90-94.
- Gaussoin, R. E. Baltensperger, A. A and B. N. Coffey.** 1988. Response of 32 Bermudagrass clones to reduced light intensity. *HortScience.* 23 (1): 178-179.
- Gobierno Ciudad Buenos Aires (G.C.B.A), Secretaría Planeamiento (S.P.U) y Consejo Plan Urbano Ambiental (Co.P.U.A).** 2000. Plan Urbano Ambiental de la ciudad de Buenos Aires. Documento Final. 181 pp. Disponible en: <http://www.plan-urbano.gov.ar/>
- Greig-Smith, P.** 1964. *Quantitative plant ecology.* London. 198 pp.
- Harivandi, M. A. and V. A. Gibeault.** 1997. Turfgrass management in shade. *California Turfgrass Culture. Cooperative Extension.* University of California. 47 (1,2): 1-3.
- Hart, R. H.; Ralph, H. H.; Clifford, E. L. and W. G. Monson.** 1970. Effect of nitrogen and shading on yield and quality of grasses under young slash pines. *Agron. J.* 62(2): 285-287.
- Heslehurst, M. R.** 1971. The point quadrats methods of vegetation analysis: a review, study. University of Reading, Department of Agriculture. 10: pp. 18.

- Hickey, V. G and M. C. Engelke.** 1984. Evaluation of quality in Tall Fescue turf trials. Texas A & M Research and Extension Center. PR-4276: 56-61.
- Huang, B. and H. Gao.** 2000. Growth and carbohydrate metabolism of creeping bentgrass cultivars in response to increasing temperatures. *Crop Sci.* 40: 1115-1120.
- Huang, B. and X. Liu.** 2003. Summer root decline: production and mortality for four cultivars of creeping bentgrass. *Crop Sci.* 43: 258 - 265.
- Horst, G. L., Engelke, M. C. and W. Meyers.** 1984. Assessment of visual evaluation techniques. *Agron. J.* 76: 619-622.
- Huber, A. und H. Schulz.** 1997. Einfluß von Belastung und Beschattung auf einige Rasengräserarten und -sorten. *Rasen Turf Gazon* 2 : 36-40.
- InfoStat.** 2003 . InfoStat versión 1.6. Grupo InfoStat. FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- I.S.T.A.** 1999. International rules for seed testing. Supplement *Seed Science and Technology*, 21, 288 p.
- Johnson, R. A. and D. W. Wichern.** 1998. *Applied Multivariate Statistical Analysis.* Prentice-Hall. NJ. 816 pp.
- Juska, F.V.** 1963. Shade tolerance of bentgrasses. *Golf Course Reporter.* 31(2): 28-34.
- Juska, F.V., A.A. Hanson, and A.W. Hovin.** 1969. Kentucky 31 tall-fescue- a shade tolerant turfgrass. *Weeds, Trees and Turf.* 8(1): 34-35.
- Kaligis, D. A.** 1995. Potential of some promising germplasms for the development of shade tolerant forage plants. Proceedings of the fourth meeting of Regional Working Group on Grazing and Feed Resources of Southeast Asia, Nha Trang, Vietnam: 135-141. Disponible en:
http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Publicat/VIET95/V95_135.PDF
- Karnok, K. J.** 1982. Turfgrass species, cultivars and management considerations for shaded sites. Proceedings of the 52nd Annual Michigan Turfgrass Conference. 11: 81-85.

- Kephart, K. D. and D. R. Buxton.** 1993. Forage quality responses of C₃ and C₄ perennial grasses to shade. *Crop Sci.* 33 (4): 831-837.
- Kephart, K. D.; Buxton, D. R. and S. E. Taylor.** 1992. Growth of C₃ and C₄ perennial grasses under reduced irradiance. *Crop Sci.* 32 (4): 1033-1038.
- Kittas, C.; Baille A. and P. Giaglaras.** 1999. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.* 73 (4): 341-351.
- Kopec, D. M.; Norman, J.M.; Shearman, R.C. and M.P. Peterson.** 1987. An indirect method for estimating Turfgrass leaf area index. *Crop Sci.* 27 (6): 1298-1301.
- Kuroyanagi, T. and G. M. Paulsen.** 1988. Mediation of high-temperature injury by roots and shoots during reproductive growth of wheat. *Plant Cell Environ.* 11: 517-523.
- Lefton, J.** 1993. Improving laws in shade. Turf series. Purdue University Cooperative Extension Service. AY-14. Disponible en: <http://www.agcom.purdue.edu/AgCom/Pubs/AY/AY-14.html>.
- Leopold, A. C. and P. E. Kriedmann.** 1975. Plant growth and development. McGraw-Hill, New York.
- Lucanus, R., K. J. Mitchel, G.G. Pritchard, and D.M. Calder.** 1960. Factors influencing survival of strains of ryegrass during summer. *New Zealand Journal of Agricultural Research.* 3: 185-193.
- Ludlow, M.M.; Wilson, G. L and M. R. Heslehurst.** 1974. Studies on the productivity of tropical pasture plants. 1. Effects of shading on growth, photosynthesis, and respiration in two grasses and two legumes. *Aust. J. Agric. Res.* 25: 425-433.
- Lush, W. y P. Franz.** 1991. Estimating turf biomass, tiller density and species composition by coring. *Agron. J.* 83 (5): 800-803.
- McBee, G. G. and E. C. Holt.** 1966. Shade tolerance studies on Bermudagrass and other turfgrasses. *Agron. J.* 58 (5): 523-525.

- McBee, G.G.** 1969. Association of certain variations in light quality with the performance of selected turfgrasses. *Crop Sci.* 9 (1): 14-17.
- McKee, G. W.** 1963. Use of a color temperature meter to characterize light quality in the field. *Crop Sci.* 3 (3): 271-273.
- McMahon, M. J.; Kelly, J. W.; Decoteau, D. R.; Young, R. E. and R. K. Pollock.** 1991. Growth of *Dendranthema grandiflorum* Ramat. Kitamura under various spectral filters. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 116: 950-954.
- McVey, G. R. and E. W. Mayer.** 1969. Response of "Tifgreen" Bermudagrass and "Windsor" Kentucky bluegrass to various light spectra modifications. *Agron. J.* 61 (5): 655-659.
- Meyer, B. S.; Anderson, D. B. and R. H. Bohning.** 1960. Introduction to plant physiology. D. Van Nostrand Co., Ltd., Toronto.
- Misha, A.** 1991. Influence of some shade degrees on some cool season turfgrasses performance. *Bulletin of Faculty of Agriculture, University of Cairo.* 42 (4): 1501-1519.
- Morton, S. J.; Engelke, M. C. and K. G. Porter.** 1994a. Performance of three warm-season turfgrass genera cultured in shade. I. *Buchloe dactyloides*. Texas Turfgrass Research. Texas Agric. Exp. Station. Texas A&M University System. PR. 5241: 21-23.
- Morton, S. J.; Engelke, M. C. and K. G. Porter.** 1994b. Performance of three warm-season turfgrass genera cultured in shade. II. *Cynodon dactylon*. Texas Turfgrass Research. Texas Agric. Exp. Station. Texas A&M University System. PR. 5242: 24-26.
- Morton, S. J.; Engelke, M. C. and K. G. Porter.** 1994c. Performance of three warm-season turfgrass genera cultured in shade. III. *Zoysia* spp. Texas Turfgrass Research. Texas Agric. Exp. Station. Texas A&M University System. PR. 5243: 27-29.
- Mosquera-Losada, M.R.; Righeiro-Rodríguez, A.; López-Díaz, M.L. y S. Rodríguez-Barrera.** 2001. Efecto del sombreado y la época de siembra en el

- establecimiento y producción de varias especies pratenses. *Investigación Agraria. Serie Producción y protección vegetales*. 16 (2): 169-186.
- Norton, B.W.; Wilson, J.R.; Shelton; H.M. and K.D. Hill.** 1990. The Effect of Shade on Forage Quality. In: H.M. Shelton and W.W. Stür (ed.). *ACIAR Proceedings 32: Forages for Plantation Crops*. Sanur Beach, Bali, Indonesia: 83-88. Disponible en: <http://www.aciar.gov.au/publications/proceedings/32/>
- P. E. R. C. 2000.** 1997. Plan Estratégico Río Cuarto. Documento N° 1. Municipalidad de Río Cuarto. 136 pp.
- Ramos, J. M.; García del Moral, L. F. and L. Recalde.** 1983. Dry matter and leaf area relationships in winter barley. *Agron. J.* 75(2): 308-314.
- Ravello A. y R. A. Seiler.** 1978/79. Agroclima de la Provincia de Córdoba. Expectativa de precipitación en el curso del año. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. RIA XIV(3): 71-136.
- Relf, D.** 1997. Producing Quality Turfgrass in Shaded Areas. Virginia Cooperative Extension. Virginia State University. Disponible en: <http://www.ext.vt.edu/departments/envirohort/factsheets2/lawn/sep92pr2.html>
- Riffell, S. K.; Engelke, M.C. and S. J. Morton.** 1995. Performance of three warm-season turfgrasses cultured in shade: Bermudagrass. *Texas Turfgrass Research*. Texas Agric. Exp. Station. Texas A&M University System. PR. 95-10: 54-59.
- Rothery, P.** 1974. The number of pins in a point quadrat frame. *Journal of Applied Ecology*. 11: 745-754.
- Sanchez, M.D. and T.H. Ibrahim.** 1990. Forage Species for Rubber Plantations in Indonesia. In: H.M. Shelton and W.W. Stür (ed.). *ACIAR Proceedings 32: Forages for Plantation Crops*. Sanur Beach, Bali, Indonesia: 54-57. Disponible en: <http://www.aciar.gov.au/publications/proceedings/32/>
- Seiler, R. A. ; Fabricius, R. A. ; Rotondo, V. A. y M. G. Vinocur.** 1995. Agroclimatología de Río Cuarto: 1974/93. Cátedra Agrometeorología. Fac. Agr. y Vet. Universidad Nacional de Río Cuarto. 1: 64.

- Sifers, S. I.; Beard, J. B. and M. H. Hall.** 1991. Comparative wear tolerance of tall fescue (*Festuca arundinacea*) genotypes grown under post oak tree shade in a warm-humid climate. Progress Report Texas Agricultural Experiment Station 4899: 58-61.
- Singh, M.; Ogren, W. L. and J. M. Widholm.** 1974. Photosynthetic characteristics of several C₃ and C₄ plants species growth under different light intensities. Crop Sci. 14(4): 563-566.
- Stier, J.C.** 1999. Growing grass in shade. Cooperative Extension Publishing. University of Wisconsin. A3700. Disponible en: www.uwex.edu/ces/pubs/pdf/A3700.PDF
- Stuefer, J. F. and H. Heidrun.** 1998. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species. Oecologia. 117: 1-8.
- Tankersley, L and T.Samples.** 1999. Managing Trees and Turfgrasses Agricultural Extension Service The University of Tennessee SP 535. Disponible en: <http://www.utextension.utk.edu/spfiles/SP535.pdf>
- Turgeon, A. J.** 1996. Turfgrass Management. 4th Ed. Prentice Hall. New Jersey. 406 pp.
- Vézina, P. E. and D. W. Boulter.** 1966. The spectral composition of near ultraviolet and visible radiation beneath forest canopies. Canadian Journal of Botany. 44: 1267-1284.
- Warren Wilson, J.** 1959. Analysis of the spatial distribution of foliage by to dimensional point quadrats. New Phytol. 58: 92-101.
- Whitcomb, C.E.** 1968. Grass and tree root relationships. Proceedings of Florida Turfgrass Management Conference. 16: 46-50.
- Whitcomb, C. E.** 1972. Influence of tree root competition on growth response of four cool season turf grasses. Agron. J. 64 (3): 355-359.
- Wilkinson, J. F. and J. B. Beard.** 1974. Morphological responses of *Poa pratensis* and *Festuca rubra* to reduced light intensity. In: E. C. Roberts (Ed.) Proc. 2nd Int. Turfgrass Res. Conf., Blacksburg, VA. 231-240.

- Wilkinson, J. F.; Beard, J. B. and J.V. Krans.** 1975. Photosynthetic-respiratory responses of “Merion” Kentucky bluegrass and “Pennlawn” Red Fescue at reduced light intensities. *Crop Sci.* 15 (2): 165-168.
- Wong, C. C.** 1990. Shade Tolerance of Tropical Forages: A Review. In: H.M. Shelton and W.W. Stür (ed.). *ACIAR Proceedings 32: Forages for Plantation Crops.* Sanur Beach, Bali, Indonesia: 64-69. Disponible en: <http://www.aciar.gov.au/publications/proceedings/32/>
- Wong, C. C.; Sharudin, M. and H. Rahim,** 1985. Shade tolerance potential of some tropical forages for integration in plantations 2 legumes. *MARDI Res. Bull.* 13: 249-269
- Wood, G. M.** 1969. Shade tolerant turfgrasses of the United States and Southern Canada. *Proceedings of the first International Turfgrass Research Conference.* 283-288.
- Wu, L. and A. Harivandi.** 1995. Buffalograss response to cold, shade, and salinity. *California Turfgrass Culture. Cooperative extension. University of California.* 45 (1,2): 5-7.
- Wu, L.; Huff, D. and W.B. Davis.** 1985. Tall Fescue turf performance under a tree shade. *HortScience* 20 (2): 281-282.
- Xu, Q. and B. Huang.** 2000a. Growth and physiological responses of creeping bentgrass to changes in air and soil temperatures. *Crop Sci.* 40: 1363-1368.
- Xu, Q. and B. Huang.** 2000b. Effects of differential air and soil temperature on carbohydrate metabolism in creeping bentgrass. *Crop Sci.* 40: 1368-1374.
- Xu, Q. and B. Huang.** 2001a. Morphological and physiological characteristics associated with heat tolerance in creeping bentgrass. *Crop Sci.* 41: 127-133.
- Xu, Q. and B. Huang.** 2001b. Lowering soil temperatures improves creeping bentgrass growth under heat stress. *Crop Sci.* 41: 1878-1883.
- Yates, D. J.** 1989. Shade factors of a range of shade cloth materials. *Acta Horticulturae (ISHS)* 257: 201-217.

- Zarlengo, P. J.; Rothrock, C. S. and J. W. King.** 1994. Influence of shading on the response of Tall Fescue cultivars to *Rhizoctonia solani* AG-1 IA. Plant Disease. 78 (2): 126-129.
- Zuloaga, F. O.; Nicora, E.G; Rúgolo de Agrasar, Z.E.; Morrone, O. Pensiero, J. y A. M Cialdella.** 1994. Catálogo de la Familia Poacea en la República Argentina. Monograph in Sistematic Botany from the Missouri Botanical Garden. 47: 178 pp.

CAPÍTULO 7

ANEXOS

7.1. Anexo I. Análisis químico y curva de capacidad hídrica del suelo del sitio experimental

El sitio experimental está ubicado en el campus de la Universidad Nacional de Río Cuarto a 33° 07' de latitud sur, 64° 14' de longitud W de G. y a una altitud de 421 m sobre el nivel del mar y presenta un suelo clasificado como Hapludol típico. La Tabla 4 contiene los resultados del análisis químico referido a contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo y el valor medio de acidez de la capa de suelo correspondiente a los primeros 15 cm de profundidad.

Tabla 4. Análisis químico de los primeros 15 cm del suelo realizado antes de la implantación del ensayo.

	Unidades	Valor	Método
Materia orgánica	%	2,38	Walkley-Black
N – NO₃	Ppm	19	Reducción por Cadmio
P	Ppm	45	Kurtz y Bray
pH	-	6,6	Potenciometría 2,5/1

Por su parte, la Tabla 5 muestra los valores del contenido hídrico del suelo a diferentes valores de succión para esa misma profundidad y la Figura 23 la curva de capacidad hídrica característica.

Tabla 5. Valores de contenido hídrico de la capa 0 – 15 cm del suelo para diferentes valores de succión (promedio de 4 repeticiones).

Bares	Contenido de agua (%)
-0.16	30.3
-0.33	19.5
-0.70	15.7
-1.50	14.5
-3.00	11.4
-7.00	8.7
-10.0	7.7
-15.0	7.5

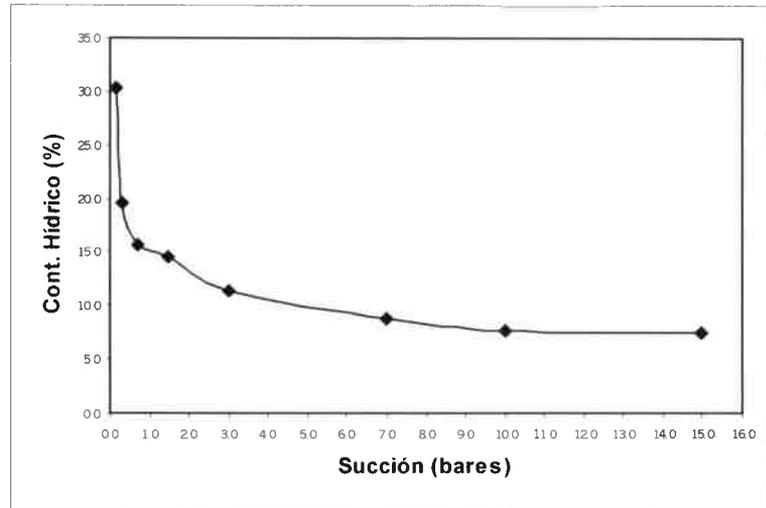


Figura 23. Curva de capacidad hídrica del suelo donde se realizó el ensayo.

7.2. Anexo II. Variantes de correlaciones entre el Área Foliar verde y el Peso Seco del material verde correspondiente al muestreo de Marzo de 2000.

Tabla 6. Modelos lineales de regresión (R^2) y coeficientes de correlación (r) entre el área foliar verde y el peso seco correspondiente.

Variantes de la relación área foliar verde: peso seco material verde	Nº Muestras	Modelos de regresión lineal	r	R²
Datos sin promediar	108	$y = 238,1x + 1,248$	0,92	0,84
Datos promediados de 3 muestras en c/nivel de luz y especie	36	$y = 262,62x - 2,0413$	0,94	0,90
<u>Datos promediados y clasificados por nivel de luz:</u>				
Luz solar completa (control)	9	$y = 173,94x + 0,6855$	0,98	0,97
25% sombra	9	$y = 215,06x + 1,7201$	0,97	0,94
50% sombra	9	$y = 306,86x - 13,541$	0,95	0,91
80% sombra	9	$y = 305,86x - 2,3208$	0,96	0,93
<u>Datos promediados y clasificados por especie:</u>				
<i>Agrostis palustris</i>	12	$y = 262,28x + 0,539$	0,92	0,85
<i>Poa trivialis</i>	12	$y = 228,24x + 1,4073$	0,92	0,86
<i>Festuca rubra</i>	12	$y = 213,19x + 0,2304$	0,93	0,88

7.3. Anexo III. Coefficientes de correlación y autovectores resultantes de los Análisis de Componentes Principales en las distintos tratamientos de sombra.

Tabla 7. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron al sol.

	Den	PSTo	PSMv	PSBr	PorPSMv/To	PorPSBr/To	PorMS	IAF	AFE	Cob	AP
Den	1,00										
PSTo	0,5*	1,00									
PSMv	0,78**	0,78**	1,00								
PSBr	0,05	0,83**	0,31	1,00							
PorPSMv/To	0,59**	-0,30	0,27	-0,71**	1,00						
PorPSBr/To	-0,55**	0,36	-0,22	0,77**	-0,93**	1,00					
PorMS	-0,39	0,48*	-0,11	0,85**	-0,88**	0,95**	1,00				
IAF	0,78**	0,79**	1,00**	0,32	0,26	-0,21	-0,09	1,00			
AFE	-0,51*	0,03	-0,38	0,43*	-0,54**	0,74**	0,71**	-0,36	1,00		
Cob	0,80**	0,36	0,71**	-0,11	0,63**	-0,62**	-0,47*	0,71**	-0,54**	1,00	
AP	0,88**	0,60**	0,86**	0,14	0,46*	-0,42*	-0,28	0,87**	-0,45*	0,84**	1,00

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

Tabla 8. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales cuando las especies crecieron al sol. Los coeficientes de los autovectores 1 y 2 representan los pesos con que cada variable original fue ponderada para construir los ejes 1 y 2 respectivamente.

Variables	e1	e2
Den	0,37	0,12
PSTo	0,13	0,47
PSMv	0,32	0,28
PSBr	-0,10	0,47
PorPSMv/To	0,31	-0,28
PorPSBr/To	-0,32	0,32
PorMS	-0,27	0,37
IAF	0,32	0,29
AFE	-0,30	0,15
Cob	0,37	0,05
AP	0,36	0,19

Tabla 9. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 25% de sombra.

	Den	PSTo	PSMv	PSBr	PorPSMv/To	PorPSBr/To	PorMS	IAF	AFE	Cob	AP
Den	1,00										
PSTo	0,47*	1,00									
PSMv	0,67**	0,83**	1,00								
PSBr	0,19	0,89**	0,49*	1,00							
PorPSMv/To	0,36	-0,42*	0,10	-0,75**	1,00						
PorPSBr/To	-0,36	0,42*	-0,10	0,75**	-1,00**	1,00					
PorMS	-0,29	0,57**	0,06	0,83**	-0,93**	0,93**	1,00				
IAF	0,67**	0,83**	1,00**	0,49*	0,10	-0,10	0,07	1,00			
AFE	-0,41*	-0,37	-0,57**	0,12	-0,25	0,25	0,15	-0,56**	1,00		
Cob	0,87**	0,44*	0,64**	-0,18	0,27	-0,27	-0,27	0,64**	-0,46*	1,00	
AP	0,80**	0,63**	0,77**	0,35	0,21	-0,21	-0,08	0,77**	-0,47*	0,76**	1,00

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

Tabla 10. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales cuando las especies crecieron con 25% de sombra. Los coeficientes de los autovectores 1 y 2 representan los pesos con que cada variable original fue ponderada para construir los ejes 1 y 2 respectivamente.

Variables	e1	e2
Den	0,35	0,18
PSTo	0,37	-0,25
PSMv	0,41	0,01
PSBr	0,24	-0,40
PorPSMv/To	0,02	0,48
PorPSBr/To	-0,02	-0,48
PorMS	0,04	-0,48
IAF	0,41	0,00
AFE	-0,27	-0,12
Cob	0,34	0,16
AP	0,38	0,08

Tabla 11. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 50% de sombra.

	Den	PSTo	PSMv	PSBr	PorPSMv/To	PorPSBr/To	PorMS	IAF	AFE	Cob	AP
Den	1,00										
PSTo	0,49*	1,00									
PSMv	0,63**	0,94**	1,00								
PSBr	0,29	0,94**	0,76**	1,00							
PorPSMv/To	0,23	-0,51*	-0,21	-0,75**	1,00						
PorPSBr/To	-0,23	0,51*	0,21	0,75**	-1,00**	1,00					
PorMS	-0,09	0,71**	0,48*	0,85**	-0,83**	0,83**	1,00				
IAF	0,64**	0,94**	1,00**	0,77*	-0,21	0,21	0,48*	1,00			
AFE	0,50*	0,86**	0,84**	0,78	-0,45*	0,45*	0,57**	0,84**	1,00		
Cob	0,65**	0,52**	0,60**	0,38	0,04	-0,04	0,00	0,60**	0,48*	1,00	
AP	0,74**	0,77**	0,86**	0,59	-0,06	0,06	0,24	0,87**	0,73**	0,66**	1,00

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

Tabla 12. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales cuando las especies crecieron con 50% de sombra. Los coeficientes de los autovectores 1 y 2 representan los pesos con que cada variable original fue ponderada para construir los ejes 1 y 2 respectivamente.

Variables	e1	e2
Den	0,215	0,40
PSTo	0,38	-0,01
PSMv	0,36	0,16
PSBr	0,36	-0,18
PorPSMv/To	-0,20	0,47
PorPSBr/To	0,20	-0,47
PorMS	0,27	-0,37
IAF	0,36	0,17
AFE	-0,35	0,02
Cob	0,22	0,31
AP	0,31	0,27

Tabla 13. Coeficientes de correlación (Pearson) entre las 11 variables evaluadas cuando las especies crecieron con 80% de sombra.

	Den	PSTo	PSMv	PSBr	PorPSMv/To	PorPSBr/To	PorMS	IAF	AFE	Cob	AP
Den	1,00										
PSTo	0,59**	1,00									
PSMv	0,68**	0,93**	1,00								
PSBr	0,27	0,81**	0,55**	1,00							
PorPSMv/To	0,43*	0,23	0,55**	-0,36	1,00						
PorPSBr/To	-0,43*	-0,23	-0,55**	0,36	-1,00**	1,00					
PorMS	-0,03	0,69**	0,54**	0,74**	-0,12	0,12	1,00				
IAF	0,69**	0,93**	1,00**	0,55**	0,55*	-0,55*	0,53*	1,00			
AFE	0,58**	0,79**	0,82**	0,50	0,41*	-0,41*	0,43*	0,84**	1,00		
Cob	0,64**	0,45*	0,38	0,43	0,03	-0,03	-0,05	0,39	0,45*	1,00	
AP	0,78**	0,82**	0,90**	0,46	0,50*	-0,50*	0,34	0,91**	0,84**	0,57**	1,00

* Significativo al 5% de probabilidad.

** Significativo al 1% de probabilidad.

Tabla 14. Primeros dos autovectores (e1 y e2) resultantes del Análisis de Componentes Principales cuando las especies crecieron con 80% de sombra. Los coeficientes de los autovectores 1 y 2 representan los pesos con que cada variable original fue ponderada para construir los ejes 1 y 2 respectivamente.

Variables	e1	e2
Den	0,30	0,14
PSTo	0,37	-0,20
PSMv	0,39	0,02
PSBr	0,23	-0,50
PorPSMv/To	0,20	0,52
PorPSBr/To	-0,20	-0,52
PorMS	0,19	-0,38
IAF	0,39	0,02
AFE	0,35	-0,01
Cob	0,21	-0,08
AP	0,37	0,05

7.4. Anexo IV. Fotografías del experimento a campo

7.4.1. Vista general del ensayo mostrando las unidades experimentales y las estructuras que soportaron las mallas media sombra.



7.4.2. Grilla utilizada para la extracción de muestras con cilindros asegurando la independencia entre ellas.



7.4.3. Muestra extraída con cilindros donde se realizaron las evaluaciones cuantitativas en los períodos de emergencia – establecimiento y crecimiento de las especies.



7.4.4. Instrumento utilizado para evaluar la cobertura del suelo a través del método cuantitativo Point Quadrat.



7.4.5. Cámara fotográfica y soporte utilizados para registrar imágenes con las cuales se efectuó la evaluación cualitativa de la cobertura del suelo, aplicando una escala visual.



U.N.R.C.
Biblioteca Central



61194

61194