



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DE MAGISTER EN CIENCIAS AGRARIAS

**EVALUACIÓN DE BIOMASA ÁEREA Y SUBTERRÁNEA
EN PASTURAS MEGATÉRMICAS CRECIENDO CON LIMITACIONES
EDÁFICAS EN LA REGIÓN PAMPEANA SEMIÁRIDA**

Ing.P.A. SILVIA SUSANA PAREDES

BAHIA BLANCA

ARGENTINA

2015

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Magister en Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el ámbito de la Universidad Nacional del Sur y la Unidad de Extensión y Desarrollo Territorial de Guatraché - La Pampa durante el período comprendido entre el 2010 y 2014, bajo la dirección del Ing. Agr. (Ph.D.) Néstor Stritzler y el Ing. Agr. (Ph. D.) Roberto Distel

Silvia Susana Paredes



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
Secretaría General de Posgrado y Educación Continua

La presente tesis ha sido aprobada el **28/08/2015**, mereciendo la calificación de **10 (Sobresaliente)**

AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer a:

Mi director de tesis el Ing. Agr. Nestor Stritzler por guiarme en mi trabajo, su asistencia profesional y su apoyo incondicional durante mi trabajo de tesis.

A mi codirector el Ing. Agr. Roberto Distel por sus aportes y correcciones que permitieron mejorar mi trabajo.

Un especial agradecimiento al Ing. Alfredo Bono de la EEA Anguil que me acompañó y asistió con total generosidad durante todo este tiempo.

Al Centro Regional INTA La Pampa- San Luis y a la EEA Anguil "*Ing. Guillermo Covas*" por brindarme la oportunidad de realizar mi estudios de Posgrado que me permitieron un crecimiento no solo en lo técnico sino en lo personal.

A todos los integrantes de la Unidad de Extensión de INTA Guatraché, Fernando, Laura, Alberto, Soledad, Nancy, Claudia y Andres que generosamente colaboraron en todas las actividades a campo que tuvimos que realizar y me acompañaron para poder realizar este trabajo.

A la Facultad de Agronomía, Universidad de La Pampa, en especial al equipo del laboratorio de producción animal, Ing. Agr. Celia Rabotnikof, Ing. Agr. Celeste Lentz, Ing. Agr. Ricardo Zapata, Ing. Agr. Matías Lambert, Tec. Sergio Lardone y Tec. Néstor Balzer.

A profesionales de diferentes áreas de la EEA Anguil, Ing. Agr. Horacio Petruzzi, Ing. Agr. Francisco Babinec, Ing. Agr. Guillermo Casagrande, CNP Darío Fernández, al Lic. Francisco Etchart, a la Ing. Agr. Maria Elena Fuentes.

A la familia Albrecht-Lehr que me permitieron realizar el ensayo en su establecimiento agropecuario en la localidad de Guatraché.

A la biblioteca de la EEA Anguil.

Al laboratorio de suelo de la EEA Anguil y todo su personal.

A la Sra. Beatriz García.

Al personal de campo de la EEA Anguil.

A mis padres que me transmitieron el valor del esfuerzo, responsabilidad y compromiso.

A Horacio y Federico por la paciencia y comprensión.

INDICE GENERAL	Página
REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	1
Clima (en general para la región del Sudeste Pampeano).....	4
Suelo (en general para la región del Sudeste Pampeano).....	7
Especies megatérmicas.....	10
<i>Principales especies Megatérmicas</i>	12
<i>Eragrostis curvula</i> (<i>Pasto Llorón</i>).....	12
<i>Panicum virgatum</i> (<i>Pasto varilla, Switchgrass</i>).....	14
<i>Panicum coloratum</i> (<i>Mijo perenne, kleingrass</i>).....	16
<i>Eragrostis superba</i> (<i>Pasto garrapata, wilman lovegrass</i>).....	17
Mezclas o complementariedad de especies	18
Diferimiento.....	20
HIPOTESIS	21
OBJETIVO GENERAL	21
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
MATERIALES Y MÉTODOS	22
Características del área bajo estudio.....	22
Clima.....	22
<i>Precipitaciones</i>	22
<i>Balance hidrológico</i>	23
Suelo.....	23
Instalación del ensayo.....	24
Tratamiento experimental.....	25

<i>Metodologías para determinaciones de variables edáficas y radicales.....</i>	26
<i>Metodología para evaluaciones cuantitativas y cualitativas de la biomasa aérea....</i>	29
<i>Determinación de digestibilidad: Técnica “in vitro”</i>	31
<i>Determinación de proteína: Técnica de Kjeldahl.....</i>	32
<i>Determinación de fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido: Técnica de Van Soest.....</i>	32
Análisis estadístico.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
Suelo.....	35
<i>Densidad Aparente.....</i>	35
<i>Humedad del suelo.....</i>	35
<i>Raíces.....</i>	38
<i>Carbono Orgánico.....</i>	43
<i>Infiltración.....</i>	46
<i>Estabilidad de agregados.....</i>	47
Especies Megatérmicas.....	50
<i>Producción y calidad nutritiva.....</i>	50
Producción de materia seca.....	50
Contribución de materia seca por especie.....	52
Calidad Nutritiva.....	54
<i>Digestibilidad.....</i>	54
<i>Proteína.....</i>	56
<i>Fibra en Detergente neutro.....</i>	58
<i>Fibra en Detergente ácido.....</i>	59
Suplementación de pasturas de baja calidad.....	65

CONCLUSIONES.....	68
RECOMEDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFIA.....	71

INDICE DE ABREVIATURAS

mm	Milímetros
°C	Grados centígrados
ETP	Evapotranspiración potencial
km/h	kilómetros por hora
kg/ha	kilogramos por hectárea
tnC/ha	tonelada de carbono por hectárea
C ₃	Especies mesotérmicas
C ₄	Especies megatérmicas
cm	Centímetro
SO	Sud oeste
MS/ha	Materia seca por hectárea
DIVMS	Digestibilidad “in vitro” de la materia seca
PB	Proteína Bruta
FDN	Fibra en detergente neutro
FDA	Fibra en detergente ácido
Ppmm	Precipitaciones en milímetros
ETR	Evapotranspiración real
PLL	<i>Eragrostis curvula</i>
ES	<i>Eragrostis superba</i>
PC	<i>Panicum coloratum</i>
PV	<i>Panicum virgatum</i>
CDMP	Cambios en el diámetro ponderado
IER	Indice de estabilidad relativo
MO/(L+A)	Materia orgánica sobre limo mas arcilla

mg/kg	miligramo por kilogramo
PMP	Punto de marchitez permanente
g/cm	gramos por centímetro
MPa	mega pascal
mm/hora	milímetros por hora
$i[\text{CO}_2]$	Concentración de dióxido de carbono
EUA	Eficiencia del uso del agua
msnm	metros sobre el nivel del mar

INDICE DE TABLAS	Página
Tabla 1. Algunas características climáticas de la región (EEA Anguil, serie 1973 al 2011) (Casagrande <i>et al.</i> , 2012).....	7
Tabla 2. Lluvias mensuales y el acumulado anual, año 2008 a 2012.....	22
Tabla 3. Descripción del perfil del suelo donde se instaló el ensayo.....	24
Tabla 4. Algunas características del suelo a 20 cm de profundidad del área seleccionada para la instalación del ensayo.....	24
Tabla 5. Tratamientos y especies.....	25
Tabla 6. Densidad aparente para la situación inicial al instalar en ensayo (2008) y al final en 2012 (dentro y fuera del ensayo).	35
Tabla 7. Distribución de raíces de las especies en el perfil en la línea de implantación para todos los tratamientos. Año 2012.....	39
Tabla 8. Distribución de raíces de las especies en el perfil perpendicular a la línea de implantación para los tratamientos con especies puras. Año 2012.....	39
Tabla 9. Textura para diferentes situaciones del sitio bajo estudio.	48
Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad relativa (IER). Palma, 2005...	48
Tabla 11. Producción y calidad nutritiva para todos los tratamientos para los años 2010 y 2012.	61

INDICE DE FIGURAS	Página
Figura 1. Precipitaciones medias anuales de la Provincia de La Pampa.....	4
Figura 2. Serie histórica de las precipitaciones mensuales del departamento Guatraché, 1921 - 2012.....	5
Figura 3. Balance hidrológico de Guatraché, según el modelo de evapotranspiración de Thornthwaite	23
Figura 4. Diseño de las parcelas combinadas.....	26
Figura 5. Esquema de la malla ubicada en una de las caras paralela a las hileras de las plantas.....	28
Figura 6. Esquema de la malla ubicada en una de las caras perpendicular a las hileras de las plantas.....	28
Figura 7. Esquema de la malla utilizada para determinar la abundancia y distribución de las raíces en el perfil del suelo.....	29
Figura 8. Diseño de parcela y área de corte de las especies.....	30
Figuras 9. a, b, c, d, e, f y g. Humedad del suelo a lo largo del estudio, en distintas fechas de muestreo.....	37
Figuras 10 a). Distribución de raíces en las caras paralelas a las hileras de las plantas. b) en forma perpendicular a las mismas en los tratamientos de una sola especie.....	40
Figura 11. Producción de materia seca de raíces para todos los tratamientos, de 0 a 25 cm de profundidad. Año 2012.....	42
Figura 12. Contenido de carbono orgánico fuera del ensayo y para todos los tratamientos en el sitio en estudio. Año 2012.....	44
Figura 13. Contenido de carbono orgánico del suelo al iniciar el estudio (2008) y situación final, año 2012, fuera del ensayo (cultivos agrícolas) y dentro del ensayo.....	44
Figura 14. Tasa de infiltración dentro y fuera del ensayo.	47
Figura 15. Producción de materia seca para todos los tratamientos. Año 2010.....	50
Figura 16. Producción de materia seca para todos los tratamientos. Año 2012.....	51

Figura 17. Contribución de la materia seca de cada especie en los tratamientos con las combinaciones de dos y de tres especies. Años 2010 y 2012.....	53
Figura 18. Digestibilidad <i>in vitro</i> para todos los tratamientos. Año 2010.....	54
Figura 19. Digestibilidad <i>in vitro</i> para todos los tratamientos. Año 2012.	55
Figura 20. Proteína para todos los tratamientos. Año 2010.	56
Figura 21. Proteína para todos los tratamientos. Año 2012.....	57
Figura 22. Fibra en Detergente Neutro para todos los tratamientos. Año 2010.....	58
Figura 23. Fibra Detergente Neutro para todos los tratamientos. Año 2012.....	59
Figura 24. Fibra en Detergente Ácido para todos los tratamientos. Año 2010.....	60
Figura 25. Fibra en Detergente Ácido para todos los tratamientos. Año 2012.....	60

EVALUACIÓN DE LA BIOMASA AÉREA Y SUBTERRÁNEA EN PASTURAS MEGATÉRMICAS CRECIENDO CON LIMITANTES EDÁFICAS EN LA REGIÓN PAMPEANA SEMIÁRIDA.

RESUMEN

En los sistemas extensivos de producción de carne de las regiones semiáridas, el complejo de factores edáficos y climáticos condiciona en alto grado el tipo de especies vegetales que pueden prosperar y el nivel de rendimiento que ellas manifiestan. La escasa estructuración de gran parte de los suelos de la Región Pampeana Semiárida hace que se presente como un recurso de alta fragilidad, debido principalmente a su gran susceptibilidad a la erosión tanto eólica como hídrica y a la presencia de tosca a poca profundidad. Es así que torna recomendable para los sistemas ganaderos extensivos la conformación de planteos de producción basados en pasturas perennes. Las gramíneas megatérmicas constituyen una importante alternativa para el mejor uso del recurso edáfico de la región del sudeste de la provincia de La Pampa. El objetivo del trabajo fue evaluar la producción y el valor nutritivo de la biomasa aérea y la producción de biomasa subterránea de tres especies forrajeras megatérmicas (*Eragrostis superba* cv Palar, *Panicum coloratum*, cv Verde y *Panicum virgatum* cv Alamo), en pasturas monofíticas o polifíticas diferidas, comparadas con un testigo, *Eragrostis curvula* cv Tanganica (pasto llorón), en el Departamento Guatraché (Pcia. de La Pampa). El pasto llorón es la especie C4 perenne más difundida en la región donde se realizó el ensayo. Se evaluaron variables edáficas (humedad, carbono orgánico, fósforo asimilable, pH, infiltración y estabilidad de agregados) y radicales (materia seca, abundancia y distribución de las raíces en el perfil del suelo). Se estimó el rendimiento de materia seca diferida de cada tratamiento. El valor nutritivo se determinó por medio de mediciones de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), proteína bruta (PB), fibra en detergente neutro (FDN) y fibra en detergente ácido (FDA). A partir de los resultados obtenidos en este estudio, se concluye que *Panicum virgatum* fue la especie con mejor distribución y mayor abundancia de raíces en el perfil del suelo, mientras que; *Eragrostis superba* fue la de peor distribución y menor abundancia. El resto de las especies o combinaciones de especies en estudio presentaron un comportamiento intermedio. Al cabo de cinco años de implantación las pasturas megatérmicas mejoraron la estabilidad de los agregados del suelo, y tendieron a mejorar la infiltración y carbono orgánico. La producción de biomasa aérea de las pasturas monofíticas fue similar, a la del pasto llorón mientras; que la de las pasturas polifíticas fue similar o superior. El forraje diferido de

todas las especies megatérmicas evaluadas fue de similar valor nutritivo al pasto llorón. No obstante, en general se observó una leve tendencia a valores de calidad nutritiva algo superiores a *Eragrostis superba* y *Panicum coloratum*. La elección de las especies que integren la pastura dependerá de los objetivos que se planteen, con priorización de la cantidad de forraje producido o de su valor nutritivo.

EVALUATION OF ABOVE- AND UNDERGROUND BIOMASS OF WARM-SEASON GRASSES GROWING IN EDAPHIC RESTRICTED SOILS OF THE SEMIARID PAMPEAN REGION.

ABSTRACT

The forage species that can thrive, and the yield level they can reach in the extensive meat production systems of semiarid regions are highly conditioned by the complex edaphic and climatic factors. The weak structure of great part of the soils of the semiarid Pampean Region makes them very fragile, due to their extreme susceptibility to wind and water erosion as well as to the presence of a sub-superficial limestone mantle. It is, therefore, recommended for extensive meat production farms, the establishment of perennial pastures based systems. The warm-season grasses are an important alternative for a better use of the soils of the southeast region of La Pampa province. The objective of the present work was to evaluate the production and nutritive value of above-ground biomass, and production of underground biomass of three warm season grasses (*Eragrostis superba* cv Palar, *Panicum coloratum* cv Verde and *Panicum virgatum* cv Alamo), in deferred mono- or polyphytic pastures, in comparative terms to a control, *Eragrostis curvula* cv Tanganica (Weeping lovegrass), in Guatraché Department, province of La Pampa. Weeping lovegrass is the most widespread perennial C₄ species in the region where the trial was performed. Edaphic (humidity, organic carbon, assimilable phosphorus, pH, infiltration and aggregate stability) and root variables (dry matter biomass, abundance and distribution of roots) were evaluated. The cuts of above-ground biomass were done in July 2010 and 2012, to perform quantitative and qualitative evaluations. The deferred dry matter yield of each treatment was estimated. The nutritive value was determined by measurements of *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD), crude protein (CP), neutral (NDF) and acid (ADF) detergent fibre. The results obtained in this study show that *Panicum virgatum* was the species with the best distribution and abundance of roots in the soil profile, and *Eragrostis superba* had the

worst values. The other species of combination of species show intermediate behavior. The production of roots biomass had a similar pattern to the roots distribution and abundance. After 5 years of warm-season grasses, the soil aggregates stability was improved, and there was a trend to higher infiltration and organic carbon. The aerial biomass production of the monophytic plots was similar, including Weeping lovegrass was above the others, and the production of the polyphytic plots was similar or higher. The deferred forage of all the evaluated warm-season grasses presented similar nutritive value than Weeping lovegrass. However, a slight trend to higher values was observed for *Eragrostis superba* and *Panicum coloratum*. The choice of species to conform the pasture will depend on the objective, considering the amount of forage produced or its nutritive value as a priority.

REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

La Provincia de La Pampa, situada en el centro geográfico del país, cuenta con una superficie de 143.440 Km², representativa del 6% del total del territorio nacional, limitando con las provincias de Mendoza, San Luís, Córdoba, Río Negro, y Buenos Aires. Las condiciones agroecológicas determinan un gradiente desde un Noreste subhúmedo a un Sudoeste árido que definen la organización territorial, la distribución de la población y la actividad económica de la Provincia en tres áreas:

1. La región pampeana (estepal), actualmente dedicada a los cultivos, ocupa el 17,6% del total provincial y se ubica en el sector Este y Noreste provincial.
2. La región del espinal (caldenal), con forma de cuña de orientación Noroeste - Sudeste y ocupada mayormente por vegetación natural, se ubica en el centro y cubre el 33,7% del total provincial.
3. La región del monte (jarillal), hacia el Oeste, cubriendo 48,6% de la superficie del territorio provincial, ocupada en su totalidad por vegetación natural. (Subsecretaría de planeamiento del Gobierno de La Pampa, 2003).

El Sudeste de la provincia de La Pampa tiene las características generales de las zonas semiáridas templadas. La fisonomía es una llanura extendida con pendientes suaves, y el ambiente natural es el ecotono entre la estepa y el caldenal. Los suelos por lo general son poco profundos y muy heterogéneos en su calidad composicional, presentando una larga historia de uso agrícola. En términos generales, la aptitud de los suelos del área ha sido definida como ganadero-agrícola, siempre en rotación. El sistema de producción actual es mixto, basado en una ganadería vacuna que se orienta desde la cría a invernada, según las zonas. El trigo (*Triticum aestivum (L)*) es el principal recurso agrícola del  rea. Durante la última década, la agricultura se expandió obedeciendo a factores económicos y climáticos. Esta situación, que en muchos casos significa el uso de los suelos por encima de su aptitud productiva y en detrimento de su potencial productivo, puede conducir a un grave deterioro de los suelos y sin duda constituye uno de los problemas prioritarios a enfrentar (Lorda *et al.*, 2012). Durante los últimos 60 años se usaron sistemas intensivos de labranza y como resultado de esto se produjo una moderada a severa degradación de los suelos debida a erosión hídrica y eólica. En los últimos años se ha producido una mayor agriculturización de la región, con caídas de materia orgánica y estabilidad estructural de los suelos, incrementándose la susceptibilidad a las compactación (Quiroga *et al.*, 1996b). Este fenómeno ha sido facilitado por un aumento en las precipitaciones, que permitieron

incorporar cultivos de cosecha a los sistemas productivos. Como consecuencia, se produjeron pérdidas netas de carbono orgánico y de nutrientes de los suelos (Quiroga *et al.*, 1996a, Bernardos *et al.*, 2001, Hevia *et al.*, 2003).

Por ser una región semiárida el factor que incide en mayor medida en la producción forrajera es frecuentemente la humedad edáfica disponible para los cultivos, que resulta del balance de lluvias y evapotranspiración. Salvo breves períodos en el otoño y en la primavera, este balance es negativo, es decir esto se traduce en deficiencia hídrica. En la práctica, la deficiencia invernal es de consecuencias más severas para la producción forrajera. A esta situación se le suma una deficiencia térmica, dado que las temperaturas medias en los meses invernales están por debajo del umbral requerido para el crecimiento óptimo de los cultivos, aún los de ciclo vegetativo invernal. En el período estival, normalmente libre de heladas, y con temperaturas más elevadas, la producción forrajera es de alto nivel, basada en la utilización de las especies llamadas de tipo C₄ o megatérmicas [sorgo (*Sorghum spp*), maíz (*Zea mays*), pasto llorón (*Eragrostis curvula*), mijo perenne (*Panicum coloratum*), etc.]. Parece razonable, por lo tanto, basar la producción forrajera regional en las pasturas estivales, utilizables no sólo en el período libre de heladas, sino también como pasturas diferidas o forraje conservado, durante el periodo invernal. Esto no significa que deben descartarse los cultivos invernales, que proveen un buen nivel cuantitativo y cualitativo de producción de forraje en otoño y primavera (Covas, 1982).

Sin embargo, los suelos de la Región Pampeana Semiárida se presentan como un recurso de alta fragilidad, debido principalmente a su gran susceptibilidad a la erosión tanto eólica como hídrica y presencia de tosca a poca profundidad. Es, por lo tanto, de suma importancia aumentar las superficies destinadas a recursos forrajeros perennes y disminuir los cultivos forrajeros anuales (Covas, 1989). De esta manera, se contribuye al mejoramiento de los parámetros físicos (estructura, porosidad, aireación, infiltración, agregados más estables) químicos y biológicos por el incremento de materia orgánica (Covas y Glave, 1988). Por lo tanto, las especies megatérmicas constituyen una importante alternativa para el mejor uso del recurso edáfico de la región del Sudeste Pampeano, en condiciones de deficiencias hídricas y en suelos con baja capacidad de acumular humedad. Más aún, la combinación de especies forrajeras megatérmicas diferentes, asociadas en pasturas bifíticas o polifíticas, podría permitir una mayor y mejor ocupación del perfil del suelo. Además, la capacidad de las raíces de las plantas de romper capas compactadas varía entre especies. Por lo tanto, la incorporación a la rotación de especies con sistemas

radicales vigorosos puede considerarse como una forma de “labranza biológica” (Jayawardance y Chan, 1994).

La gramínea perenne estival más conocida en la región es el pasto llorón. Esta especie, de elevada productividad y perennidad, tuvo un primer impacto fijando médanos y reincorporando al proceso productivo potreros altamente erosionados (Covas, 1974). El problema más importante que presenta el pasto llorón es que la calidad nutritiva del forraje decae notablemente a lo largo del ciclo de crecimiento. Sólo el primer rebrote puede ser considerado de buena calidad. A partir de allí, ésta decrece constantemente y no es un forraje apto para ser utilizado como diferido hacia el invierno. Numerosos trabajos han demostrado la baja calidad del forraje de pasto llorón (Marchi *et al.*, 1973; Vera *et al.*, 1973; Castro y Gallardo, 1984), siendo superado por otras gramíneas de crecimiento estival (Stritzler y Petruzzi, 2000).

A partir de la década del 80, y con el fin de superar las limitaciones que presenta el pasto llorón en la región pampeana semiárida, investigadores de INTA (EEA Anguil) y de la Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam) (Rabotnikof *et al.*, 1986; Stritzler *et al.*, 1996) comenzaron a evaluar otras especies C₄. Uno de los objetivos buscados fue cubrir la falta de forraje otoño – invernal con un forraje diferido en pie que no disminuyera su valor nutritivo en forma tan acentuada como lo hacían los distintos cultivares de pasto llorón. Entre las especies evaluadas, los resultados más promisorios se lograron con *Digitaria eriantha*, *Eragrostis superba*, *Panicum coloratum*, *Panicum virgatum*, *Tetrachne dregei* y *Tripsacum dactyloides*. Estas especies se adaptan, en términos generales, a todo tipo de suelos, aunque prosperan mejor en los suelos francos y franco-arenosos. Las precipitaciones anuales de 500 mm son suficientes para lograr un buen establecimiento y producción de forraje. A medida que aumenta el régimen pluvial, mayor es la producción anual de forraje, aunque el valor nutritivo del forraje no es generalmente afectado (Stritzler y Petruzzi, 2005; Stritzler, 2009).

Sin embargo, la extrapolación de información obtenida en un sitio hacia otro, conlleva riesgos. Las condiciones climáticas y edáficas pueden ser muy distintas, aún en zonas relativamente cercanas, invalidando cualquier intento de generalización. Con la excepción de unos pocos intentos, no se cuenta con información acerca de producción y calidad de especies forrajeras megatérmicas para el Sudeste Pampeano. Se hace necesario, entonces, generar información específica para esta zona, para su posterior transferencia a los productores de dicha región.

Dentro del amplio abanico de información necesaria para esta región, en referencia a las gramíneas forrajeras megatérmicas, la prioridad es la obtención de resultados relacionados con la cantidad de biomasa aérea y su valor nutritivo, cuando el forraje es diferido para su utilización en invierno. Esta época del año es crítica, porque no se cuenta con recursos forrajeros perennes, y la utilización de verdes invernales es económicamente poco viable, sobre todo si son utilizados por categorías de bajos requerimientos como las vacas de cría con preñez temprana a media (Ferri y Stritzler, 1996). Además, las especies anuales pueden desencadenar procesos erosivos intensos en suelos altamente susceptibles, como los de esta región. Por lo tanto, la búsqueda de especies y/o combinaciones de ellas que ofrezcan forraje de mejor calidad nutritiva y similar producción que el pasto llorón podrían dar solución a esta problemática.

Clima del Sudeste Pampeano

Las regiones semiáridas son ambientes de transición entre las húmedas y áridas. En términos generales presentan un gradiente continuo de precipitaciones al transitar desde su extremo lindante con el ambiente húmedo hasta el extremo fronterizo con el árido. En la provincia de La Pampa las lluvias decrecen en sentido noreste sudoeste (Figura 1; Casagrande *et al.*, 2006).

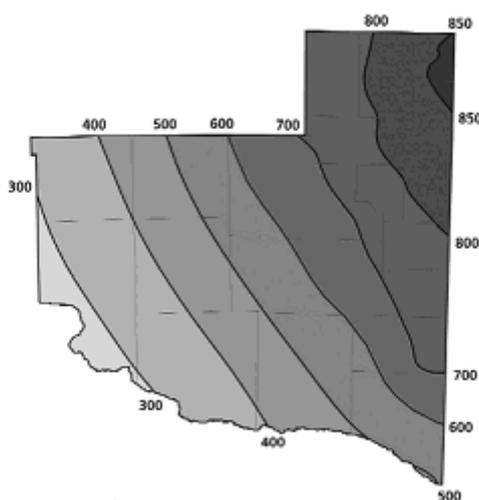


Figura 1. Precipitaciones medias anuales (1961/2000) de la Provincia de La Pampa (en mm) (Casagrande *et al.*, 2006).

En la región del Sudeste Pampeano la precipitación media anual (1921/2012) es de 641 mm. El régimen de precipitación tiene tendencia monzónica, ya que las mayores precipitaciones ocurren en los meses de verano, primavera y otoño. Los meses de menores lluvias en general se corresponden con el trimestre más frío (Figura 2). La distribución de las lluvias máximas y mínimas absolutas mensuales es altamente variable, si bien puede mencionarse que las máximas ocurren en los meses de verano y otoño y las mínimas en los meses de invierno (Galmarini, 1961). La variabilidad de las precipitaciones, tanto en los totales mensuales como en los anuales, es muy grande, siendo esto una característica de las regiones semiáridas. Por lo tanto, dichos promedios suelen ser una ligera expresión de la realidad, compuesta, de manera no previsible, por años húmedos y años secos (Veneciano y Federigi, 2005). Además, dada la baja capacidad de retención de agua de los suelos, el período de aprovechamiento de las lluvias para el crecimiento de los cultivos es muy corto.

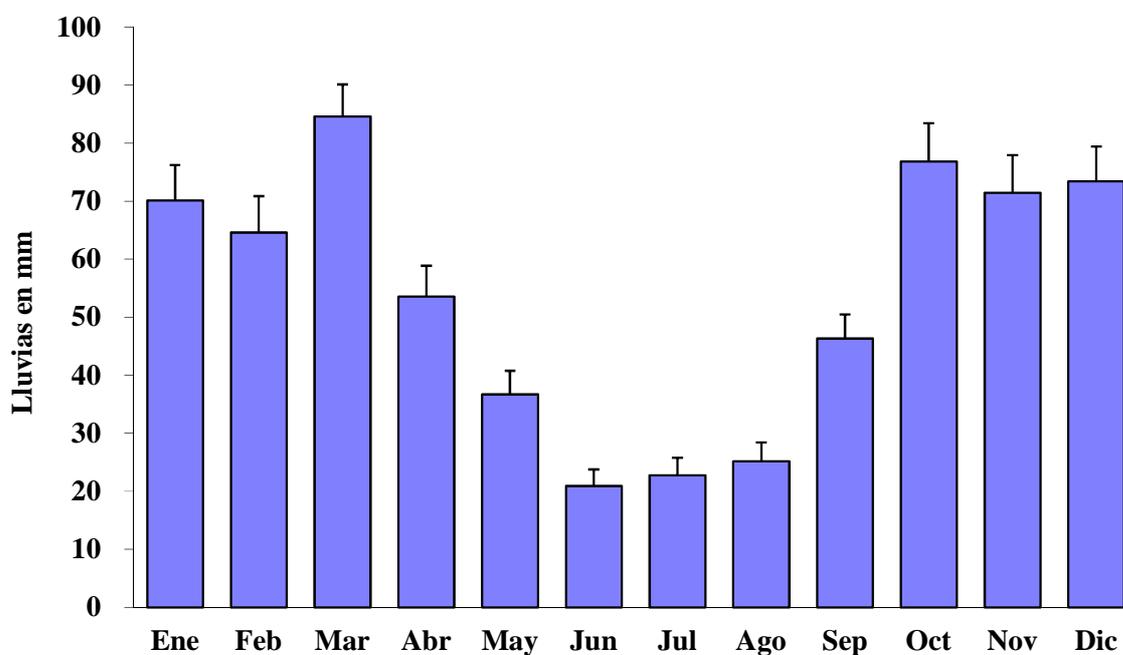


Figura 2. Serie histórica de las precipitaciones mensuales en el departamento Guatraché, Provincia de La Pampa, serie 1921 - 2012. Las barras indican el desvío estándar de la media.

La temperatura del aire registra fluctuaciones que definen distintas estaciones. Existen dos épocas bien diferenciadas: el verano, caracterizado por el valor medio del mes más cálido (enero) y el invierno por el valor medio del mes más frío (julio). La temperatura media del mes de enero es de 23,2 °C y la del mes de julio de 6,9 °C. Se han registrado temperaturas máximas absolutas de hasta 44,7 °C y mínimas absolutas de -12,8 °C. Hacia el Sur de la región comienzan a tener influencia los llamados “valles transversales”, orientados en la dirección este-oeste en forma de abanico, desde el caldenal pampeano hasta casi el límite con Buenos Aires (INTA *et al.*, 1980). Estas zonas bajas generan canalización del aire frío, por lo que en el extremo oeste de la región se pueden registrar valores absolutos de temperatura mínima, en invierno, por debajo de los -12,8 °C. El período libre de heladas es de de 160 -170 días, y se transforma en un factor restrictivo para la producción agrícola. Hacia el límite con Buenos Aires se nota la incidencia de aire marítimo como regulador de temperatura y este período aumenta a 180 días (INTA *et al.*, 1980). Los vientos predominantes son del norte-noreste y sur- suroeste. La velocidad media anual es de 11 km/h, con registros de mayor intensidad a la salida del invierno y comienzo de primavera, generando a menudo problemas de erosión eólica (Casagrande y Vergara, 1996).

El balance hídrico climático (1961/2010) presenta importantes deficiencias de agua sobre todo en el período estival y durante parte de la primavera. Esta situación es consecuencia de la elevada evapotranspiración potencial (ETP) en relación al agua aportada por la atmósfera (precipitaciones). En términos generales, en el otoño existe la posibilidad de reposición de agua en el suelo, lo cual explica el hecho que los cultivos de siembra invernal (trigo, verdes) tengan un comportamiento agronómico aceptable cuando se siembran en suelos barbechados (Caviglia *et al.*, 2010). A modo de síntesis se muestran algunas características climáticas del oeste de la provincia de Buenos Aires que tienen similitudes con el Sudeste Pampeano (Tabla 1).

Tabla 1. Algunas características climáticas de la región (EEA Bordenave, INTA serie 1962 al 2012).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T. Máxima abs. (°C)	37	36	34	30	26	21	22	26	28	31	34	36
T. Máxima med. (°C)	30	29	27	23	18	15	14	17	20	23	26	29
T. Media (°C)	23	21	19	15	11	7	7	9	11	15	18	21
T. Mínima med. (°C)	13	12	10	6	2	-1	-2	-1	2	6	8	12
T. Mínima abs. (°C)	7	6	4	-0,5	-3	-5	-6	-5	-3	0,1	2	5
N° de heladas en casilla	0	0	0	2	5	10	12	9	5	1	0	0
N° de heladas sobre el suelo	0	0	1	4	10	16	17	15	9	5	2	0
ETP (mm)	132	102	84	51	30	15	16	25	38	61	90	124
Vel. Viento (km/h)	9	9	8	8	7	7	8	8	8	8	8	9
Período libre de heladas	169											

Suelo del Sudeste Pampeano

Los suelos de la región del Sudeste Pampeano presentan escasa diferenciación de horizontes y leve estructuración, predominando las texturas gruesas que varían entre franca y franco arenoso. Sus limitaciones más importantes se relacionan con las características climáticas de semiaridez, y con características propias como baja capacidad de retención de humedad, drenaje algo excesivo, mediana a baja fertilidad, escasa profundidad, susceptibilidad a la compactación y a la erosión. El material originario de estos suelos está constituido por sedimentos eólicos recientes de textura arenosa fina, vinculados a los depósitos de los cordones medanosos de los valles (INTA *et al.*, 1980). La región del Sudeste Pampeano corresponde a la región fisiográfica oriental, subregión de mesetas y valles. Los suelos predominantes son una asociación pertenecientes al orden de los Molisoles (Haplustoles Enticos y Calciustoles Petrocálcicos, y Calciustoles Típicos). Todos estos suelos presentan abundante calcáreo en la masa prácticamente desde la superficie. La capa de tosca aparece a profundidades variables entre 30 a 150 cm (INTA *et al.*, 1980). La secuencia de horizontes en los Haplustoles Enticos es: A – AC ca – Cca – 2 Ckm. Si bien la mayoría presenta carbonato en la masa y concreciones calcáreas desde la superficie, algunos perfiles pueden no tenerlo. Próximos a lagunas se encuentran suelos moderados a fuertemente salinos y con alto contenido en calcáreo.

La pérdida de productividad de los suelos que presentan capas compactadas guarda relación, entre otros aspectos, con incrementos en la densidad aparente y pérdida de macroporosidad. La compactación del suelo genera dificultad para el ingreso y movimiento del agua e incrementa el escurrimiento y las pérdidas de suelo por erosión, causando una

disminución en la disponibilidad de agua y nutrientes (Quiroga *et al.*, 1990). Estas condiciones, que pueden producirse naturalmente, constituyen un problema más relevante cuando se intensifica la agricultura y ciertas prácticas de labranza. En la región del Sudeste Pampeano existen características edáficas (alta proporción de limos y arenas muy finas, bajos contenidos de arcilla y materia orgánica) y de manejo (agricultura continua y sobrepastoreo de rastrojos y pasturas) que favorecerían la compactación de los suelos (Quiroga *et al.*, 1990). El desarrollo de impedancias mecánicas es, probablemente, el más frecuente de los problemas físicos que afectan, tanto el establecimiento de un cultivo por problemas de emergencia de plántulas, como su desarrollo posterior, a través del crecimiento de las raíces.

El grado de limitación que ocasionan las impedancias mecánicas a los cultivos depende de factores propios del suelo y de la planta misma (Taboada *et al.*, 2008). El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre el balance de agua (entradas y salidas del sistema), el funcionamiento hídrico (relaciones agua - planta), la entrada y difusión de gases y de calor, y el desarrollo y crecimiento de las raíces (Gil, 2007). La capacidad de las raíces para sobreponerse a la resistencia mecánica del suelo varía según la especie, y puede estar determinada por características tales como el diámetro o la anatomía de las raíces (Álvarez y Taboada, 2008). La presencia de raíces engrosadas en un perfil indica que se trata de un suelo compactado, donde se han perdido los poros con diámetro igual o más grande que las raíces. Cuando las raíces logran vencer la resistencia mecánica del suelo, aumenta el perfil explorado para la extracción de agua y nutrientes. Esta es la estrategia de algunas especies que no poseen un mecanismo particular de resistencias a la sequía, pero son capaces de utilizar el agua almacenada en el suelo en profundidad por medio de un sistema de raíces vigoroso (Fagioli, 1972 a, b). Es esperable que los cultivos con mayor desarrollo radical toleren mejor períodos de sequía por tener acceso a capas de suelo con mayor humedad (Chaves *et al.*, 2002). En un trabajo realizado por Fagioli (1980) sobre un cultivo de pasto llorón (11 años) establecido en un suelo Ustipsament Típico se encontró el 48 % del peso total de las raíces en los primeros 25 cm de suelo, aunque se observó penetración de raíces hasta una profundidad de 375 cm. La inclusión en las rotaciones de cultivos capaces de sobreponerse a la compactación del suelo puede contribuir a la recuperación de los mismos sin la necesidad de recurrir al uso de implementos mecánicos (Sasal, 2005).

El proceso de entrada de agua al suelo y su velocidad o tasa depende de la existencia de poros estructurales estables no tortuosos y orientados verticalmente en la superficie del suelo (Álvarez y Taboada, 2008). En regiones semiáridas existe especial preocupación por las restricciones que el sistema poroso ejerce en la captación del agua pluvial, condicionando con bastante frecuencia una baja eficiencia de su uso. La eficiencia en los procesos de ingreso del agua al suelo (infiltración) y movimiento entre los horizontes del perfil (conductividad hidráulica) es fuertemente condicionada por el manejo, en mayor grado en Molisoles que en Entisoles de la Región Pampeana Semiárida.

La materia orgánica del suelo es uno de los determinantes importantes de la estabilidad de los agregados, lo cual no sólo favorece la velocidad de infiltración del agua de lluvia sino también está asociada a un incremento de la resistencia a la erosión (Wischmeir y Smith, 1978). Además, cuando se incrementa el nivel de materia orgánica también aumenta la resistencia a la compactación del suelo. Esto es el resultado de la mejora de la estructura y de la dilución volumétrica de las partículas minerales (Soane, 1990). Otra propiedad física del suelo afectada por la materia orgánica es la capacidad de retención de agua útil. Los componentes orgánicos humificados retienen mucha más agua útil que la fracción mineral. Este efecto es importante en los horizontes superficiales, donde hay más materia orgánica. En contraposición, cuando se considera el suelo hasta la profundidad de enraizamiento, el impacto de la materia orgánica sobre la capacidad de almacenamiento de agua útil es mucho menor (Orellana y Pilati, 1994; Urricariet y Lavado, 1999).

En los suelos cultivados sometidos a rotaciones el contenido de carbono orgánico tiende a ser mayor en la fase pastoril que en la fase agrícola (Orellana y Pilati, 1994; Urricariet y Lavado, 1999), pero en ambas fases es menor que en el mismo suelo no cultivado (Álvarez y Steinbach, 2006). La erosión de suelos cultivados es una de las causas de pérdida de carbono orgánico (Andriulo y Cordone, 1998). En la Región Pampeana se ha estimado un adelgazamiento medio del horizonte superficial, el más rico en materia orgánica, de varios centímetros (3-5) producto del uso agrícola (Michelena *et al.*, 1988). Sin embargo, la integración y ordenamiento de datos de diversos trabajos indican que la erosión, por sí sola, no explica toda la disminución del carbono de los suelos, y sugiere como otra causal el balance negativo de carbono bajo la fase agrícola de las rotaciones (Álvarez *et al.*, 1995, 1998). Esto último sucede primariamente cuando se utiliza labranza convencional, ya que bajo el sistema de siembra directa la pérdida de carbono orgánico es

muy inferior. Según Bono *et al.*, (2008), este resultado es consecuencia, principalmente, de diferencias en la entrada de carbono al suelo entre los dos sistemas de labranza (labranza convencional y siembra directa) y no a cambios importantes en la emisión de dióxido de carbono. Estos autores observaron que bajo los dos sistemas de labranza se emitieron a la atmósfera algo más de 4 tn C/ha año, pero las entradas de carbono fueron un 30 % mayores bajo siembra directa en comparación con labranza convencional. Esta diferencia determinó los cambios en el balance de carbono. Durante el período de la experiencia (3 años), el suelo labrado perdió 1,5 tn C/ha año, mientras que bajo siembra directa este deterioro no se produjo.

Algunas de las especies C₄ tienen un alto potencial de secuestro de carbono en el perfil del suelo, debido a que poseen un sistema radical grueso y extensivo (Vogel, 2004). A pesar que la biomasa radical representa sólo parte del carbono orgánico del suelo, varios estudios han demostrado que la biomasa de las raíces de pasturas perennes constituye un buen indicador de la acumulación de carbono orgánico en el suelo (Garten y Wullschlegler, 2000; Ma *et al.*, 2000b; Zan *et al.*, 2001; Frank *et al.*, 2004).

Especies megatérmicas

En los sistemas extensivos de producción, el complejo de factores edáficos y climáticos (ambiente abiótico) condiciona en alto grado el tipo de especies vegetales que pueden prosperar y el nivel de rendimientos que ellas manifiestan. La escasa estructuración de gran parte de los suelos de La Pampa y, consecuentemente, su tendencia a sufrir procesos erosivos, torna recomendable para los sistemas ganaderos extensivos la conformación de planteos de producción basados en pasturas perennes. Las gramíneas estivales o megatérmicas prosperan y producen en ambientes cálidos, secos y a menudo en suelos pobres, con sequías frecuentes y severas. Entre las características más importantes de las gramíneas estivales (C₄) respecto de las especies templadas (C₃) se señalan (Deregibus y Kropfl, 1982; Hernández, 1985; Ayerza, 1989; Renolfi, 1989):

a) Hábito de crecimiento vigoroso y tendencia a encañar rápidamente, lo que determina una marcada disminución de su calidad nutritiva.

b) Temperatura óptima de crecimiento entre 30 - 35°C. La estación de crecimiento se inicia a la salida del invierno con el incremento de la temperatura que, en la región, se verifica a partir de mediados de agosto. No obstante, el rebrote es de escasa importancia (rebrote térmico), y si no está acompañado de disponibilidad de agua y ausencia de heladas

se detiene y/o muere. El crecimiento efectivo se inicia con las primeras lluvias importantes de la primavera.

c) Elevado ritmo fotosintético (50 - 70 mg dióxido carbono por dm^2 h), que duplica prácticamente al de las especies templadas. La absorción de dióxido de carbono se incrementa a medida que la intensidad lumínica aumenta, sin llegar a saturarse aún a pleno sol. Esta mayor tasa de fijación de dióxido de carbono a igual base de área foliar determina para las especies C_4 , respecto de las C_3 , una mayor productividad potencial en términos de peso de carbono asimilado en los tejidos vegetales (Melo y Boetto, 1993).

d) Resistencia a la sequía y alta eficiencia en el uso del agua. La eficiencia de uso del agua (gramos de agua transpirada por gramo de materia seca generada) es de alrededor de 300 gr/gr para especies C_4 y de más de 600 gr/gr en las C_3 (Veneciano, 2006).

e) Alta eficiencia en la utilización del nitrógeno. Las plantas C_4 usan el nitrógeno para acumulación de materia seca con, al menos, el doble de eficiencia que las plantas C_3 a diferentes niveles de disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Veneciano, 2006). Dicha característica es indicadora de su capacidad para sobrevivir en condiciones de baja disponibilidad edáfica de nitrógeno. Con igual disponibilidad de nitrógeno en el suelo, una planta C_4 puede duplicar las tasas de crecimiento de una C_3 , captando doble cantidad de energía y sintetizándola como materia seca (Deinum, 1984).

f) Las gramíneas estivales tienen mayor contenido de fibra, y más lignificada, que las especies templadas, por su mayor proporción de tejido vascular (Veneciano, 2006). A nivel de lámina foliar las gramíneas C_4 presentan una mayor densidad de haces fibrovasculares, rodeados por una vaina parenquimática con células de paredes engrosadas. Como consecuencia, la proporción de mesófilo es menor en las gramíneas C_4 que en las C_3 . Sumado a esto, la relación tallo: hoja es mayor en las primeras que en las últimas. De allí, que las ventajas agronómicas de las gramíneas C_4 (mayor productividad y eficiencia en la captación energética y el uso de agua y nitrógeno) no se manifiesten en la misma proporción en la producción animal obtenible: la materia seca de las gramíneas estivales es menos y más lentamente digestible que la de las especies templadas (Veneciano, 2006). La alta resistencia a la degradación asociada a la anatomía foliar especializada de las gramíneas estivales explica en buena medida el mayor tiempo de retención ruminal (menor velocidad de digestión) de estos forrajes y el consecuente menor consumo voluntario.

Principales especies Megatérmicas para la Región Pampeana Semiárida

Eragrostis curvula (pasto llorón)

El pasto llorón es originario del sudeste de África, y perteneciente a la Tribu Eragrostideae. Es una especie notablemente variable, pero sus numerosísimas variantes tienen en común una serie de características. Las plantas forman matas netamente perennes y vigorosas, con alta densidad de macollas, que llegan a medir más de 50 cm de diámetro basal. Las cañas floríferas alcanzan una altura de 60 a 180 cm, según los cultivares y la fertilidad del suelo. La raíz forma una cabellera muy ramificada, cuya longitud puede sobrepasar los 500 cm de profundidad. Se extiende también muy ampliamente en sentido horizontal, con ramificaciones subsuperficiales que permiten la captación de lluvias ligeras.

Las hojas basales tienen vainas de color púrpuro y son pilosas, en tanto que las hojas superiores son glabras. Las láminas son largas y angostas (30 a 80 cm de longitud y 3 a 8 mm de ancho), planas o convolutadas, glabras o parcialmente pilosas y en general colgantes, lo que da el nombre vulgar a este pasto (llorón). La lígula está formada por una franja de pelos densamente dispuestos, de alrededor de 0,5 mm de longitud. Las cañas floríferas son macizas, de 2 a 4 mm de diámetro (sobre el último nudo), y poseen nudos prominentes de color verde o púrpuro. Las cañas floríferas llevan una panoja terminal de 15 a 50 cm de longitud. Las panojas pueden ser amplias y laxas o estrechas y compactas. Las espiguillas están dispuestas apretadamente contra las ramas de las panojas, y por lo general portan entre 5 y 10 antecios.

Los granos (semillas) son desnudos (sin recubrimiento de glumelas), tienen forma ovoide, miden de 0,8 a 1,7 mm de longitud y son de color castaño, rojizo o vinoso. En la base se encuentra el embrión, cuya expresión externa es el “escudete”, que tiene forma elíptica y llega hasta aproximadamente la mitad de la longitud del grano. Cuando el embrión es viable el escudete es de color azul violáceo; mientras que cuando es inviable adquiere el mismo color que el resto del grano. Dependiendo del cultivar, un kilogramo de semillas contiene entre 3 y 6,5 millones de unidades.

Las plantas son extremadamente variables en morfología, lo cual condujo a las siguientes divisiones taxonómicas adicionales (variedades); **Curvula**: se caracteriza por su mayor producción de forraje y resistencia al frío, entre los cultivares se encuentran Tanganyka, Morpa, Ermelo y Don Arturo; **Conferta**: presenta reproducción sexual, y en el caso del cultivar Don Walter adecuada tolerancia a sequías y heladas; **Robusta**: es la de

mayor adaptación a suelos de texturas pesadas, presenta la mejor calidad y un mayor rebrote otoñal, de esta variedad se lograron los cultivares Don Eduardo, Don Carlos y Don Pablo; **Chloromelas**: de porte bajo, de esta variedad se obtuvo el cultivar Don Juan, conocido como “llorón azul enano”, apetecible por ovinos. Aún sin clasificar está el cultivar Agpal introducido desde Sudáfrica, con una mayor resistencia a heladas y rebrote temprano.

El pasto llorón es la gramínea forrajera megatérmica más evaluada y cultivada en la región templada semiárida de Argentina. Esta difundida en las provincias de La Pampa, San Luis, Buenos Aires (SO) y Córdoba (SO). Muy utilizada en suelos susceptibles a erosión eólica. En la década del '50 se introdujo para fijar médanos en la región semiárida. Se adapta a suelos de textura arenosa a franco arenosa. Tiene requerimientos medios de fertilidad. Crece en un rango de pH de 7,0 a 8,5 y tolera moderados niveles de salinidad. Las raíces horizontales pueden expandirse por lo menos hasta un metro de radio, contribuyen a la exploración más completa del suelo, y favorecen la competencia por recursos evitando el establecimiento de otras plantas. Esta especie no soporta suelos pobremente drenados o inundables. Tiene una alta tolerancia a la sequía y se adapta a un régimen hídrico de 350-800 mm/año. La temperatura óptima de crecimiento está comprendida entre 17° y 32 °C. Es muy resistente a temperaturas bajas (los cultivares más resistentes soportan entre -15° y -20°C) y al fuego. El rebrote comienza al inicio de la primavera.

El problema más importante que presenta el pasto llorón es que la calidad nutritiva del forraje decae notablemente a lo largo del ciclo de crecimiento. Sólo el primer rebrote puede ser considerado de buena calidad. A partir de allí, ésta decrece constantemente, y no es un forraje apto para ser utilizado como diferido hacia el invierno. Numerosos trabajos han demostrado la baja calidad del forraje de pasto llorón diferido (Marchi *et al.*, 1973; Vera *et al.*, 1973; Castro y Gallardo, 1984), siendo superado por otras gramíneas de crecimiento estival (Stritzler y Petruzzi, 2000). Sin embargo, para corregir los problemas de baja calidad nutricional se recomienda la asociación de pasto llorón con leguminosas como vicia dasycarpa (*Vicia dasycarpa*) o trébol de olor blanco (*Melilotus alba*) o amarillo (*Melilotus officinalis*). Estas especies, si bien no son perennes se resiembran espontáneamente con facilidad, contribuyendo así a incrementar la fertilidad del suelo (aportando nitrógeno) y la calidad de la pastura (Covas y Carnie, 1985).

Panicum virgatum L. (pasto varilla, “Switchgrass”)

Es una gramínea perenne rizomatosa perteneciente a la Tribu *Paniceae*. Las plantas desarrollan coronas de 9 – 12 cm de diámetro, siendo la altura modal del follaje de 90 - 95 cm y de las cañas florales de 110 - 125 cm. Las láminas, glabras y planas, miden 30 - 40 cm de largo (hasta 60 cm en ejemplares adultos) y 13 - 14 mm de ancho en su tercio proximal. Poseen lígula pilosa, con pelos desiguales de 2 - 5 mm de longitud. Los nudos de los tallos son glabros, de color blanco purpúreo. La inflorescencia es en panoja laxa ramificada, en número de 40 - 50 por planta. Las espiguillas son bifloras, comprimidas dorsiventralmente y pediceladas. El antecio apical presenta una flor hermafrodita, y el basal una flor masculina o sin flor. Los antecios poseen dos glumas, con nervios muy visibles, herbáceas y con manchas violáceas. El cariopse es elipsoide, con escudete embrional ancho e hilo sub basal pequeño, y mide 3 - 6 mm de largo y 1,5 mm de ancho (Veneciano *et al.*, 1994).

La especie es nativa de América del Norte (difundida desde Québec hasta México), y llega a extenderse incluso a América Central (Whyte *et al.*, 1971). Esta adaptada a climas templados o subtropicales con lluvias de verano, y suelos bien drenados (Launchbaugh, 1970). Está conceptualizada como especie decreciente, de buen valor forrajero y muy palatable, aunque diferida pierde calidad. Los cultivares más difundidos son: Álamo (con germoplasma proveniente de Texas), Blackwell (Kansas), Kanlow (Oklahoma), Dacotah (North Dakota), Forestburg (South Dakota), Cave-in-rock (Illinois) y Nebraska 28 (Nebraska) (Veneciano 2006). De establecimiento lento, se ve afectado en los primeros estadios de crecimiento por las malezas (particularmente gramíneas anuales). Esta especie tolera una amplia variedad de condiciones de crecimiento, desde sitios áridos en praderas de pastos bajos hasta sitios húmedos de pantanos y bosques abiertos. Existen dos formas morfológicas y genéticas distintas generadas en su lugar de origen; una más abundante en la porción sur del área de distribución con clima más húmedo, y otra más abundante en la parte norte del área de distribución con clima más seco (Sanderson *et al.*, 1996; Hultquist *et al.*, 1997; Casler *et al.*, 2004).

Es considerada una de las especies con mayor capacidad para el secuestro de carbono (reducción del dióxido de carbono atmosférico). Se cultiva sola o acompañada de *Andropogon gerardii* Vitman (big bluestem), para pastoreo directo o henificación; en el primer caso se recomienda la implementación de sistemas de pastoreo rotativos alternando cada año la parcela de inicio de pastoreo (Mitchell *et al.*, 1996). El pastoreo debe iniciarse

antes del desarrollo de los tallos florales, cuando la calidad nutritiva y la palatabilidad del forraje son altas. Es aconsejable asimismo dejar un remanente de 15 a 20 cm a la finalización de la estación de crecimiento y, como regla general, después de cada período de uso. La defoliación severa de las gramíneas perennes estivales después de marzo resulta en rebrote primaveral pobre, reducción del vigor de la mata, eventual pérdida de plantas y, en consecuencia, mayor ocupación del suelo por parte de las malezas. Para henificación, el cultivo se cosecha antes de la emergencia de las inflorescencias, buscando optimizar la calidad del heno y la condición del rebrote posterior. Si el heno está destinado a animales de reducidos requerimientos, en cambio, el corte puede demorarse hasta la aparición de las inflorescencias, perdiendo calidad aunque maximizando el rendimiento de materia seca. Al igual que en *Sorghastrum nutans* (L.) Nash, en esta especie los entrenudos se alargan estando las plantas aún en su fase vegetativa, y los vástagos alargados permanecen erectos. Los puntos de crecimiento apicales y muchas de las yemas axilares quedan muy por encima de la superficie del suelo y por lo tanto expuestas a ser eliminados con el corte (mecánico o pastoreo). Como resultado de esto no pueden producirse nuevas hojas ni yemas en los puntos vegetativos, ni pueden surgir nuevos vástagos o raíces nodales de las yemas axilares superiores. Las plantas que tienen este hábito de crecimiento (“hierbas altas”) no toleran la defoliación frecuente y desaparecen rápidamente con pastoreo intenso. Son, sin embargo, buenas competidoras por luz y producen altos rendimientos de forraje, resultando de valor para la henificación u otras formas de conservación, aplicando cortes moderados (Whyte *et al.*, 1971).

En la provincia de La Pampa, el primer cultivo de *P. virgatum* se sembró en el verano de 1994 en la Facultad de Agronomía (UNLPam) con semilla del cultivar Álamo, alcanzando valores de más 10 tn MS/ha/año (Rabotnikof y Stritzler, 2006). Recientemente, se han establecido lotes experimentales para determinar su adaptabilidad en diversas áreas de esta provincia y también en Villa Mercedes (San Luís). Si bien se están evaluando varios cultivares, el de mejor comportamiento en la Región Pampeana Semiárida, es el cultivar Álamo. Su forraje es de muy buena calidad nutritiva durante el ciclo de crecimiento, alcanzando valores de 68,3% de digestibilidad (DIVMS) y 11,2% de proteína bruta (PB) (Stritzler y Petruzzi, 2005). No obstante, diferido para utilizarlo en el invierno presenta baja calidad nutritiva, al punto que no podría sostener niveles de mantenimiento en vacas de cría (Stritzler y Petruzzi, 2005).

***Panicum coloratum* L.** (mijo perenne, kleingrass)

El mijo perenne es una gramínea perteneciente a la Tribu *Panicaceae*. Su rebrote comienza a fines del invierno, adquiriendo relevancia promediando la primavera, sin ser afectado en forma importante por heladas tardías. Las plantas conforman matas que en su primera estación de crecimiento pueden alcanzar 90 cm o más de altura. Poseen láminas planas, glabras, de 15 - 30 cm de longitud por 6 - 10 mm de ancho. La lígula es pestañosa y mide 0,5 - 1,0 mm de longitud. La floración ocurre a fines de la primavera y la diseminación de los frutos al comienzo del verano. Las cañas florales alcanzan los 60 - 100 cm de altura, presentan 1-3 inflorescencias, y suman 50 o más por planta. Las inflorescencias se presentan en panojas laxas, generalmente muy ramificadas. Las espiguillas son bifloras, comprimidas dorsiventralmente u ovales y pediceladas. El antecio apical presenta una flor hermafrodita, y el basal una flor masculina o sin flor. Los antecios poseen dos glumas, con nervios muy visibles, herbáceas, agudas y muy desiguales. El cariopse es elipsoide, con escudete embrional ancho e hilo sub-basal pequeño (Veneciano *et al.*, 1994).

Panicum coloratum es una especie nativa del África oriental, adaptada a zonas templado cálidas a tropicales, – y regímenes de lluvias de 700 a 1.250 mm anuales (Whyte *et al.*, 1971). Se la define como resistente a la sequía (prospera bien con 400-500 mm de lluvia en la época estival) y a heladas (de León, 1991). Este último aspecto es particularmente marcado en el cultivar Verde, obtenido en 1982 en los EE.UU. a partir de germoplasma sudafricano. En la región pampeana semiárida de nuestro país las plantas de dicho cultivar habitualmente conservan algunas hojas verdes durante gran parte del invierno, y no ha registrado mortandad con heladas de hasta -18°C (Petruzzi *et al.*, 2003). Estas propiedades, sumadas a un alto potencial de producción y buena calidad forrajera incluso como cultivo diferido, le confieren posibilidades de amplia distribución en ambientes semiáridos. Su forraje es altamente apetecido por el ganado, tanto en pastoreo directo como henificado (Pratt *et al.*, 1990). Otros cultivares son el Selection 75, obtenido en los EE.UU en 1969 y el cultivar Bambatsii, de origen australiano. Este último, es de coloración azulada o grisácea y de porte más alto y menor foliosidad que el cultivar Verde. Asimismo, su resistencia a heladas es considerablemente inferior a la del Verde, por lo que su difusión ha cobrado más importancia en el norte de nuestro país (N de Córdoba).

El alto potencial productivo y la buena calidad forrajera, (Conrad, 1972), incluso como cultivo diferido, le confieren posibilidades de amplia distribución en los ambientes

semiáridos de nuestro país (Stritzler *et al.*, 1996). Si bien en la región no existe información relacionada con la utilización de mijo perenne para la confección de reservas, algunas experiencias resultan promisorias. El valor nutritivo de los rollos de esta especie hechos en primavera-verano es relativamente alto, y también los de cola de máquina (en marzo, después de cosechar semilla) han mostrado valores interesantes de calidad (Petruzzi *et al.*, 2003). En San Luis los primeros lotes establecidos con mijo perenne datan de la primavera de 1997, estimándose que la superficie cultivada actual es de alrededor de 10.000 ha. En La Pampa se ha establecido con éxito en una amplia diversidad de suelos, y en lugares como Chacharramendi (zona centro occidental de la provincia de La Pampa) que por características edáficas e hidrológicas podría considerarse no apta para este cultivo (Petruzzi *et al.*, 2003).

Eragrostis superba (pasto garrapata, wilman lovegrass)

Es una gramínea perteneciente a la Tribu Eragrostidae. Su rebrote comienza a fines de invierno. La floración se produce a mediados de la primavera y la diseminación de frutos hacia el final de la misma. No obstante ello, la emisión y posterior diferenciación de nuevos macollas se prolonga hasta el final de la estación de crecimiento. Forma matas erectas de color verde claro, las cuales desarrollan una corona de alrededor de 18 cm. El follaje puede alcanzar los 50 cm y las cañas florales superar el metro de altura. Las láminas y las vainas son glabras, midiendo las primeras 20-38 cm de largo y 5-9 mm de ancho. La lígula es pestañosa, presentando abundante pilosidad en sus márgenes. Las cañas son macizas, con pocos genículos basales y nudos y entrenudos glabros. La inflorescencia es una panoja amplia con abundantes ramificaciones, frecuentemente de más de 30 cm de longitud. El número de inflorescencias por planta puede variar de 10 a más de 40. Las espiguillas son amplias y muy aplanadas, generalmente de 6 - 16 x 3 - 10 mm, totalmente caedizas con sus glumas cuando maduras. El número de espiguillas por inflorescencia oscila desde 30 a alrededor de 100, conteniendo cada una de ellas de 6 a 30 flores hermafroditas. Las glumas miden aproximadamente 2 - 4 mm de largo, son membranosas, y poseen un nervio de color verde (Veneciano *et al.*, 1994).

La especie es nativa del sudeste de África, y se la ha introducido en India, Australia y los EE.UU. (Hoare, 2004). El cultivar Palar fue obtenido en EE.UU. a partir de germoplasma originario de Sudáfrica. La especie prospera bien en regiones donde las lluvias totalizan 500 - 875 mm/año), siendo tolerante a la sequía. Desarrolla mejor en

sitios bien drenados, no tolerando el anegamiento. Prospera en suelos arcillosos o arenosos e incluso rocosos. Se la encuentra con frecuencia en sitios disturbados, en alturas no mayores a 2000 msnm. Tiene alta tolerancia a salinidad y alcalinidad, y en ocasiones se siembra conjuntamente con pasto salinas (*Cenchrus ciliaris* L.). Humphrey (1960) (citado por Hoare, 2004) señala su susceptibilidad a heladas inferiores a -11°C. Sin embargo, en Villa Mercedes (San Luís), con un valor extremo de -17°C a 5 cm sobre el nivel del suelo, la mortandad registrada no superó el 20 % (Veneciano, 1999b). El cultivo semilla abundantemente y se resiembra bien. La semilla de pasto garrapata es de menor tamaño que la de mijo perenne, pero el contenido de almidón es similar. En cuanto a la germinación, es más rápida y produce más hojas y raíces adventicias que mijo perenne. Su forraje es muy digestible (69%, 65% y 66% de DIVMS en primavera, verano y otoño, respectivamente). Aún en invierno la digestibilidad es suficiente para mantener la condición corporal de vacas de cría (Stritzler y Petruzzi, 2005).

Mezclas o complementariedad de especies

En zonas semiáridas las megatérmicas deberían ser el recurso forrajero base de los sistemas de producción o complemento de los pastizales naturales. El pasto llorón es la especie de referencia por conocimiento y difusión, pero debería ser complementada con otras que superen los aspectos limitantes que presenta, en cuanto a la calidad de forraje. Ante eventos climáticos adversos (sequías o registros térmicos extremos), las especies megatermicas evidencian importantes diferencias en su comportamiento de producción de materia seca y calidad nutritiva del forraje. Veneciano *et al.* (2012) reportaron que en la primavera de 2003, inusualmente seca en la provincia de San Luís, el rebrote de pasto llorón sólo se inició en el mes de enero de ese ciclo productivo, coincidiendo con las primeras lluvias. En cambio otras especies (*Digitaria eriantha*) respondieron de mejor modo frente a la sequía, posiblemente debido en parte a atributos particulares de cada especie, y en parte al manejo previo a que fueron sometidas (moderada o nula defoliación en la estación de crecimiento) (Veneciano *et al.*, 2012). Asimismo, la situación de costos y márgenes de la actividad ganadera frente al avance de la agricultura pone de manifiesto la necesidad de aumentar la eficiencia de producción en los sistemas.

Experiencias exploratorias con pasturas compuestas para ambientes semiáridos realizadas en la Provincia de San Luís, permiten tener una información previa de los posibles resultados esperados en este estudio. En un suelo arenoso, profundo y de baja

fertilidad (Ustipsament Típico) se realizaron dos ensayos. En uno de ellos se comparó la productividad y la calidad forrajera de dos pasturas polifíticas megatérmicas entre sí, una mezcla de (*Panicum virgatum*, *Sorghastrum nutans*, *Schizachyrium scoparium* y *Bothriochloa ischaemum*) y la otra integrada por (*Digitaria eriantha*, *Tetrachne dregrei*, *Bouteloua gracilis* y *Bothriochloa bladhii*) y respecto de un testigo (pastura monofítica de pasto llorón en todos los casos con fertilización nitrogenada). Algunos de los resultados fueron los siguientes: una marcada asociación entre rendimientos de materia seca y nivel de lluvias de la estación de crecimiento. Con relación al aporte de cada especie al rendimiento de las pasturas compuestas hubo un predominio inicial de *Panicum virgatum* y *Digitaria eriantha*. Los valores de digestibilidad y proteína bruta no se diferenciaron entre las dos pasturas compuestas, pero sí tuvieron valores algo mayores con respecto al testigo (*Eragrostis curvula*). En el otro ensayo se evaluó productividad y calidad del diferido de dos pasturas compuestas fertilizadas (1. *Digitaria eriantha*, *Tetrachne dregrei*, *Bouteloua gracilis* y *Bothriochloa bladhii* 2. *Digitaria eriantha*, *Panicum coloratum*, *Poa ligularis* y *Anthephora pubescens*). Como en la anterior experiencia los rendimientos de materia seca estuvieron asociados al nivel de las lluvias. Con respecto al aporte de las especies, se aprecia una mayor contribución de *Digitaria eriantha* (50%) mientras que *Poa ligularis* y *Bouteloua gracilis* tuvieron mucho menor participación (5%). En relación al uso de diferido en estas pasturas, no se encontraron diferencias en productividad, pero si se realiza un corte en primavera, los indicadores de calidad nutritiva mejoran (digestibilidad y proteína bruta) (Veneciano *et al.*, 2012). En otros ambientes de clima y suelo también se comparó la productividad en materia seca y captura de carbono, entre un sistema silvopastoril (una mezcla de cuatro especies de pastos *Panicum maximum*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens* y *Brachiaria dictyoneura* y un sistema tradicional de *Brachiaria humidicola* en cinco lotes ganaderos de pedemonte del departamento de Casanare en Colombia. Después de dos años la mezcla de especies mostró un incremento en producción de materia seca y secuestro de carbono en relación a la especie pura (Cárdenas Castro *et al.*, 2012).

Es válido entonces, proponer la integración multiespecífica de pasturas en procura de mitigar condicionantes climáticos. Más aún, ante un escenario climático cambiante, en el que se detectan ya mayor variabilidad de las lluvias, disminución de las temperaturas máximas y aumento de las mínimas, así como reducción en el periodo de heladas, y en la cantidad y en la intensidad de las mismas (Stritzler *et al.*, 2007).

Diferimiento

El diferimiento es una técnica de conservación de forraje en pie para su utilización posterior (Allen *et al.*, 2011), que en el caso de las gramíneas megatérmicas es el período otoño-invernal. La utilización de forrajes diferidos es particularmente recomendada para zonas semiáridas. Puede reducir el costo de producción asociado con la alimentación invernal del rodeo de cría y, a la vez, hacer más sustentable el sistema productivo. Esta técnica debería permitir mantener el estado nutricional del rodeo y reducir o disminuir la utilización de otros forrajes o alimentos voluminosos. No obstante, el forraje diferido de especies como el pasto llorón, es poco utilizado dado que la calidad del forraje acumulado es inadecuada para mantener el peso de los animales. Sin embargo, dicha limitante nutricional es menor en otras gramíneas megatérmicas, tal como mijo perenne y *Digitaria eriantha* (Petruzzi *et al.*, 2003).

La duración del periodo de acumulación de forraje, entre la última defoliación y la primera helada, es una herramienta para determinar la cantidad y la calidad del forraje diferido (Quesenberry y Ocumpaugh, 1980). En general, la cantidad de forraje acumulado se incrementa con la duración del período de clausura al pastoreo, pero su calidad nutricional y el consumo diario animal disminuyen (Ferri *et al.*, 2011). La duración de este período determina la magnitud del desprendimiento de láminas y el lixiviado de nutrientes desde el forraje acumulado. Más aun, a medida que transcurre el período invernal existe una pérdida de biomasa forrajera y una disminución en la proporción de lámina de hoja (Ferri *et al.*, 2006). En el período abril - agosto, del total de las pérdidas de forraje, el 50 % correspondió a la fracción lámina, lo que disminuye notablemente la calidad del diferido hacia el final del período. A partir de las primeras heladas, en particular, el valor nutritivo del forraje diferido disminuye con rapidez (Ocumpaugh y Matches, 1977).

La obtención de diferidos que permitan una respuesta animal individual adecuada, por ejemplo el mantenimiento o ligeras pérdidas del peso vivo en vacas de cría, requeriría de la remoción del crecimiento acumulado durante la primera mitad del verano (Ferri *et al.*, 2006). De esta manera se acorta el período de acumulación, aumentando la proporción de láminas. No obstante, se debe evitar el sobrepastoreo durante el período de altas temperaturas estivales, lo cual reduciría las reservas carbonadas y el posterior rebrote otoñal. La cantidad de forraje acumulado es función de la duración del periodo de diferimiento, y dependerá de la capacidad de la especie para generar material foliar nuevo bajo las condiciones ambientales que prevalezcan al finalizar el verano y en el otoño. En

particular, la cantidad de forraje acumulado se asocia con la disponibilidad de humedad, momento de las precipitaciones, temperatura, disponibilidad de nitrógeno en el suelo y, en el caso de fertilizar con nitrógeno, momento de su aplicación e interacción con los factores enunciados. Debido a las características climáticas propias de una región semiárida y a la problemática de suelos con limitantes físicas y químicas, la oferta forrajera para los sistemas ganaderos (cría) resulta ser muy baja en producción y calidad durante el invierno.

HIPOTESIS

Ante una problemática de suelos con limitantes físicas y químicas, las especies forrajeras megatérmicas monofíticas o polifíticas permiten un mejor uso del recurso suelo obteniendo cantidad y calidad de forraje en la región del Sudeste Pampeano.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento productivo y la calidad del forraje de tres especies megatérmicas creciendo solas (pastura monofítica) o combinadas (pastura polifítica), en términos comparativos a un testigo conocido (pasto llorón) en un suelo con poca profundidad y degradado de la región del Sudeste Pampeano

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar acumulación y calidad nutritiva de la materia seca diferida de *P. virgatum*, *P. coloratum* y *E. superba*, creciendo solas o combinadas, y de *E. curvula* (testigo).
- Evaluar el desarrollo radical de las tres gramíneas megatérmicas creciendo solas o combinadas, y el de la especie testigo.
- Evaluar el impacto de las tres gramíneas megatérmicas, creciendo solas o combinadas, y de la especie testigo sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características del área de estudio

Ubicación del ensayo

El trabajo se realizó entre los años 2008 y 2012 en la localidad de Guatraché, provincia de La Pampa (37° 41'34.58" S y 63°31'57.75" O).

Clima

Precipitaciones

Durante los cinco años se llevaron registros de las precipitaciones diarias con un pluviómetro ubicado en el sitio de estudio. Esto permitió obtener los valores de las precipitaciones mensuales y anuales (Tabla 2). Las precipitaciones durante los ciclos de crecimiento 2009 (septiembre) – 2010 (abril) y 2011 – 2012, cuando se midió la producción de materia seca, totalizaron 618,5 mm y 511 mm, respectivamente.

Tabla 2. Lluvias mensuales y el acumulado anual, año 2008 a 2012.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2008	60,5	112,0	0,0	4,0	21,5	18,0	11,0	14,0	46,0	53,5	23,5	83,5	447,5
2009	19,0	22,5	34,0	0,0	23,5	0,0	20,0	2,0	67,5	8,0	77,5	133,0	407,0
2010	83,5	105,0	126,0	18,0	9,0	10,0	10,0	10,0	93,5	52,0	49,0	41,0	607,0
2011	181,0	48,0	100,0	62,0	22,0	20,0	11,0	20,0	0,0	55,0	167,0	27,0	713,0
2012	79,0	76,5	100,0	7,0	37,0	0,0	0,0	115,0	21,0	165,0	71,0	153,0	824,5
Promedio	84,6	72,8	72,0	18,2	22,6	9,6	10,4	32,2	45,6	66,7	77,6	87,5	599,8

 Lluvias mensuales durante el ciclo de crecimiento de las especies bajo estudio. Ciclos 2009-2010 y 2011-2012.

Balance hidrológico

El balance hidrológico de la localidad de Guatraché muestra un periodo de déficit hídrico desde mediados de la primavera (octubre) hasta principios del otoño (marzo), y un periodo de recarga de humedad en el suelo durante el otoño (Figura 3).

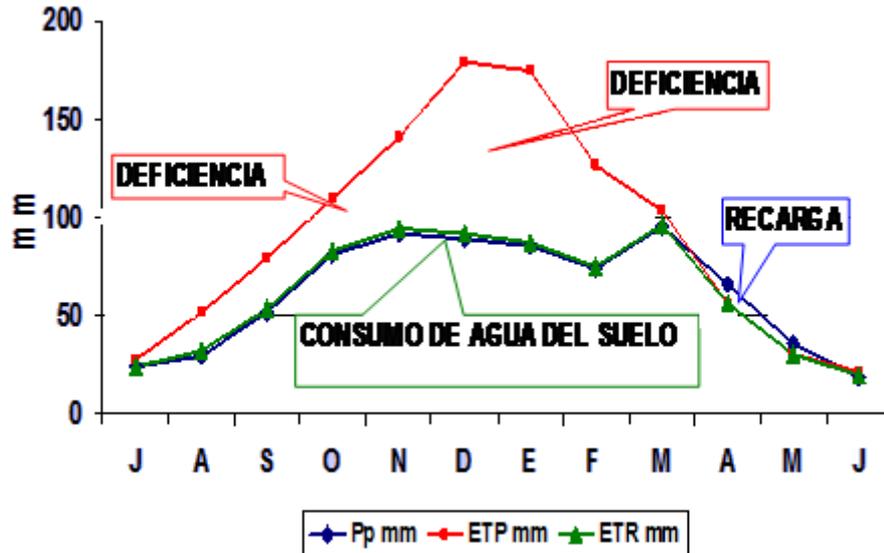


Figura 3. Balance hidrológico de Guatraché, según el modelo de evapotranspiración de Thornthwaite. (Ppmm: precipitaciones en milímetros, ETPmm: Evapotranspiración potencial en milímetros y ETRmm: evapotranspiración real en milímetros)

Suelo

El suelo de la región de estudio fue clasificado como Calcistol Petrocálcico, en fase somera y ligeramente inclinada (INTA *et al.*, 1980). En el lugar del ensayo, el suelo posee un horizonte A de 18 a 20 cm, un AC_{ca} de 21 a 31 cm, un C_{ca} de 32 a 50 cm y un horizonte petrocálcico a 50 cm de profundidad (Tabla 3). Se observó presencia de carbonatos desde los 10 cm, intensificándose en profundidad. La zona de mayor compactación se ubicó entre los 10 y 20 cm de profundidad.

Tabla 3. Descripción del perfil del suelo donde se instaló el ensayo.

Horizonte	Profundidad en cm	Límite Tipo Forma	Estructura a: Tipo b: Clase c: Grado	Consistencia		CO ₃	Concreciones	Barnices	Moteados	Raíces de 1 a 5
				Seco	Húmedo					
A	18-20	claro suave	semimigajoso fino-medio moderado	0	2	Tenue	Si	No	No	4
ACca	21-31	gradual suave	semimigajoso fino-medio moderado	0	1	Intenso	Si	No	No	4
C _{ca}	32-50		migajosa muy fina debil	0	1	Intenso	Si	No	No	4
Tosca	50									

Consistencia: En seco: 0 suelo no coherente; en húmedo: 1 ligeramente adhesivo, 2 adhesivo.

La relación entre la materia orgánica y la textura del suelo (limo + arcilla) constituye un buen indicador de la productividad potencial (Quiroga *et al.*, 2002; 2006). El rango de valores de la relación es de 2 a 12 aproximadamente; por debajo de 4,5 a 5 los valores son considerados bajos y por arriba altos. Un índice bajo indicaría que el suelo ha perdido materia orgánica en relación al contenido de limo + arcilla, y que tendría poca materia orgánica joven, lábil o fácilmente mineralizable. En contraposición, un suelo con una relación por encima de 5 tendría un contenido de materia orgánica alto en relación al limo + arcilla que posee. Para el suelo del lugar donde se realizó el presente trabajo el valor de la relación fue de 4,6, sugiriendo que se trata de un suelo que ha sufrido una pérdida de MO y, consecuentemente, de fertilidad (Tabla 4).

Tabla 4. Algunas características del suelo en los primeros 20 cm de suelo del área seleccionada para la instalación del ensayo.

Textura en %				Clase textural	Índice	Materia orgánica en %	Fósforo asimilable en mg/ kg	pH
Arcilla	Arena	Limo	Limo+Arcilla		(MO/L+A)*100			
6,0	50,0	44,0	50,0	Franco arenoso	4,6	2,3	7,5	6,7

Instalación del ensayo

Con el objetivo de instalar el ensayo sobre suelo homogéneo, se realizó un muestreo en 21 puntos equidistantes entre sí en una superficie de 18 m x 72 m. En cada punto se determinó la profundidad del suelo, fósforo asimilable (Bray – Kurtz I), carbono orgánico (Walkley – Black), textura en los primeros 20 cm de profundidad (hidrómetro de Bouyoucos) y pH (pasta de saturación). En base a los resultados obtenidos se seleccionó un área homogénea de 10 m x 20 m, donde se instaló en ensayo.

El ensayo se realizó con diferentes especies de gramíneas estivales. Las especies evaluadas fueron *Panicum virgatum* cv Alamo, *Panicum coloratum*, cv Verde y *Eragrostis superba* cv Palar. *Eragrostis curvula* cv Tanganica (pasto llorón) se usó como testigo, dado que es la especie C₄ perenne más difundida en la región donde se realizó el ensayo. Para cada especie las plantas fueron logradas por división de matas, y transplantadas en parcelas de 300 cm de largo y 200 cm de ancho. En cada parcela las plantas se distanciaron a 30 cm a lo largo de cuatro líneas espaciadas a 50 cm entre sí.

En el mes de agosto de 2008 se comenzó a preparar el terreno pasando un cincel cruzado para romper el piso de arado y una rastra doble, y el mes de septiembre del mismo año se realizaron los transplantes. Se utilizó la técnica de transplante en combinación con suministro de agua de riego para asegurar la implantación y un arranque homogéneo de todas las especies del ensayo. Durante los dos primeros años se realizó control de malezas en forma manual y químico (con mochila usando como herbicida 2,4- D). Las principales malezas presentes fueron flor amarilla (*Diploaxis tenuifolia*) y cardo ruso (*Salsola kali*).

El área aledaña al ensayo (desde aquí en adelante llamada “fuera del ensayo”) continuó con el sistema de labranza convencional de la zona (uso de rastrón y rastra - sembradora), con rotación de verdeos de invierno y verano para pastoreo.

Tratamiento experimental

Se establecieron ocho tratamientos, consistentes en las cuatro especies puras, las tres megatérmicas problema y el pasto llorón como testigo, y todas las combinaciones de a dos y de a tres de las megatérmicas problema, según un diseño en bloques totalmente aleatorizados con tres repeticiones (Tabla 5, Figura 4, Foto 1).

Tabla 5. Tratamientos y especies.

TRATAMIENTO	ESPECIES
1	PLL (<i>Eragrostis curvula</i>)
2	ES (<i>Eragrostis superba</i>)
3	PC (<i>Panicum coloratum</i>)
4	PV (<i>Panicum virgatum</i>)
5	ES-PC (<i>Eragrostis superba</i> - <i>Panicum coloratum</i>)
6	ES-PV (<i>Eragrostis superba</i> - <i>Panicum virgatum</i>)
7	PC-PV (<i>Panicum coloratum</i> - <i>Panicum virgatum</i>)
8	ES-PC-PV (<i>Eragrostis superba</i> - <i>Panicum coloratum</i> - <i>Panicum virgatum</i>)

PC	ES	PC	ES
ES	PC	ES	PC
PC	ES	PC	ES
ES	PC	ES	PC
PC	ES	PC	ES
ES	PC	ES	PC
PC	ES	PC	ES
ES	PC	ES	PC
PC	ES	PC	ES
ES	PC	ES	PC
PC	ES	PC	ES

PV	ES	PV	ES
ES	PV	ES	PV
PV	ES	PV	ES
ES	PV	ES	PV
PV	ES	PV	ES
ES	PV	ES	PV
PV	ES	PV	ES
ES	PV	ES	PV
PV	ES	PV	ES
ES	PV	ES	PV
PV	ES	PV	ES

PV	PC	PV	PC
PC	PV	PC	PV
PV	PC	PV	PC
PC	PV	PC	PV
PV	PC	PV	PC
PC	PV	PC	PV
PV	PC	PV	PC
PC	PV	PC	PV
PV	PC	PV	PC
PC	PV	PC	PV
PV	PC	PV	PC

ES	PC	PV	ES
PV	ES	PC	PV
PC	PV	ES	PC
ES	PC	PV	ES
PV	ES	PC	PV
PC	PV	ES	PC
ES	PC	PV	ES
PV	ES	PC	PV
PC	PV	ES	PC
ES	PC	PV	ES
PV	ES	PC	PV

ES -PC

ES -PV

PC-PV

ES-PC-PV

Figura 4. Diseño de las parcelas combinadas: ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.



Foto 1. Se ilustra dentro y fuera del ensayo, y en el fondo un monte de caldén (*Prosopis caldenia*) (suelo sin laboreo). 2012.

Metodologías para evaluaciones de variables edáficas y radicales

Se realizó un seguimiento del contenido de agua del suelo desde la implantación (septiembre de 2008) hasta finalizar el ensayo. Las mismas se efectuaron con una periodicidad aproximada de dos veces por año, una previa al corte de materia seca y la otra durante el verano (seis fechas de medición en total). La humedad del suelo se estimó por gravimetría, a intervalos de 20 cm hasta la capa de tosca, con tres repeticiones. Se realizó seguimiento de humedad en el tratamiento testigo (pasto llorón), en el tratamiento *P. coloratum* por ser la especie más promisoría y difundida en la región después del pasto llorón, y en el tratamiento con la combinación de las tres especies.

Adicionalmente, al inicio del ensayo (2008) y al finalizar (2012), se determinó carbono orgánico, fósforo asimilable y pH en los primeros 20 cm del perfil en tres

muestras compuestas de diez sub-muestras de cada una, fuera del ensayo y dentro del mismo para cada uno de los tratamientos. Se midió infiltración por el método del anillo simple (Álvarez *et al.*, 2012) dentro y fuera del ensayo con cuatro repeticiones al finalizar el mismo (2012). Asimismo, se determinó densidad aparente con cilindros de acero de 250 cm³ de volumen, a intervalos de 20 cm hasta la capa de tosca, con tres repeticiones, dentro y fuera del ensayo, al iniciar y finalizar el ensayo para transformar los valores de % a mm o kg/ha. Por último, dentro y fuera del ensayo se determinó estabilidad de agregados por el método de De Boodt y De Leenheer, (1967) en los primeros 20 cm del perfil, con cuatro repeticiones al finalizar el mismo (2012). Como suelo de referencia se utilizó una isleta de monte caldén ubicado en el mismo sitio. Para poder interpretar la estabilidad de agregados con un suelo virgen o prístino, se verificó que la textura fuera la misma en las tres situaciones (dentro y fuera del ensayo e isleta de caldén). El índice de estabilidad que se obtiene por este método está dado por la diferencia que existe entre el diámetro-peso medio de los agregados secados al aire y el mismo luego de ser humedecidos, incubados y tamizados bajo agua. Este índice se expresa como cambios en el diámetro medio ponderado (CDMP), en mm. Para evaluar el grado de degradación o restauración de la estructura del suelo a través del dato de CDMP, se expresa el mismo como índice de estabilidad relativo (IER) respecto del suelo de referencia (suelo no cultivado del monte de Caldén) (Ecuación 1; Cazorla *et al.*, 2012).

$$\text{IER} = \frac{\text{CDMP suelo de referencia}}{\text{CDMP suelo estudiado}} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

En el caso de densidad aparente, infiltración y estabilidad de agregados, la sensibilidad de las metodologías utilizadas no permiten establecer diferencias entre tratamientos, es por ello que se realizaron estas determinaciones considerando un suelo con agricultura continua en labranza convencional (fuera del ensayo) y pasturas con especies megatérmicas (dentro del ensayo).

Al finalizar el ensayo (10/07/2012), en todos los tratamientos se determinó la abundancia y distribución de las raíces en el perfil del suelo por medio de un método semi-cuantitativo (Massé, 1982; Carcova *et al.*, 2000). Con tal fin se realizó una calicata de 100 cm de lado y 50 cm de profundidad (tosca). Las mediciones se realizaron sobre una de las caras paralela a las hileras de plantas en los tratamientos de una sola especie y en todas las combinaciones de más de una especie, y sobre una de las caras perpendicular a las mismas

en los tratamientos con una sola especie (Figuras 5 y 6, respectivamente). Se realizó de esta manera para establecer la distribución de las raíces entre plantas y entre hileras. En la cara elegida, primero con la ayuda de una espátula se aflojó el suelo, y luego con agua a presión se lavó el perfil quedando las raíces expuestas. Finalizada dicha tarea, se colocó una malla de 70 cm de ancho por 45 cm de profundidad, con celdas de 5 cm de lado (Figura 7). Para establecer la abundancia de raíces a nivel de celda se utilizó una escala de 0 a 4, donde 0 = ausencia, 1= presencia baja, 2 = presencia media, 3 = presencia alta, 4= presencia muy alta. Por otro lado, la biomasa de las raíces hasta una profundidad de 25 cm se determinó tomando muestras con un sacabocado (494 cm³), con dos sub-muestras en la hilera y otras dos entre hileras, para todos los tratamientos y repeticiones. El suelo de cada muestra se dispersó en agua y se filtró a través de un tamiz de 0,5 mm para retener las raíces. La biomasa radical obtenida se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante.

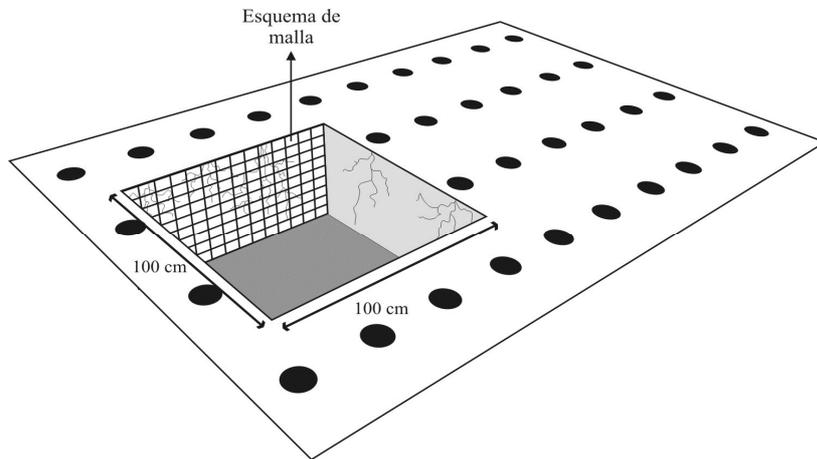


Figura 5. Esquema de la malla ubicada en una de las caras paralela a las hileras de las plantas.

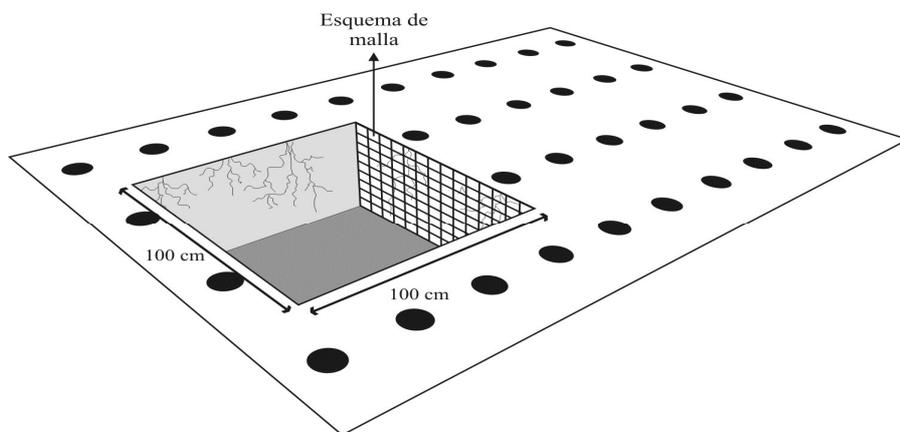


Figura 6. Esquema de la malla ubicada en una de las caras perpendicular a las hileras de las plantas.

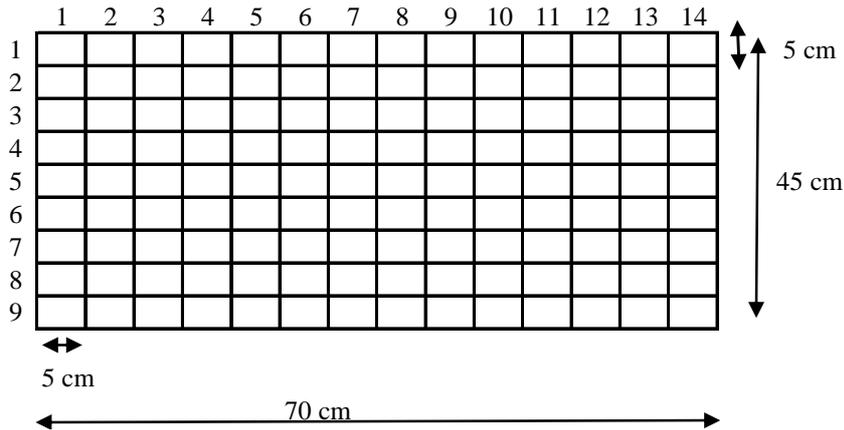


Figura 7. Esquema de la malla utilizada para determinar la abundancia y distribución de las raíces en el perfil del suelo.

Metodología para evaluaciones cuantitativas y cualitativas de la biomasa aérea

En julio de 2010 y de 2012 se cortó la biomasa aérea de las mismas seis plantas ubicadas en las líneas centrales de cada parcela experimental (Figura 8). La altura de corte fue de aproximadamente 5 cm desde la superficie del suelo. En las parcelas puras o monofíticas el material de las seis plantas se guardó en la misma bolsa mientras que en las combinadas o polifíticas la biomasa de cada especie se mantuvo separada. En todos los casos se obtuvo el peso fresco del material cosechado. Luego de efectuado el corte para el análisis, se realizó un corte de limpieza a la misma altura al resto del material en cada parcela, dejando el crecimiento hasta julio del próximo año, es decir un diferimiento total.

El año 2011 no se consideró debido al ingreso de animales al ensayo tres meses antes del corte. Como consecuencia, no fue posible realizar el corte programado para julio del año 2011. Tan pronto como fue posible se sacaron los animales y se recogieron las heces volcadas dentro del perímetro del ensayo, y dado que el tiempo que los animales permanecieron sobre las parcelas no fue prolongado se asumió que las condiciones del suelo no resultaron afectadas. Para mantener las mismas condiciones del ensayo para el segundo corte, en julio 2011 se eliminó el material remanente para poder realizar correctamente las mediciones de julio 2012.

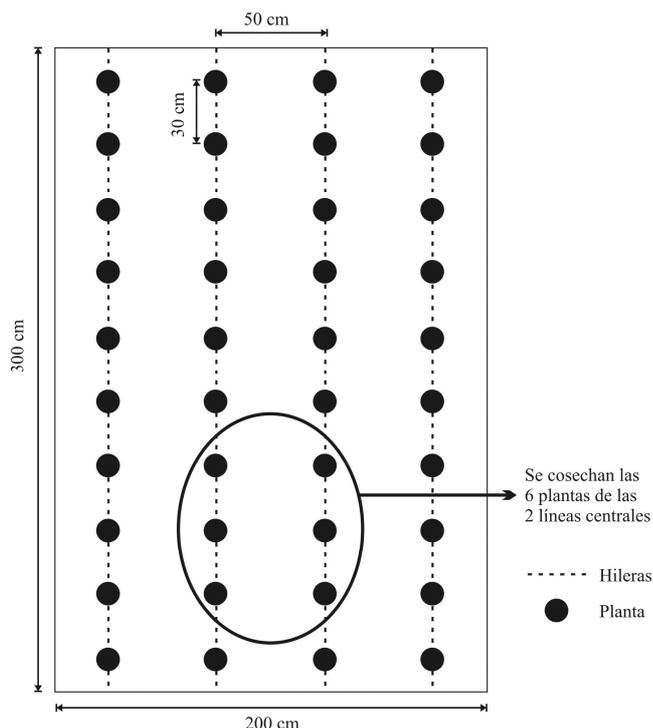


Figura 8. Diseño de parcela y área de corte de las especies.

El procesamiento de las muestras que ingresaron al laboratorio siguió tres pasos luego de su identificación:

a) **Secado:** el procedimiento consiste en la eliminación del agua libre por medio de aire caliente en circulación forzada, regulándose la temperatura alrededor de los 50°C para evitar que se produzca la reacción de Maillard. Se homogeneizó el material colectado de manera que la muestra de material húmedo que se deseaba secar, unos 200 g aproximadamente, fuera representativa del total. Posteriormente se transfirió el material a bandejas que se mantuvieron en la estufa hasta que las muestras alcanzaron un peso constante, momento en el que fueron retiradas. A partir de allí, se las dejó al aire libre hasta que tomaron la temperatura del ambiente en equilibrio con la humedad. Una vez llegado ese momento se las pesó, transfiriéndolas nuevamente a una bandeja tarada, obteniéndose así el porcentaje de materia seca de las muestras, permitiendo obtener el cálculo de materia seca diferida de cada tratamiento.

b) Las muestras secas se molieron con molino tipo Wiley, con malla de 1 mm.

c) **Almacenamiento:** las muestras molidas y almacenadas adecuadamente en un cuarto seco hasta el momento del análisis.

La calidad nutritiva se determinó en laboratorio por medio de mediciones de digestibilidad “in vitro” de la materia seca (DIVMS) (Tilley y Terry, 1963), PB, FDN y

FDA (Van Soest y Robertson, 1985). En las parcelas combinadas o polifíticas se realizaron las determinaciones de calidad de cada especie por separado. De esta manera se pudo tener información del aporte que realizó cada especie en el total de la parcela.

Determinación de digestibilidad: Técnica “in vitro” (Tilley y Terry, 1963)

Conocida también como técnica en “dos etapas”, es la técnica de determinación de digestibilidad más empleada en el laboratorio. Para llevarla a cabo es necesario contar con un animal fistulado en el rumen para la obtención del inóculo necesario para la ejecución de la primera etapa. Este animal debe tener un buen estado sanitario y estar alimentado con una dieta de buena calidad (generalmente heno de alfalfa) con el fin de garantizar la existencia de una población microbiana adecuada y estable dentro del rumen. La primera etapa consiste en una simulación en laboratorio de los eventos que ocurren en el rumen, y exige una rígida estandarización de las condiciones experimentales en el laboratorio, particularmente en mantenimiento de condiciones de anaerobiosis, pH entre 6,9 y 7,1 y temperatura entre 37 y 39 °C. En cumplimiento de la primera etapa, se pesó una alícuota de aproximadamente 0,5 g de cada muestra, por duplicado, y se introdujo en tubo de ensayo. Luego se agregaron 50 ml de una mezcla de licor ruminal y saliva artificial mantenida bajo las condiciones mencionadas. El licor ruminal se obtuvo de un novillo fistulado, luego de ser filtrado para retener las partículas de alimento presentes en el rumen. La saliva artificial, solución compuesta de cloruros, fosfatos y bicarbonatos, ejerce una acción tamponadora de pH. Ambas soluciones se mezclaron en una relación 1:4 de licor ruminal y solución mineral, y fueron permanentemente saturadas con dióxido de carbono. Luego de agregada la mezcla al tubo con la muestra, el mismo fue cerrado con tapón provisto de válvula para permitir el escape de gases bajo presión.

Los tubos fueron incubados por 48 horas en baño maría a 38°C, con agitación periódica para extremar el contacto entre la muestra y el líquido. Además, de los tubos con muestras, simultáneamente fueron incubados tubos standard y blancos, bajo las mismas condiciones descritas. Los tubos standard contienen muestras de digestibilidad *in vivo* conocida, y se utilizan como control y corrección de la digestibilidad *in vitro*. Los blancos son tubos a los que se trata igual que a los restantes tubos, pero no incluyen muestra. El residuo que pueda obtenerse en ellos pertenecerá, por lo tanto, al proceso y no a la muestra, y se resta este peso a los tubos con muestra.

La segunda etapa comenzó a las 48 hs de iniciada la anterior. Los tubos fueron retirados del baño maría e inmediatamente se les agregó ácido clorhídrico al 20% con lo cual se consiguió disminuir el pH a 2 y detener la actividad microbiana. A continuación, se les adicionó una solución de pepsina bovina 1:10000 y se colocó nuevamente a 38°C durante otras 48 hs. La recuperación del residuo indigestible, se realizó a las 48 hs de iniciada la segunda etapa. Se sacaron los tubos de baño maría, el contenido de los mismos fue filtrado en crisoles de vidrio provistos de una placa porosa; de esta manera, el residuo indigestible fue retenido por la placa y luego fue llevado a la estufa a una temperatura de 100°C. Una vez secos los crisoles se pesaron, y la digestibilidad se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Peso de la muestra} - \text{Peso del residuo} - \text{Peso del residuo del blanco}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 = \text{DIVMS}$$

Ecuación 2

Donde % DIVMS es el % de digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Determinación de proteína: Técnica de Kjeldahl

El contenido en proteína de las muestras del forraje se estimó a partir de la determinación química del nitrógeno contenido en las mismas, empleando la técnica semimicro de Kjeldahl. En una primera etapa se mineraliza la materia orgánica sometiéndola a la acción del ácido sulfúrico concentrado (72%) en ebullición durante una hora a 420°C. En el proceso, el nitrógeno de las proteínas y demás compuestos orgánicos es transformado en ión amonio. Una vez enfriado, el residuo obtenido se diluye y se le agrega hidróxido de sodio. Se procede entonces a la destilación del mismo. Mediante este paso se logra desprender amonio y se lo recibe en una solución de ácido bórico, que es titulada con sulfúrico estandarizado. El contenido de nitrógeno (%) es finalmente transformado en % de PB ponderando por el factor 6,25 (AOAC, 2000). Las determinaciones se hicieron en alícuotas de 0,1 gr por muestra de forraje.

Determinación de fibra en detergente neutro y fibra en detergente ácido: Técnica de Van Soest y Robertson (1985).

Este sistema de caracterización de la fibra propone una separación morfológica entre las paredes celulares y los contenidos celulares. Por otra parte, se hace una separación química de los distintos integrantes de la pared celular a partir de la solubilización en cierto

tipo de detergentes. Los detergentes utilizados son de dos clases según sea su valor de pH neutro (pH 7) o ácido (pH 4)

Fibra en detergente neutro (FDN)

La técnica consiste en someter a la muestra de forraje a ebullición durante una hora con detergente neutro. El residuo obtenido del paso anterior es recuperado al filtrarse a través de crisoles, por acción del vacío. Luego se lava con agua destilada caliente para eliminar todo resto de detergentes y finalmente con acetona para extraer los pigmentos contenidos en el material. Por último, el residuo se seca en estufa a 105°C. La relación entre el peso seco del residuo y de la muestra inicial, expresada en porcentaje, es el contenido de pared celular.

Fibra en detergente ácido (FDA)

El procedimiento es el mismo que el utilizado para la determinación de FDN con la diferencia que el detergente empleado tiene un valor de pH ácido. El residuo obtenido luego de hervir, filtrar, lavar y secar se halla constituido principalmente por lignina, celulosa y minerales insolubles. La diferencia entre los valores de FND y FDA para una misma muestra es, mayoritariamente, hemicelulosa. En el presente estudio las determinaciones de FDN y FDA se hicieron en alícuotas de 1 gr por muestra de forraje.

Análisis estadístico

Los datos de producción de materia seca, DIVMS, PB, FDN y FDA fueron analizados estadísticamente usando análisis de varianza (ANVA) según un diseño en bloques completos al azar. Las significancias de las diferencias entre medias se determinaron mediante la prueba de Tukey o de diferencias mínimas significativas (LSD), cuando el resultado de la prueba de ANVA fue significativo. El desarrollo de las raíces en profundidad se analizó usando la prueba no paramétrica de Friedman. El análisis por capa se hizo mediante el test de Kruskal-Wallis y empleando la prueba de Dunn para las comparaciones entre tratamientos (Sheskin, 2004), utilizando el programa G-Stat 2.0 (Letón Molina y Marino, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSION

Suelo

Densidad Aparente

La densidad aparente del suelo (0-20 y 20-40 cm de profundidad) no mostró diferencias significativas ($P > 0,05$) entre fechas de muestreo, tanto dentro como fuera del ensayo (Tabla 6). Tanto las labranzas realizadas (fuera) como las especies implantadas dentro de ensayo no modificaron los valores de densidad aparente, por tal motivo se utilizó un valor promedio ($1,31 \text{ g/cm}^3$) para el cálculo del carbono orgánico del suelo. En el caso de los cálculos de humedad en el perfil en capas de 20 cm hasta la tosca, también se usó el valor de densidad aparente promedio para todas las fechas de muestreo.

Tabla 6. Densidad aparente para la situación inicial al instalar en ensayo (2008) y al final en 2012 (dentro y fuera del ensayo). Promedio de tres repeticiones \pm desvío estándar.

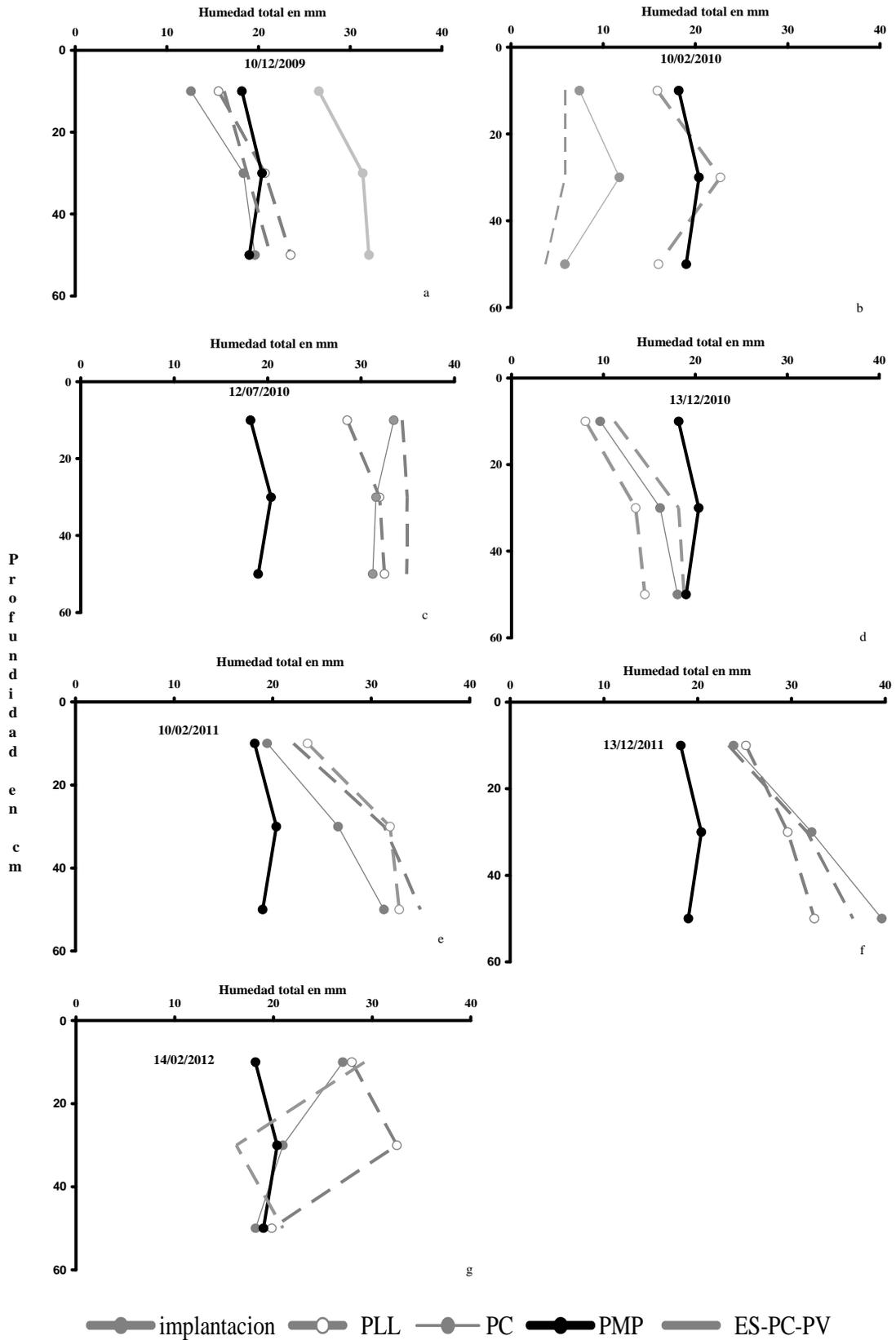
Profundidad	Inicial	Final del ensayo	
		Fuera del ensayo	Dentro del ensayo
cm	g/cm^3		
0-20	$1,34 \pm 0,03$	$1,31 \pm 0,13$	$1,29 \pm 0,04$
20-40	$0,90 \pm 0,07$	$1,21 \pm 0,03$	$1,15 \pm 0,02$

Humedad del suelo

Al iniciar el ensayo se, determinaron las constantes hídricas usando platos de membrana (Klute, 1986) la capacidad de campo a una presión de 5 psi fue de 122,45 mm y el punto de marchitez permanente (PMP) a 220 psi fue de 57,56 mm para los 50 cm de profundidad. La Figura 9 muestra los contenidos de humedad del suelo para tres de los tratamientos en distintos momentos del ensayo. Además, en todas las Figuras se muestra el PMP para tener una referencia de cuál es el contenido de agua que pueden captar las raíces de las plantas. No se registraron diferencias importantes entre los tratamientos en cada fecha de medición. Se observó que en los meses de febrero de 2011 y 2012 todos los tratamientos presentaron contenidos de humedad superiores al PMP (Figuras 9 f y g). En estos casos las lluvias superaron la capacidad de retención de agua del suelo (65 mm) (Tabla 2), y las temperaturas máximas promedio fueron de 28°C . En el caso de la Figura 9 g hay dos tratamientos (PLL y ES-PC-PV) que mostraron variaciones en los contenidos de humedad a los 20-40 cm de profundidad con respecto al resto del perfil. Esto podría explicarse por la heterogeneidad del suelo y compactaciones subsuperficiales en los

lugares de muestreo. Para la misma época del año 2010 (Figura 9 b) todos los tratamientos tuvieron contenidos de humedad por debajo de PMP; en este período, las lluvias previas fueron menores (78 mm) y las temperaturas máximas promedios superiores (36 °C) a las registradas en igual época del año en el 2011 y 2012. En el mes de diciembre de 2009 y 2010 los niveles de humedad en todos los tratamientos estuvieron por debajo del PMP (Figuras 9 a y d), coincidiendo con precipitaciones bajas (60 mm) y temperaturas altas (39°C). En cambio, para el mismo mes del año 2011, los contenidos de humedad de todos los tratamientos estuvieron por encima del PMP (Figura 9 e), coincidiendo con precipitaciones abundantes (187 mm). Para el corte de julio del 2010 los tratamientos tuvieron contenidos superiores al PMP (Figura 9 c), a pesar que las precipitaciones previas al corte no superaron los 10 mm. Esto último podría atribuirse al estado de receso invernal de las especies estivales y a las bajas temperaturas en esta época del año.

La escasa profundidad del suelo limitaría la posibilidad de observar diferencias potenciales en el comportamiento de los tratamientos con relación al uso del agua del suelo. La baja capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, sumado a los altos requerimientos de las pasturas en la época cálida del año, determinarían que el perfil alcance valores de humedad cercanos o por debajo al PMP con suma frecuencia. Frente a estas situaciones las pasturas pierden hojas, dejan de crecer o crecen a una tasa relativamente baja, y en consecuencia hay disminución en la disponibilidad de forraje (Quiroga *et al.*, 2012). Trabajos realizados en la región sobre captación de agua en el perfil encontraron que en suelos con baja capacidad de almacenamiento (42 mm), poco profundos (menor a 100 cm) y con altos niveles de cobertura (10 tn/ha), los contenidos de humedad dependieron casi exclusivamente de las precipitaciones (Quiroga *et al.*, 2005, Fernández *et al.*, 2006). Por los tanto, en nuestro caso, con un suelo de 64 mm de capacidad de retención de agua, una profundidad de 50 cm y altos niveles de cobertura, los resultados de las mediciones de humedad del suelo bajo los distintos tratamientos confirman los resultados de estudios previos.



Figuras 9 a, b, c, d, e, f, g.: Humedad del suelo a lo largo del estudio para los tratamientos, PLL: *Pasto llorón* ES: *Eragrostis superba* PC: *Panicum coloratum*; PV: *Panicum virgatum*) en distintas fechas de muestreo.

Raíces

Las observaciones de abundancia y distribución de raíces en las caras paralelas a las hileras de las plantas muestran que en los primeros 5 cm del perfil de suelo (0-5 cm) no hubo diferencias estadísticas entre PLL, PC, PV, ES-PV, PC-PV y ES-PC-PV ($P > 0,05$), mientras estos tratamientos se diferenciaron de los tratamientos ES, ES-PC (Figura 10 a y Tabla 7). Luego, para 5-10 cm todos los tratamientos se diferenciaron de ES y ES-PC-PV ($P < 0,05$), para 10-15 cm todos los tratamientos se diferenciaron de ES ($P < 0,05$), y para los 15-20 cm todos se diferenciaron de ES y ES-PC-PV ($P < 0,05$). Para la profundidad 20-25 cm, PV se diferenciaron de todos los tratamientos menos la combinación de las tres especies ($P < 0,05$). En la siguiente capa (25-30 cm) todos los tratamientos difirieron ($P < 0,05$) de ES y la combinación ES-PC; a su vez, no hubo diferencias entre PLL, PC, ES-PV, PC-PV y la combinación de las tres especies ($P > 0,05$). En general, para las tres últimas profundidades (de 30 a 45 cm) la mayoría de los tratamientos se diferenciaron ($P < 0,05$) de ES. Los resultados en conjunto revelan una mejor distribución y mayor abundancia de raíces en todo el perfil en PV; en contraposición, ES presentó un menor desarrollo radical en comparación al resto de los tratamientos. Los otros tratamientos mostraron situaciones intermedias, destacándose las combinaciones de tratamientos en los que participó PV. En el análisis de abundancia y distribución de raíces sobre la cara perpendicular a la línea de plantas, correspondiente a los tratamientos con especies puras, se observaron (a partir de 10-15 a 40-45 cm), las mismas diferencias que para la situación anteriormente descripta, (Figura 10 b, Tabla 8).

Los resultados obtenidos indican la inexistencia de limitaciones de naturaleza física para el crecimiento radical de las especies estudiadas, hasta el manto de tosca ubicado a 50 cm de profundidad. El límite de índice de penetrometría de 2,5-3,0 MPa, a partir del cual se restringe el crecimiento de las raíces de la mayoría de los cultivos (Hakansson y Lipiec, 2000, Hamza y Anderson, 2005), parece no haberse alcanzado en este ensayo. En general, en suelos pampeanos se ha observado que este umbral no suele sobrepasarse por cultivar con labranza (Álvarez y Steinbach, 2009). En ningún caso la densidad aparente fue mayor a 15 g/cm^3 , valor a partir del cual comúnmente se afecta el crecimiento radical (Hassan *et al.*, 2007).

La presencia de tosca cerca de la superficie representa un problema importante. Esta plancha de tosca es un horizonte duro, continuo cementado o endurecido con un 50% de calcio y magnesio y una capacidad de retención de agua del 21% de su peso seco. En

estos tipos de suelos, la respuesta de las pasturas en relación con la profundidad del suelo está fuertemente relacionada con la fenología de las especies y las lluvias. Por lo tanto, cuando las precipitaciones son abundantes, estos suelos permiten un mayor almacenamiento de agua debido a la retención de la capa calcárea, favoreciendo la producción de la pastura y siendo muy baja la incidencia de raíces que traspasan la plancha de tosca (Fagioli, 1983, Taboada *et al.*, 2008).

Tabla 7. Abundancia de raíces de las especies en el perfil de suelo paralelo a la línea de implantación para todos los tratamientos. Año 2012.

Tratamientos	Profundidad de raíces en la línea de implantación (cm)								
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45
PLL	4,0c	3,9b	3,9b	3,9b	3,2ab	3,1b	3,1c	3,5c	2,9c
ES	3,0a	2,7a	2,5a	2,6a	2,3a	2,0a	1,8a	1,0a	1,0a
PC	4,0c	4,0b	4,0b	4,0b	3,2ab	3,2b	3,2c	3,4c	2,6c
PV	4,0c	4,0b	4,0b	4,0b	4,0c	4,0c	4,0d	4,0d	4,0d
ES-PC	3,5b	3,9b	3,9b	3,1a	2,6a	2,2a	2,3ab	2,2b	1,6ab
ES-PV	4,0c	4,0b	4,0b	3,8b	3,2ab	3,0b	2,4ab	2,3b	1,9b
PC-PV	3,7c	4,0b	4,0b	4,0b	2,7a	3,0b	2,9bc	3,2c	2,1b
ES-PC-PV	3,9c	3,0a	3,7b	3,0a	3,6bc	3,2b	3,2c	3,3c	2,9c

Letras diferentes en una misma columna señalan diferencias significativas entre los tratamientos comparados (Dunn, $P < 0,05$)

PLL: *Pasto llorón* ES: *Eragrostis superba* PC: *Panicum coloratum*; PV: *Panicum virgatum*)

Se utilizó una escala de 0 a 4, donde 0 = ausencia, 1 = presencia baja, 2 = presencia media, 3 = presencia alta, 4 = presencia muy alta. Promedio de 14 celdas para cada profundidad.

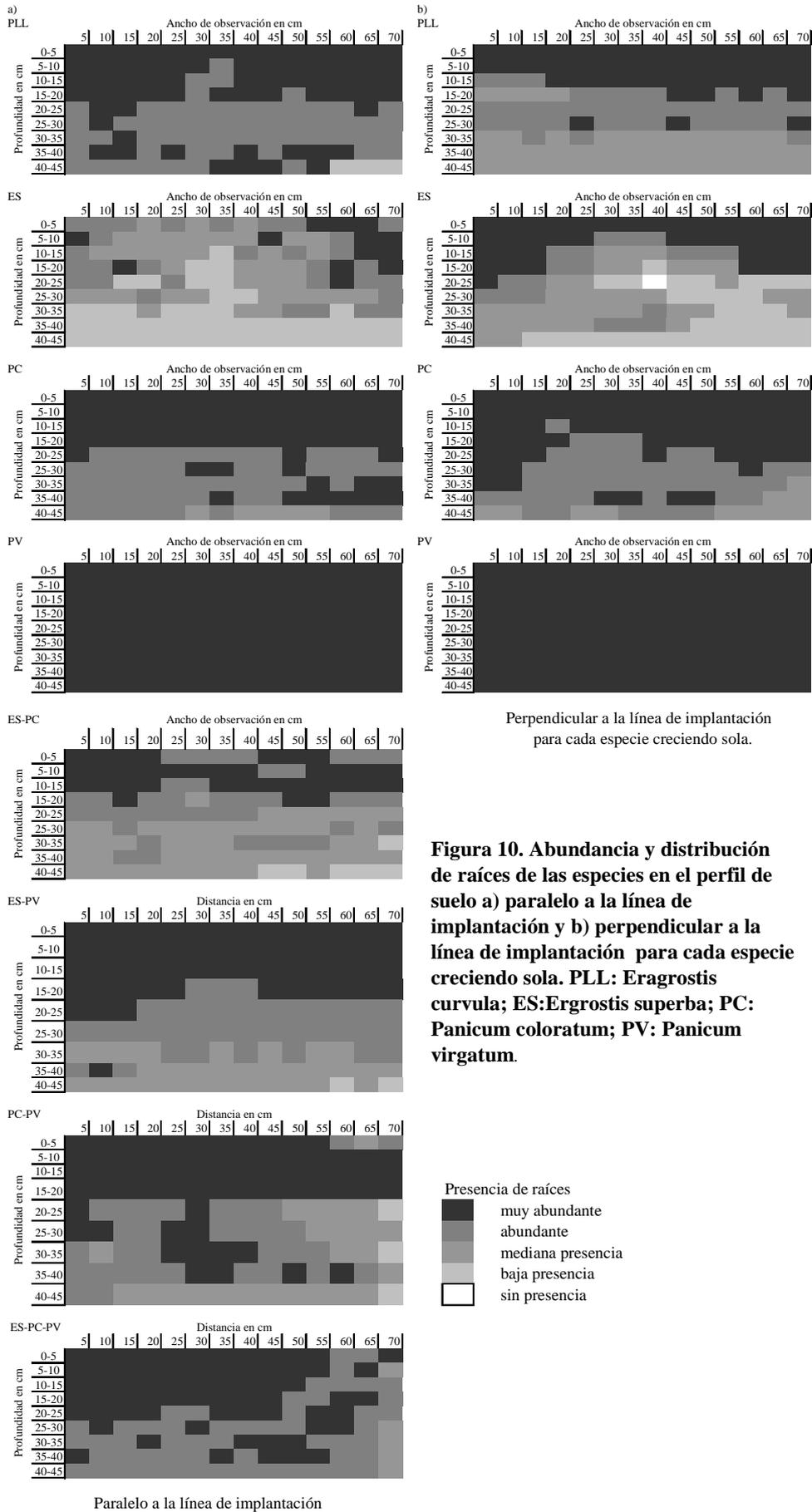
Tabla 8. Distribución de raíces de las especies en el perfil de suelo perpendicular a la línea de implantación para los tratamientos con especies puras. Año 2012.

Tratamientos	Profundidad de raíces en la línea (cm)								
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45
PLL	4,0a	4,0a	4,0b	3,0a	3,0b	3,0b	2,0a	2,0a	2,0b
ES	4,0a	4,0a	3,0a	3,0a	2,0a	2,0a	2,0a	2,0a	1,0a
PC	4,0a	4,0a	4,0b	4,0b	4,0c	3,0b	3,0b	3,0b	2,0b
PV	4,0a	4,0a	4,0b	4,0b	4,0c	4,0c	4,0c	4,0c	4,0c

Letras diferentes en una misma columna señalan diferencias significativas entre los tratamientos comparados (Dunn, $P < 0,05$).

PLL: *Pasto llorón* ES: *Eragrostis superba* PC: *Panicum coloratum*; PV: *Panicum virgatum*.

Se utilizó una escala de 0 a 4, donde 0 = ausencia, 1 = presencia baja, 2 = presencia media, 3 = presencia alta, 4 = presencia muy alta. Promedio de 14 celdas para cada profundidad.



Perpendicular a la línea de implantación para cada especie creciendo sola.

Figura 10. Abundancia y distribución de raíces de las especies en el perfil de suelo a) paralelo a la línea de implantación y b) perpendicular a la línea de implantación para cada especie creciendo sola. PLL: Eragrostis curvula; ES: Eragrostis superba; PC: Panicum coloratum; PV: Panicum virgatum.

Paralelo a la línea de implantación

En relación a la producción de biomasa de raíces en los primeros 25 cm del suelo, hubo diferencias significativas ($P < 0,05$) entre PV y ES-PV y los tratamientos PLL, ES y PC-PV; a su vez, la combinación de las especies (ES-PC y PV) se diferenció de PLL ($P < 0,05$) (Figura 11). Dentro de las especies puras el mayor nivel de producción correspondió a PV y el menor a PLL. No obstante, la diferencia entre PV y PC no fue significativa ($P > 0,05$), aún cuando los valores fueron de 11,5 tn/ha y 7,4 tn/ha, respectivamente. En el caso de PC, si bien su porte no es tan voluminoso presenta un buen desarrollo radical, mientras que, ES es una especie de porte bajo y menor desarrollo radical. Dentro de las especies combinadas, ES-PV presentó el valor más alto, diferenciándose de la combinación PC-PV ($P < 0,05$), y poniendo de manifiesto que la producción de raíces de PV varía según con la especie con que está combinada. En general, se observó que los tratamientos que integraron más de una especie fueron los que produjeron una mayor cantidad de materia seca de raíces, destacándose aquellos en los que estuvo presente PV. Estos resultados son coherentes con lo que se observó con los niveles de abundancia y distribución de raíces para cada especie en el perfil del suelo. En Anguil, en un suelo profundo (mayor de 300 cm), arenoso (85 % de arena) y bajo contenido de materia orgánica (menos de 1 %) se cuantificaron 3000 kg/ha de biomasa de raíces en una pastura de pasto llorón de 11 años (Fagioli, 1980). El valor correspondiente a PLL en el presente estudio y transcurridos 5 años desde la implantación fue de 4900 kg/ha, en un suelo con 50 cm de profundidad, de textura franca arenosa y 2,3 % de materia orgánica.

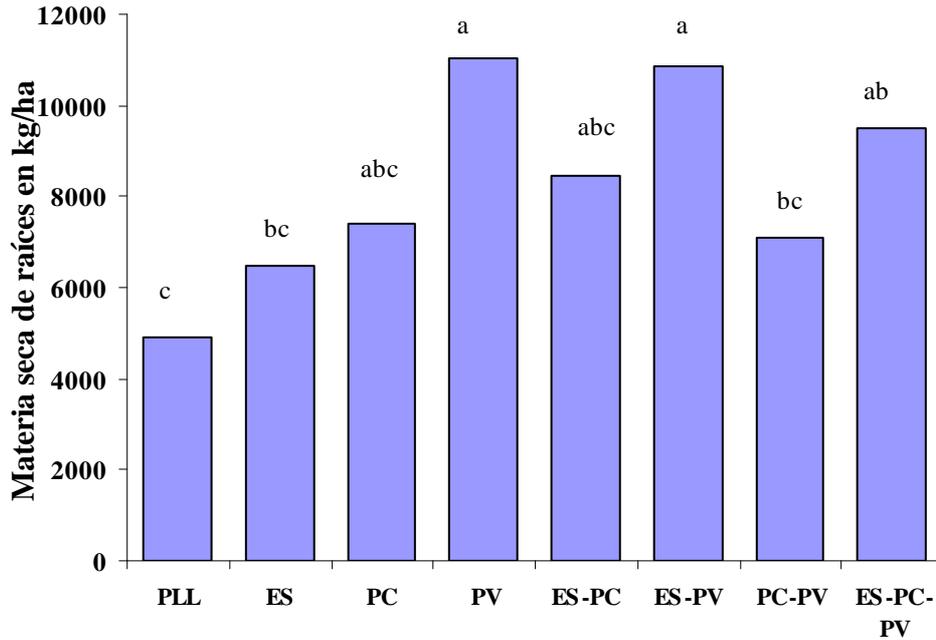


Figura 11. Producción de materia seca de raíces para todos los tratamientos, de 0 a 25 cm de profundidad. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Diferentes letras indican diferencias significativas entre los tratamientos comparados (LSD; $P < 0.05$).

PLL: *Eragrostis curvula*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

La distribución y la biomasa de raíces varía en función de la profundidad de los suelos (Monti, 2009). En estudios realizados por Ma *et al.* (2000a) con PV se observó que el peso de las raíces disminuía entre 0 a 15 cm de profundidad, entre 15 a 30 cm de profundidad y continuaba decreciendo a mayores profundidades. En suelos, con profundidades de hasta 150 cm, los valores de biomasa de raíces en los primeros 30 cm variaron entre 13124 kg/ha y 28585 kg/ha (Ma *et al.*, 2000a). Así mismo, Mengel y Baber (1974) observaron que la distribución y la biomasa de raíces de PV varían con el tipo y profundidad del suelo, encontrándose que las diferencias podían hasta quintuplicarse, destacándose entonces la importancia de la elección correcta del suelo para favorecer la producción de biomasa radical. A nivel de especie, el genotipo también influye en la producción de raíces. Por ejemplo, la producción de biomasa radical de PV varió según el cultivar entre 8355 y 14039 kg/ha (Ma *et al.*, 2000).

El estudio de la abundancia y distribución de las raíces es de gran interés porque influencia el grado de exploración del perfil de suelo y el aprovechamiento de los recursos disponibles. En general, los cultivos con buen desarrollo radical, en particular en profundidad, son más propensos a tolerar períodos duraderos de sequía debido a que pueden acceder a las capas de suelo más húmedas (Mackay y Barber, 1985; Amato y

Ritchie, 2002; Yu *et al.*, 2007). Dicho tipo de cultivos pueden producir una cantidad de biomasa radical considerable incluso bajo condiciones de sequía (Blum y Sullivan, 1986; Salih *et al.*, 1999; Christou *et al.*, 2001; Lewandowski *et al.*, 2003; Stroup *et al.*, 2003). No obstante, vale mencionar que la fortaleza de la relación entre desarrollo radical y tolerancia a sequía depende de la especie (Gregory, 1978; Steingrobe *et al.*, 2000; Vamerali *et al.*, 2003). En el presente estudio, la escasa profundidad del suelo muy probablemente ha limitado la expresión de los sistemas radicales más vigorosos. En este contexto, no obstante, PV fue la especie cuyas raíces exploraron prácticamente todo el perfil del suelo.

Carbono Orgánico

No se detectaron diferencias significativas ($P > 0,05$) en el contenido de carbono orgánico edáfico en los primeros 20 cm del suelo al final del período de medición entre “fuera” del ensayo y “dentro” del ensayo para cada uno de los tratamientos (Figura 12). Sin embargo, en valores absolutos se observó una tendencia a un mayor secuestro de carbono en los tratamientos con especies megatérmicas en relación a los cultivos agrícolas (“fuera” del ensayo). El total de carbono orgánico secuestrado en los primeros 20 cm de suelo fue, en promedio, de 33 tn C/ha bajo cultivo de especies megatérmicas y de 30,7 tn C/ha bajo labranza con arado de disco con destino a cultivo agrícola (“fuera” del ensayo) (Figura 13). En general, las especies megatérmicas mantuvieron el nivel de carbono orgánico de la situación inicial, cinco años antes de su implantación; mientras que, el suelo bajo cultivos agrícolas perdió, en promedio, 0,9 tn C/ha año. Se conoce que el cultivo de PV en particular puede mejorar la calidad del suelo por reducción de pérdidas de nutrientes y secuestro de carbono debido a su extensivo y profundo sistema radical, alta producción de biomasa radical y por el atributo de perennidad (Sladden *et al.*, 1991, Ma *et al.*, 1996). Esto fue confirmado en el presente estudio (Figura 10 a y b) ya que se observó que el sistema radical de PV, solo o en combinación con las otras especies, ocupa gran parte del perfil del suelo.

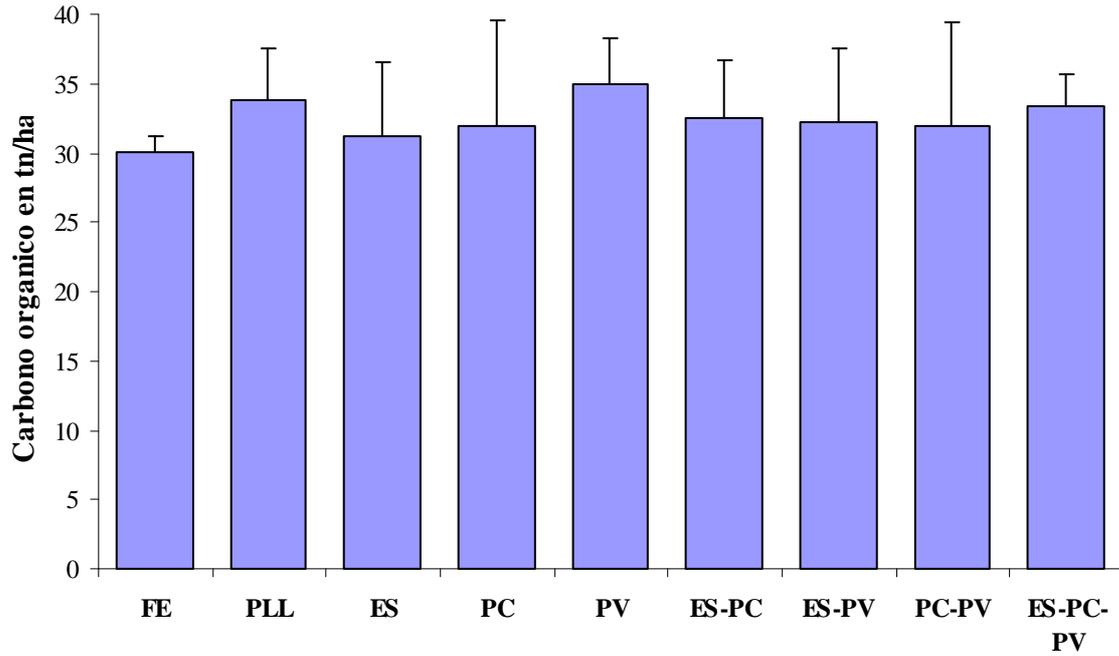


Figura 12. Contenido de carbono orgánico edáfico en los primeros 20 cm de suelo “fuera” del ensayo y “dentro” del ensayo para cada uno de los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones.

FE: fuera del ensayo; PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*. Las barras indican el desvío estándar de la media.

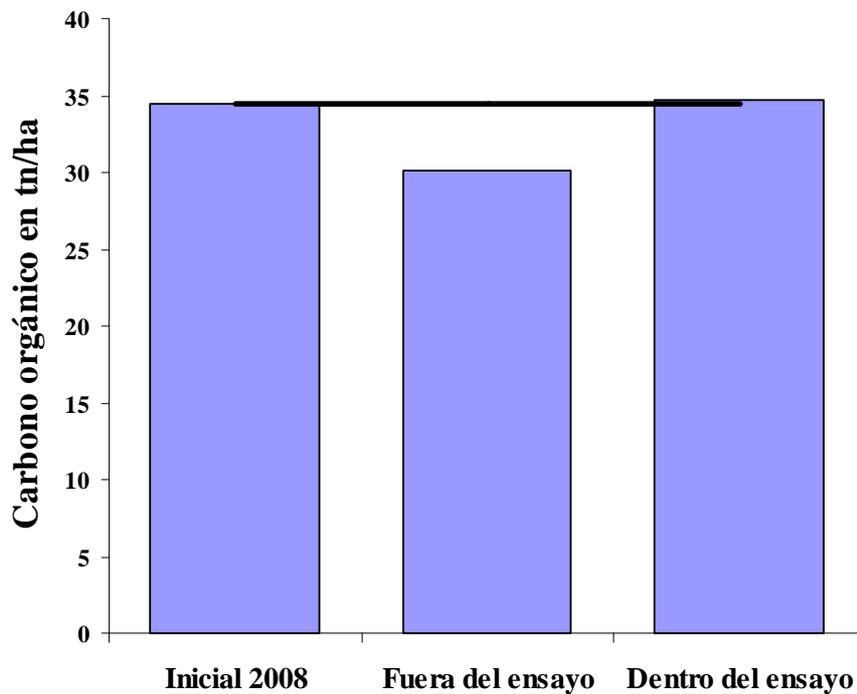


Figura 13. Contenido de carbono orgánico edáfico en los primeros 20 cm del suelo al inicio (2008) y al final del estudio (2012), fuera del ensayo (cultivos agrícolas) y dentro del ensayo, promedio de todos los tratamientos.

Los suelos con larga historia de cultivo por lo general contienen menos carbono orgánico edáfico que en su situación original. Si la cobertura vegetal pasa a estar representada por vegetación perenne por abandono de la tierra y sucesión natural o por decisión de manejo activa (Ej. conversión a pastura), los contenidos de carbono generalmente se incrementan, con excepción de áreas que han sido degradadas a un punto tal que su potencial biológico es irrecuperable a escala de tiempo de manejo (Andriulo *et al.*, 2001). En general existe una relación lineal entre aportes de carbono de los residuos al suelo y su nivel de carbono orgánico o el cambio en ese nivel (Robinson *et al.*, 1996, Kanchikerimath y Singh 2001, Majumder *et al.*, 2007). Consecuentemente, manejos que incrementan el retorno de residuos llevan a incrementos del contenido de carbono edáfico (Campbell *et al.*, 1991, 2005, Russell *et al.*, 2005). La revisión de resultados de experimentos de larga duración a nivel global, realizados mayoritariamente en ambientes templados y templado-fríos, sugiere una velocidad media de secuestro de carbono, bajo siembra directa en relación a manejos con labranza, de entre 0,3 y 0,5 tn C/ha año, con niveles de acumulación total de 3 a 12 tn C/ha al llegar al equilibrio (West y Post, 2002; Álvarez, 2005). Estos incrementos representan entre un 10 y un 16 % de aumento del contenido de carbono en el estrato labrado del suelo. En regiones templado-cálidas (Chan *et al.*, 2003, Steinbach y Álvarez, 2006) y tropicales (Six *et al.*, 2002), los incrementos medios descriptos son menores, promediando 2-3 tn C/ha.

El secuestro de carbono es más importante en suelos con bajo contenido inicial de carbono, tendiendo a decrecer en suelos ricos en materia orgánica (VandenBygaart *et al.*, 2003, Franzluebers, 2005). En este experimento la cantidad de carbono en los primeros 20 cm de suelo fue en promedio 2,6 tn C/ha superior bajo las especies megatérmicas que bajo arado de disco, representando un incremento porcentual del 8 % en tan solo 5 años. Este valor es mayor a los incrementos medios reportados previamente, pero está en concordancia con resultados de una revisión de experimentos realizados en la Región Pampeana, que muestra mayores diferencias porcentuales en los contenidos de carbono de los suelos del Oeste Pampeano (pobres en carbono) que en suelos del Este (ricos en carbono) como consecuencia de adoptar siembra directa en contraposición a sistemas con labranza convencional (Steinbach y Álvarez, 2006). En suelos con alto nivel de materia orgánica son esperables, bajo siembra directa, aumentos del orden del 5 % en los niveles de carbono, pasando estos aumentos a un 20 % en suelos pobres en materia orgánica. No obstante, los resultados del presente estudio los debemos manejar con cautela debido a que

la variabilidad no permitió detectar diferencias significativas ($P > 0,05$) entre momentos de muestreos en el contenido de carbono del suelo en el corto período de duración del experimento.

Infiltración

La infiltración o cantidad de agua que ingresa al suelo a través de su superficie, es una función creciente con el tiempo; mientras, que la velocidad de infiltración es una función variable y decreciente. La velocidad de infiltración es la relación entre el volumen infiltrado o lámina y el tiempo transcurrido. Su representación gráfica es una curva cóncava, decreciente en el tiempo y asintótica del eje que la representa. La velocidad de infiltración decrece en el tiempo rápidamente, siendo elevada al comenzar el proceso (Figura 14). Eso se debe a que en el fenómeno participan otras fuerzas además de la gravitatoria, como por ejemplo las tensiones capilares. En una primera etapa tiene lugar el almacenaje de agua, y colmada esta capacidad, el horizonte en cuestión actúa como una capa de conducción, transfiriendo a horizontes inferiores el agua que ingresó al mismo. Cuando la velocidad de infiltración se estabiliza en el tramo asintótico de la curva, la velocidad de infiltración se aproxima a la conductividad hidráulica (Álvarez *et al.*, 2012).

La mayor velocidad de infiltración correspondió al sitio dentro del ensayo en los primeros 10 minutos (1200 vs 600 mm/hora, Figura 14), mientras la infiltración final fue muy similar 41,8 mm/hora y 39,0 mm/hora para dentro y fuera del ensayo, respectivamente, Las pasturas perennes dejan residuos sobre la superficie del suelo que protegen a los agregados del impacto de las gotas de lluvia. También aumentan el contenido de materia orgánica y la actividad biológica en los primeros centímetros del suelo. Nardone (1994) explica que los poros se generan en parte como consecuencia de la mayor actividad de la fauna edáfica y del sistema radical de las especies perennes, lo cual en ausencia de las labranzas determina que se mantenga la continuidad de los mismos aumentando la infiltración. Un efecto similar se logra con la siembra directa al mantener el suelo cubierto con residuos vegetales (Quiroga y Monsalvo, 1989; Álvarez, 2007).

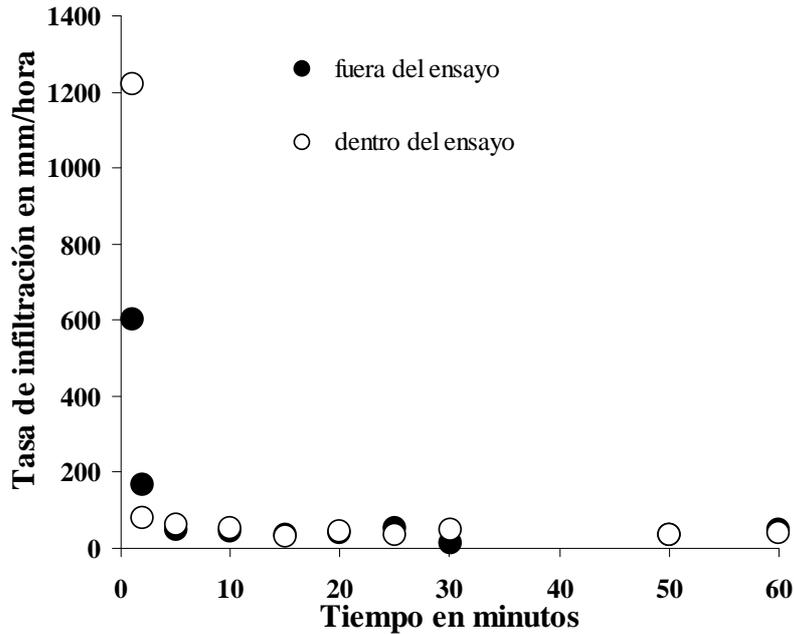


Figura 14. Tasa de infiltración dentro y fuera del ensayo. Los valores son el promedio de cuatro repeticiones.

Estabilidad de agregados

Para evaluar la estabilidad de agregados se determinó la textura del suelo fuera y dentro del ensayo y de un suelo de referencia, representado por una isleta de monte de caldén cercana al sitio del ensayo (Foto 1, Tabla 9). No se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) entre las texturas de los tres sitios, lo cual permitió comparar los valores de cambios en el diámetro medio ponderado (CDMP) de los agregados del mismo suelo bajo distintos manejos. En los primeros 20 cm del suelo el CDMP fue menor ($P < 0,01$) en el suelo bajo monte de Caldén (0,45 mm) que en el suelo dentro (1,04 mm) y fuera (1,53 mm) del ensayo. Vale mencionar que cuanto menor es el CDMP de los agregados del suelo mayor es la estabilidad de los mismos. Los valores de CDMP resultaron en un Índice de Estabilidad Relativa (IER) (Ecuación 1) de los agregados del suelo mayor ($P < 0,01$) dentro (42,7%) que fuera (29,2%) del ensayo. Dichos valores resultaron en un IER muy bueno dentro del ensayo y no satisfactorio fuera del ensayo, siguiendo el criterio de Palma (2005) (Tabla 10).

Tabla 9. Textura del suelo del sitio de estudio bajo diferentes usos. Los valores son el promedio de cuatro repeticiones.

	L+A	Arcilla	Limo	Arena	Clase Textural
	%				
Monte de Caldén	35,8	2,7	33,0	64,2	Franco arenoso
Fuera del Ensayo	40,8	5,2	35,5	59,3	Franco arenoso
Dentro del Ensayo	39,5	4,0	35,5	60,5	Franco arenoso

L+A: limo más arcilla.

Monte de caldén: suelo de referencia (situación sin historia de laboreo del suelo).

Tabla 10. Interpretación del índice de estabilidad relativa (IER), según Palma (2005).

GRADO	ÍNDICE DE ESTABILIDAD RELATIVA (%)
Excelente	> 50
Muy Bueno	50 – 40
Bueno	40 – 33
No satisfactorio	33 – 25
Malo	< 25

La interpretación de los IER de los agregados del suelo fuera y dentro del ensayo es que la agricultura continua con labranza convencional de la zona produce la degradación física de los suelos, promoviendo la erosión eólica e hídrica de los mismos. Por otro lado, luego de cinco años de implantación de las especies megatérmicas se mejora y mantiene la condición física del suelo mitigando los procesos de degradación. Al evaluar los efectos del manejo sobre la estructura, también resulta importante considerar los cambios cualitativos, atendiendo al diferente grado de influencia de las distintas fracciones orgánicas sobre las propiedades físicas de los suelos. En relación con la estabilidad de los agregados, Tisdall y Oades (1982) diferenciaron los agentes orgánicos de unión en transitorios (principalmente polisacáridos), temporarios (raíces e hifas de hongos) y persistentes (componentes aromáticos). Mientras la fracción orgánica temporaria confiere estabilidad a los macroagregados, y por lo tanto puede ser controlada por el manejo (Wright y Hons, 2005), la estabilidad de los microagregados es controlada por la materia orgánica persistente ligada a las fracciones minerales más finas y en consecuencia está poco influenciada por el manejo. Al respecto resultan de interés los estudios realizados por Boix-Fayos *et al.* (2001), quienes al evaluar suelos del Sur de España a través de una climosecuencia comprobaron que la estabilidad de los microagregados mostró correlación positiva con los contenidos de arcilla; mientras que la de los macroagregados con la materia orgánica. De esta manera, la materia orgánica asociada con partículas menores a

20 μm parece no contribuir significativamente a la estabilidad de macroagregados (Caravaca *et al.*, 2004).

Analizando las variables edáficas del presente ensayo, se observó que coinciden con resultados de trabajos enfocados en determinar el efecto de los sistemas de labranza sobre los parámetros físicos y químicos del suelo: materia orgánica (Rosell y Andriulo, 1989), densidad aparente (Ross y Hughes, 1985) y estabilidad estructural (Pilatti *et al.*, 1988). Sin embargo, los cambios en las propiedades de los suelos no solo sólo dependen del sistema de labranza, sino también del tipo de suelo y clima (Buzchiazzo *et al.*, 1998), de los niveles iniciales de materia orgánica (Fenster y Peterson, 1979), de la secuencia y rendimientos de los cultivos, y de los aportes de residuos de cosecha (Halvin *et al.*, 1990). La evaluación de las propiedades edáficas que resulten más sensibles a los efectos del manejo permiten, respecto de otras propiedades, anticipar la dirección de los cambios en los suelos (degradación, conservación o recuperación). La magnitud y oportunidad de estos cambios resulta frecuentemente dependiente de la condición inicial de los suelos (Quiroga *et al.*, 1998). La materia orgánica en los suelos facilita la agregación, incrementando la capacidad de almacenaje de agua y la fertilidad, como así mismo la resistencia a la erosión. Resultados de Diaz- Zorita y Davies (1995) mostraron que los contenidos de materia orgánica crecen al aumentar la edad de las pasturas. Estos cambios se relacionan con el incremento en la cobertura de las gramíneas, debido a que a estas especies se les atribuye una buena participación de sus raíces en la agregación de los suelos y el movimiento del agua. Además, los mayores contenidos de materiales orgánicos favorecen la actividad biológica e inducen a la formación de bioporos reduciendo significativamente la densidad aparente e incrementando la estabilidad de los agregados. Por lo tanto, es de sumo interés la inclusión de pasturas que permitan un aumento del stock de carbono orgánico (Cerri *et al.*, 1996). Pero, se debe tener en cuenta que los sobrepastoreos pueden disminuir la productividad y provocar fenómenos de degradación y erosión y por consiguiente pueden causar una disminución del carbono orgánico.

Especies Megatérmicas

Producción y calidad nutritiva

Se analizó la producción de materia seca y calidad nutritiva de cada parcela monofítica y combinada para los años 2010 y 2012 (Figuras 15 a 25 y Tabla 11). Todas las determinaciones se realizaron con material cosechado en el mes de julio, cuando las especies acumulaban todo el material producido en la estación de crecimiento inmediata anterior y se encontraban en estado de madurez avanzado.

Producción de Materia seca

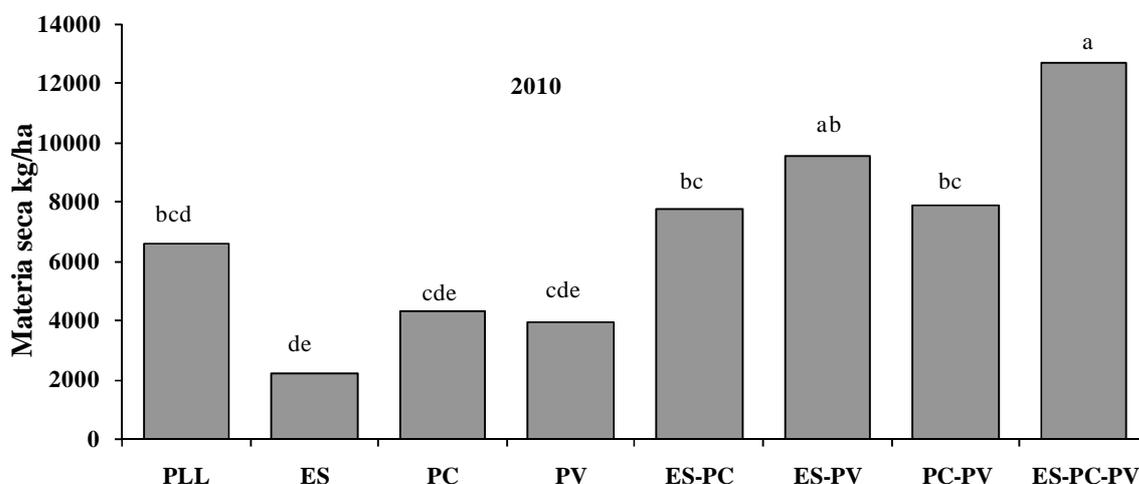


Figura 15. Producción de materia seca para todos los tratamientos. Año 2010. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY; $P < 0,05$).

PLL: *Pasto Llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

Las barras indican el desvío estándar de la media.

El tratamiento ES-PC-PV se diferenció ($P < 0,05$) de todos los tratamientos, menos de ES-PV, dando los mayores niveles de producción de materia seca en el año 2010 (Figura 15, Tabla 11). Entre las parcelas monofíticas no hubo diferencias significativas. Sin embargo, en valores absolutos el PLL fue el de mayor producción y ES el de menor producción. En general, los tratamientos con las especies combinadas tuvieron mayor producción que cuando estuvieron solas. El promedio de acumulación de biomasa aérea para las parcelas monofíticas de ES, PC y PV fue 3496 kg/ha; mientras que, el promedio para las mismas especies, en combinaciones de dos especies (ES-PC; ES-PV y PC-PV) fue 8411 kg/ha. La combinación de las tres especies fue la de más alta acumulación de MS de todo el ensayo (12684 kg/ha). En general, las parcelas que tuvieron a PV como uno de sus

integrantes, tendieron a presentar mayores cantidades de materia seca, lo cual estuvo asociado al mayor porte de esta especie en comparación al resto de las especies.

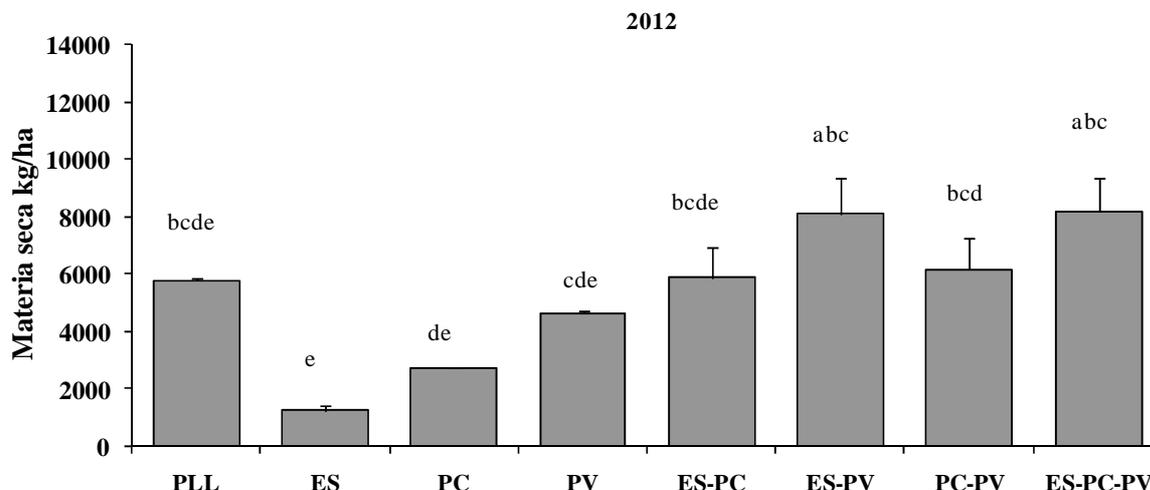


Figura 16. Producción de materia seca para todos los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY; $P < 0,05$).

.PLL: *Pasto Llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*. Las barras indican el desvío estándar de la media.

Para el corte del año 2012, el tratamiento ES se diferenció ($P < 0,05$) de los tratamientos ES-PV, PC-PV y ES-PC-PV (Figura 16, Tabla 11). No hubo diferencias entre las pasturas monofíticas, al igual que en el 2010, y en términos de valor absoluto el PLL fue nuevamente el de mayor producción y ES el de menor producción. Si bien en general, los niveles de producción del año 2010 fueron mayores en relación al 2012, en los dos años el tratamiento ES-PC-PV fue el de mayor rendimiento (8217 kg/ha en 2012). En las pasturas monofíticas, PLL y PV fueron las únicas que mantuvieron niveles similares de acumulación de biomasa aérea en los dos años de medición. Se debe tener en cuenta que el potencial productivo de cada especie forrajera está determinado genéticamente, pero su manifestación se ve controlada por factores ambientales tales como fertilidad edáfica, disponibilidad de agua, fitosanidad y manejo de la defoliación, entre otros (Viglizzo, 1981). En el presente ensayo, las diferencias en cantidad y distribución de las precipitaciones entre el ciclo de crecimiento 2009-2010 (618,5 mm) y el ciclo de crecimiento 2011-2012 (511 mm) explicarían en parte las diferencias observadas en la producción de materia seca entre ambos ciclos, estos resultados coinciden con la información obtenida por Veneciano *et al.*, 1912. Las características edáficas y la disponibilidad de agua, por su parte, pueden considerarse factores escasamente

controlables en condiciones de producción extensiva. La adaptación al medio, además, reconoce como requisito esencial la capacidad de las pasturas para sobrevivir y producir con las restricciones térmicas y pluviales propias de la región pampeana semiárida. Un aspecto particularmente relevante de la fertilidad edáfica es el relacionado con el nitrógeno, el nutriente que con mayor frecuencia limita el crecimiento y la calidad de las gramíneas tanto en pasturas monofíticas como en asociadas (Marino y Agnusdei, 2004). Si bien la respuesta al agregado de nitrógeno ha sido corroborada en numerosos trabajos nacionales e internacionales (Bono y Alvarez, 2012), y se destaca entre las técnicas disponibles para mejorar el rendimiento de forraje por su alto impacto productivo y económico, en nuestro país su aplicación está poco difundida en pasturas cultivadas y es casi inexistente en pastizales naturales (Marino y Agnusdei, 2004). En trabajos realizados en Villa Mercedes (San Luis) se ha observado una reducción progresiva de los rendimientos de las pasturas (años 2 y 3) no explicada por el nivel de lluvias, siendo atribuida a la baja disponibilidad de nutrientes edáficos (Veneciano, 2006). La tendencia se logra revertir con el aporte de nitrógeno (años 4 y 5).

Cantero Gutiérrez *et al.*, (1985) señalan que las pasturas de gramíneas con varios años de implantadas tienen bajos niveles de mineralización del nitrógeno orgánico y gran parte de lo mineralizado se inmoviliza, lo cual es particularmente acentuado en las especies C₄ (Wedin y Tilman, 1990, Wedin, 1995), factor que se agrava en la región de estudio por la ya escasa disponibilidad edáfica de este nutriente. Por lo tanto, una disminución en la disponibilidad de nutrientes, particularmente nitrógeno, contribuiría a explicar junto con las menores precipitaciones los menores valores de acumulación de materia seca registrados en julio de 2012 en comparación con julio de 2010.

Contribución de Materia seca por especie

Para los años 2010 y 2012, el comportamiento de las especies en los tratamientos combinados fue similar con una tendencia de valores más altos de biomasa aérea correspondientes a las pasturas polifíticas. En el promedio del aporte de biomasa aérea acumulada de cada una de las especies muestra que *P. coloratum* es la que predomina, participando entre un 78 y 97 % cuando se encuentra en la mezcla. Esto puede ser debido a que esta especie tiene un rebrote más temprano o anticipado que las otras que integran las combinaciones. Le sigue *P. virgatum*, con un porcentaje de 92 % cuando se mezcla con *E.*

superba; es probable que esto sea consecuencia del gran porte de esta especie con respecto al de *E. superba*. Sin embargo, su presencia baja a 11 - 13 % cuando se combina con las otras especies. Finalmente, *E. superba* es la especie con menor aporte de biomasa área (3 a 12 %) en todas las mezclas en que participa (Figura 17). Asimismo, la producción de biomasa área de las mezclas muestra resultados coherentes con lo que se observó con la producción de materia seca y la abundancia y distribución de raíces en el perfil del suelo (Figuras 10 y 11).

De este modo, la combinación de gramíneas perennes megatérmicas produjo un incremento en la producción promedio de forraje, con la ventaja potencial de un mejoramiento del suelo producto de una mayor producción de materia seca y de abundancia de raíces en el suelo. Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, para el período bajo estudio (cuatro años) y en suelos muy poco profundos, las especies megatérmicas puras o en mezclas mantuvieron el nivel de carbono orgánico de la situación inicial.

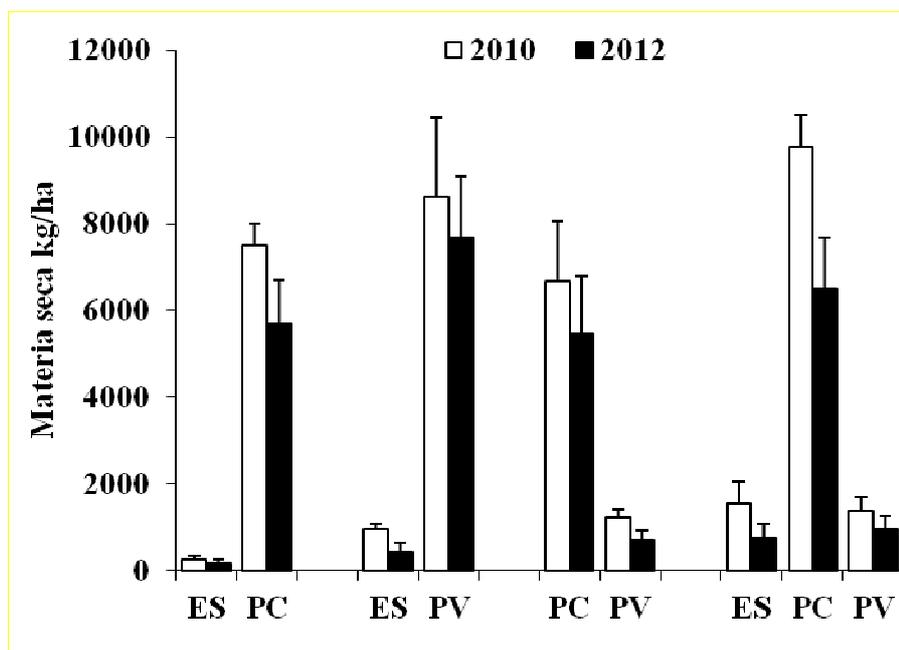


Figura 17. Contribución de materia seca de cada especie en los tratamientos con las combinaciones de a dos y de a tres de las megatérmicas. Años 2010 y 2012. Promedio de tres repeticiones.

PII: *Pasto Llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum*, PV: *Panicum virgatum*

Las barras indican el desvío estándar de la media.

Con la información obtenida en este estudio y los alcanzados en otras situaciones de clima y suelo sobre productividad, calidad nutritiva y secuestro de carbono, podemos señalar resultados promisorios en el uso de mezclas megatérmicas. Por consiguiente, debe continuar la evaluación de este tipo de pasturas compuestas y la identificación de las mejores especies para incluir en las mezclas.

Calidad Nutritiva

Digestibilidad

Para el corte 2010, el tratamiento ES solo se diferenció ($P<0,05$) del tratamiento PLL, con valores de 52% y 34%, respectivamente (Figura 18). No hubo diferencias con el resto de los tratamientos. Aunque ES sólo se diferenció de PLL, en términos de significancia estadística, fue la especie que mostro mayor nivel absoluto de digestibilidad con respecto al resto de los tratamientos. En los tratamientos combinados los niveles de digestibilidad fueron similares, y variaron en el rango 38 -46%.

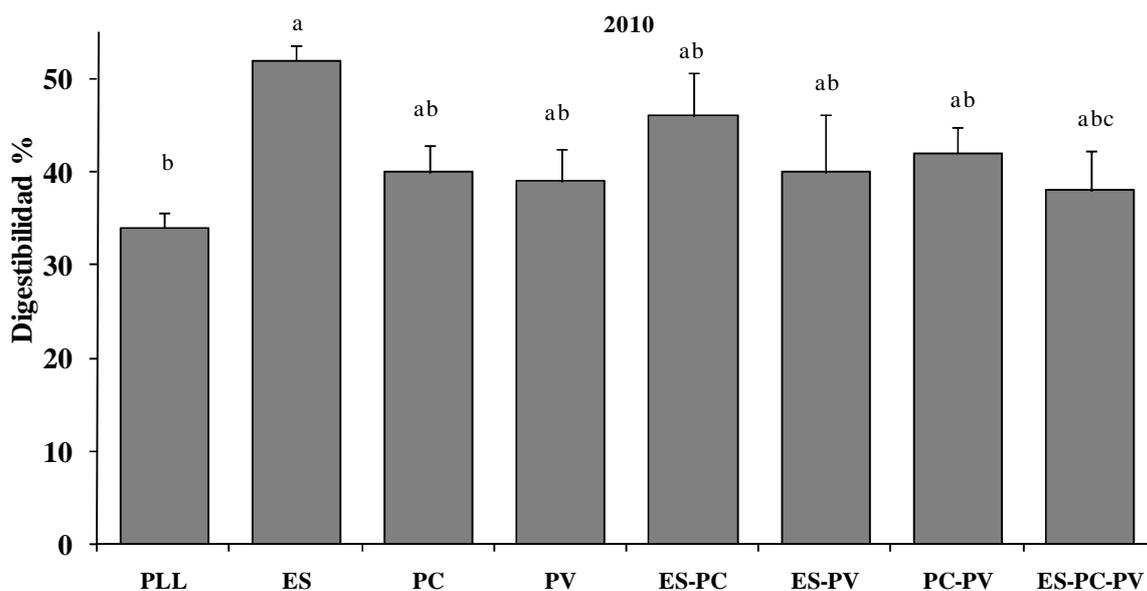


Figura 18. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2010. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY; $P<0,05$).

PLL: *Pasto Llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

Las barras indican el desvío estándar de la media.

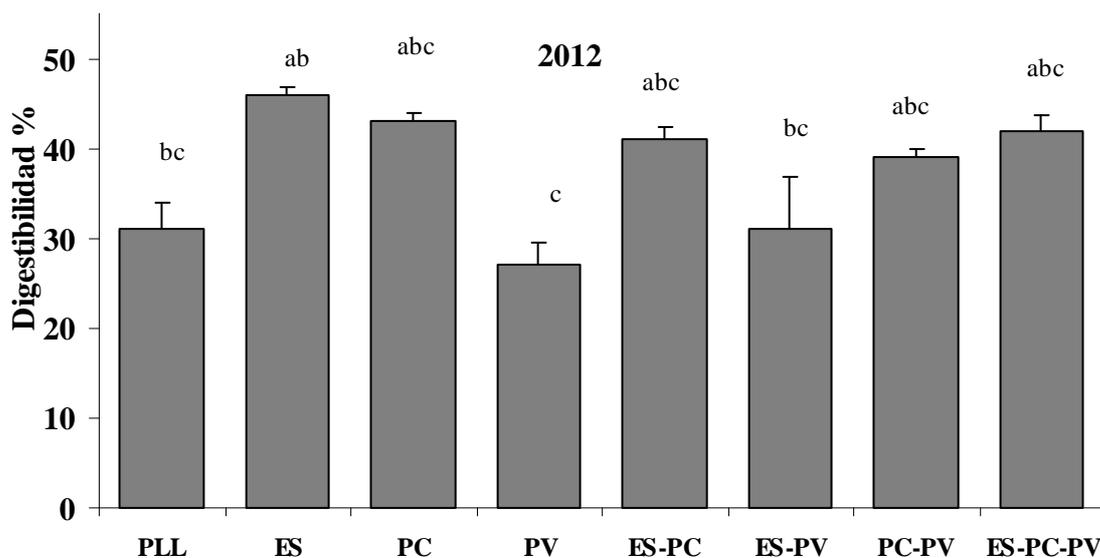


Figura 19. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $P < 0,05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

Las barras indican el desvío estándar de la media.

El tratamiento ES, en el corte 2012, sólo se diferenció ($P < 0,05$) del tratamiento PV, con valores de 46% y 27% respectivamente (Figura 19). No hubo diferencias con el resto de los tratamientos. En las pasturas monofíticas ES fue la de mayor digestibilidad y PV la de menor digestibilidad. En tanto, las pasturas de PLL y PC mostraron valores intermedios entre las especies anteriores, sin diferenciarse de las mismas. En los tratamientos combinados, y en términos de valor absoluto, ES-PV mostró un nivel menor de digestibilidad respecto a los otros tratamientos. El gran aporte de materia seca por parte de PV, que es la especie con los valores más bajos de digestibilidad, explicaría la baja digestibilidad de la combinación ES-PV. Existe información previa que pone de manifiesto el bajo valor nutritivo del forraje diferido de esta especie (PV) (Stritzler y Petruzzi, 2005). Durante el crecimiento de una gramínea hay acumulación de tejidos de sostén y cambios en la organización interna de la pared celular, lo cual determina que el forraje se torne menos digestible (Mertens, 1993; Wilson y Mertens, 1995). Este proceso es más intenso en PV que en otras gramíneas C_4 , dado que por su elevado porte (puede alcanzar más de 200 cm de altura) produce tallos gruesos y lignificados. Por otro lado, PV tiene una tendencia marcada a perder las láminas en invierno, en mayor medida que otras especies. Ambos factores contribuyen a la pérdida de digestibilidad de la especie; y por lo tanto de las parcelas monofíticas o las combinaciones que las incluyen, aunque lo último dependería

del tipo de especie con la (s) que se combina. En la combinación ES-PC los valores no son tan bajos puesto que PC tiene mejores valores de digestibilidad, aun como diferido.

De acuerdo a los resultados obtenidos, las especies en diferido pueden tener una buena acumulación de materia seca, pero de baja digestibilidad. Los factores asociados a la pérdida de digestibilidad en PV, pueden generalizarse a las otras especies también, aunque la caída sea menor. A medida que avanza la edad del forraje lo hace asociado con una disminución en la foliosidad y un incremento en la relación tallo:hoja. Los tallos en general presentan calidad nutritiva más baja que las hojas, en particular en plantas con forraje maduro (Minson, 1990). A su vez, la disminución en la calidad nutritiva generalmente está relacionada con un incremento en la proporción de tejido estructural lignificado (Van Soest, 1982).

Proteína

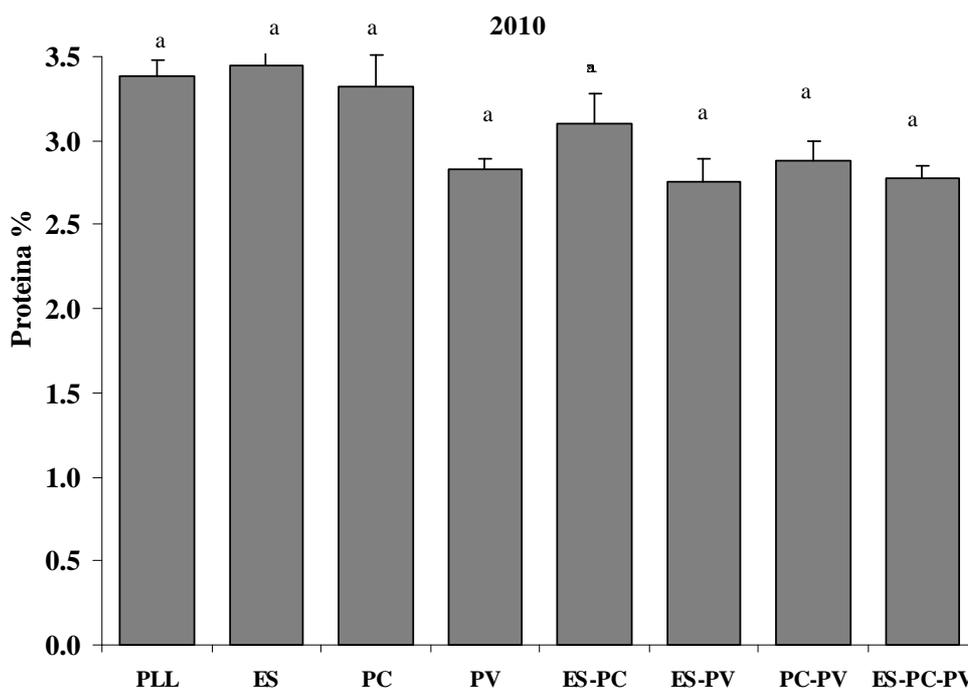


Figura 20. Proteína de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2010. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $p < 0,05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

Las barras indican el desvío estándar de la media.

Los contenidos de proteína del forraje cosechado en 2010 no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (Figura 20). Pese a la falta de diferencias estadísticas, dentro las especies puras, PLL, ES y PC presentaron los mayores contenidos de proteína. En comparación, para las pasturas combinadas los niveles fueron ligeramente más bajos y similares entre sí. En general, los porcentajes de proteína más bajos estuvieron asociados a PV, tanto cuando estuvo solo o participando en combinaciones con otras especies.

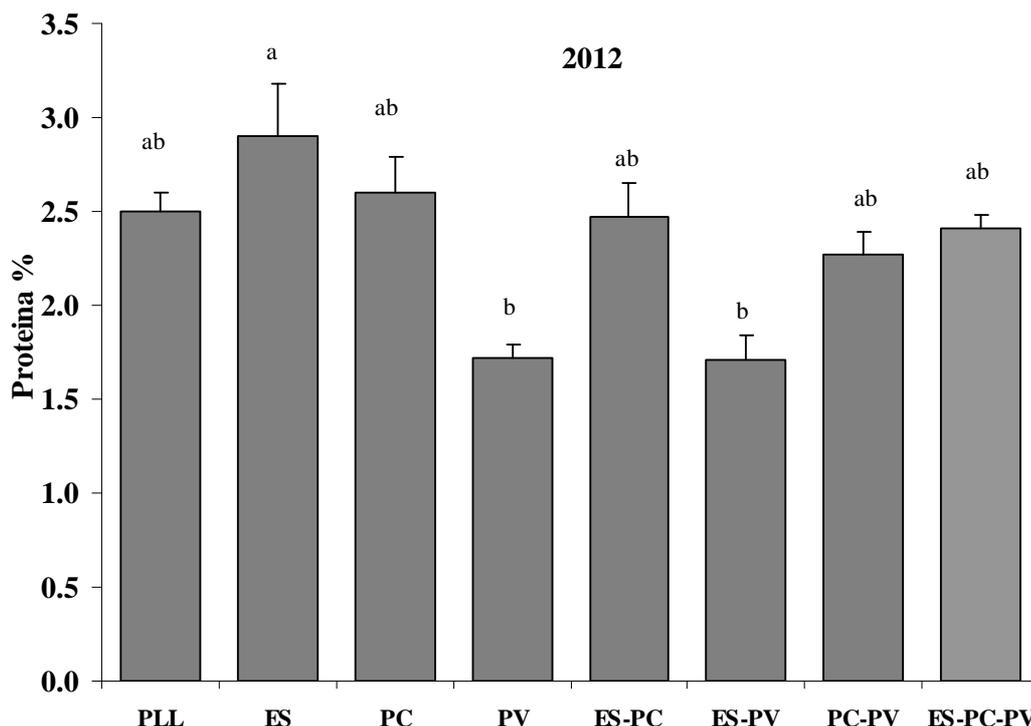


Figura 21. Proteína de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $P < 0,05$).

PLL: *Pasto Llorón*, ES: *Eragrostis Superba*, PC: *Panicum Coloratum* y PV: *Panicum Virgatum*.

Las barras indican el desvío estándar de la media.

En el año 2012, el tratamiento ES se diferenció ($P < 0,05$) de los tratamientos PV y ES-PV (Figura 21). Los niveles de proteína más bajos se encontraron en los tratamientos PV y ES-PV, mientras los demás tratamientos mostraron niveles proteicos similares. En ambos años de medición, los porcentajes de proteína más bajos se registraron en PV. La relativamente alta proporción tallo: hoja en el material diferido de esta especie explicaría la baja concentración proteica del mismo, dado que las proteínas se concentran particularmente en las hojas (Minson, 1990, Redfearn y Jenkins, 2000).

Los datos de este estudio estuvieron cercanos a los obtenidos por Stritzler *et al.*, (2007), quienes informaron los siguientes valores de concentración proteica para forraje diferido de especies megatérmicas: *E. curvula* 3,4%, *E. superba* 4,6%, *P. coloratum* 4,5% y *P. virgatum* 2,6%. Por otro parte, los contenidos de proteína de las especies en estudio mostraron un ordenamiento similar a lo observado en ensayos realizados por Ruiz *et al.*, (2004) en ambientes del Caldenal, con características ambientales y edáficas similares a las del sitio del presente estudio.

Los valores de proteína del año 2012 fueron menores (1,7 a 2,9 %) a los obtenidos en el 2010 (2,8 a 3,5 %). Esto pudo deberse a diferencias en la disponibilidad de nitrógeno entre ambos años. Las gramíneas C₄ presentan una alta capacidad de inmovilización del nitrógeno del suelo (Wedin y Tilman, 1990; Wedin, 1990; Wedin, 1999), lo cual es de esperar se acentúe con el paso del tiempo desde el establecimiento de la pastura. Sumado a esto, diferencias entre ambos años en las condiciones climáticas, principalmente temperatura y disponibilidad de agua, factores que controlan las reacciones químicas y la actividad microbiana del suelo, también podrían haber influenciado los resultados obtenidos (Marino y Agnusdei, 2004).

Fibra en detergente neutro

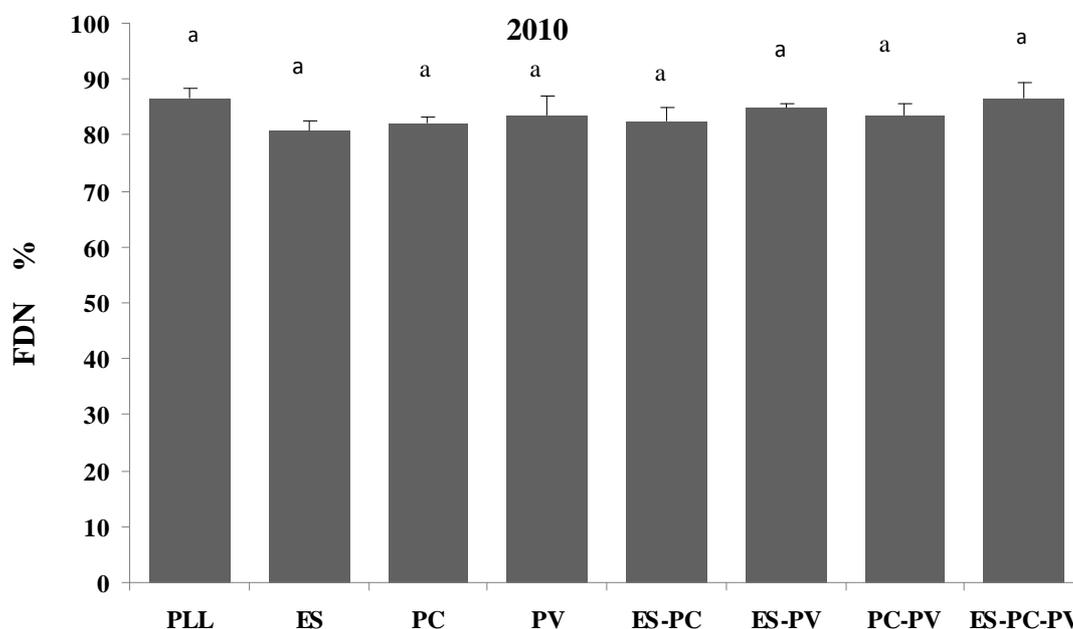


Figura 22. Fibra en Detergente Neutro de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2010. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las comparadas (TUKEY, $P < 0,05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*. Las barras indican el desvío estándar de la media.

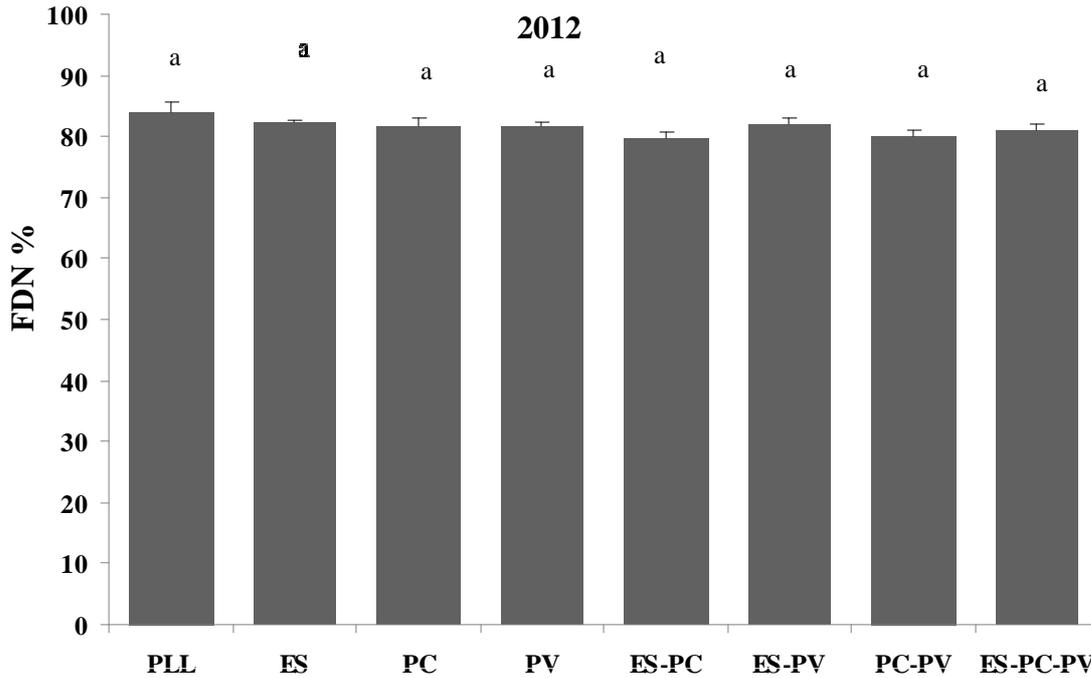


Figura 23. Fibra en Detergente Neutro de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $P < 0,05$). Las barras indican el desvío estándar de la media.

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

Tanto en el forraje diferido cosechado en el año 2010 como en el cosechado en el 2012 no se observó influencia de los tratamientos en el contenido de FDN (Figuras 22 y 23). La concentración de FDN en los distintos tratamientos varió entre el 80% y el 86% de la materia seca. Estos niveles de fibra limitan el consumo de materia seca, y por ende la producción animal (Rearte y Santini, 1989).

Fibra en detergente ácido

En el año 2010 la única diferencia significativa ($P < 0,05$) en la concentración de FDA de la materia seca fue la registrada entre los tratamientos PV y ES-PV (Figura 24). Tanto en los tratamientos de parcelas monofíticas como en las combinadas los valores de FDA variaron en el rango de 43,4 a 49,8 %, excepto en el tratamiento ES -PV que tuvo un valor promedio de FDA de 53,4%.

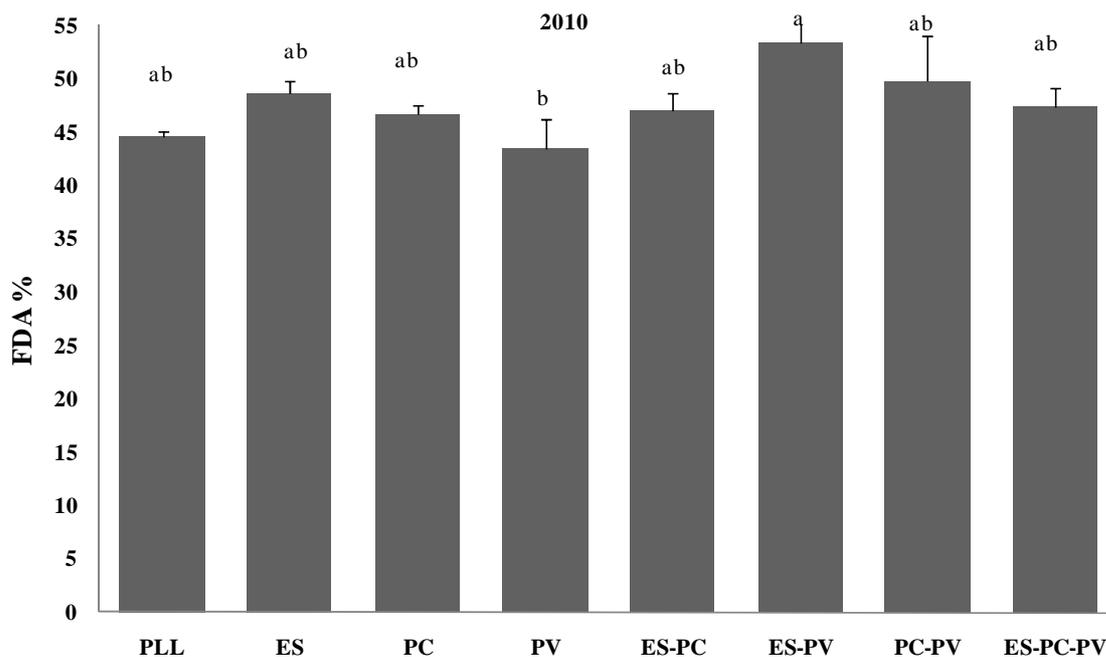


Figura 24. Fibra en Detergente Ácido de la materia seca para todos los tratamientos. Año 2010. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $P < 0.05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*. Las barras indican el desvío estándar de la media.

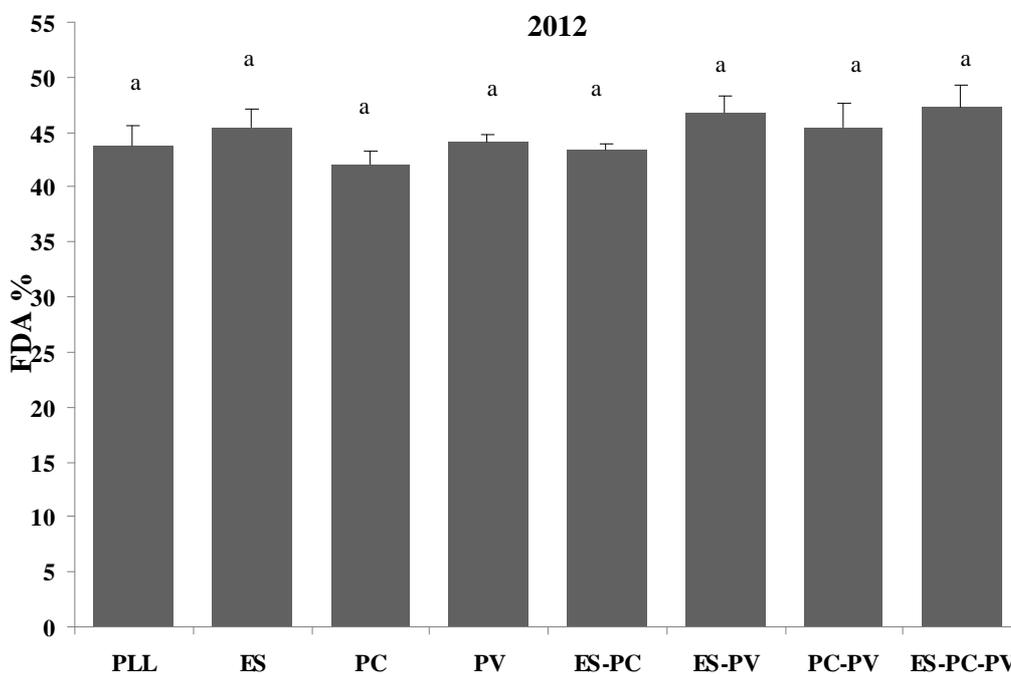


Figura 25. Fibra en Detergente Ácido en la materia seca para todos los tratamientos. Año 2012. Promedio de tres repeticiones. Letras diferentes indican diferencias significativas entre las medias comparadas (TUKEY, $P < 0.05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis Superba*, PC: *Panicum Coloratum* y PV: *Panicum Virgatum*. Las barras indican el desvío estándar de la media.

En el año 2012, no hubo diferencias significativas ($P>0,05$) entre tratamientos para FDA (Figura 25). El tratamiento ES-PV fue el de mayor valor (46,8%) al igual que en el año 2010 (53,4 %). Para ambos años, los contenidos de FDA fueron similares y variaron en el rango de 42 a 53%.

A modo de síntesis se muestra toda la información de producción y calidad nutritiva obtenida durante el periodo de estudio (Tabla 11).

Tabla 11. Producción y calidad nutritiva para todos los tratamientos para los años 2010 y 2012. Promedio de tres repeticiones.

Tratamientos	Rendimiento Materia seca		Digestibilidad		Proteína		FDN		FDA	
	Kg/ha									
	2010	2012	2010	2012	2010	2012	2010	2012	2010	2012
PLL	6596 bcd	5786 bcde	34,1 b	31,7 bc	3,4 a	2,5 ab	86,8 a	84,0 a	44,6 ab	43,8 a
ES	2249 de	1267 e	52,5 a	46,5 ab	3,5 a	2,9 a	80,8 a	82,3 a	48,7 ab	45,4 a
PC	4289 cde	2751 de	40,2 ab	43,1 abc	3,3 a	2,6 ab	82,0 a	81,7 a	46,7 ab	42,0 a
PV	3952 cde	4652 cde	39,5 ab	27,2 c	2,8 a	1,72 b	83,5 a	81,8 a	43,4 b	44,0 a
ES-PC	7762 bc	5878 bcde	46,3 ab	41,5 abc	3,1 a	2,47 ab	82,5 a	79,7 a	47,3 ab	43,4 a
ES-PV	9575 ab	8108 abc	40,2 ab	31,5 bc	2,8 a	1,71 b	84,9 a	82,1 a	53,4 a	46,8 a
PC-PV	7898 bc	6177 bcd	42,2 ab	39,7 abc	2,9 a	2,27 ab	83,7 a	80,0 a	49,8 ab	45,4 a
ES-PC-PV	12684 a	8217 abc	38,6 abc	42,2 abc	2,8 a	2,41 ab	86,6 a	80,9 a	47,3 ab	47,3 a
CV %	26,2	26,2	14,1	14,1	17,1	17,1	3,4	3,4	7,1	7,1

Diferentes letras indican diferencias significativas (TUKEY, $P<0,05$).

PLL: *Pasto llorón*, ES: *Eragrostis superba*, PC: *Panicum coloratum* y PV: *Panicum virgatum*.

CV: *coeficiente de variación*.

Las características anatómicas de las especies C_4 determinan la expresión de componentes que afectan la calidad nutricional, como bajos porcentajes de PB y de carbohidratos solubles y altos porcentajes de compuestos estructurales como celulosa y hemicelulosa. A lo anterior se agregan otros factores tales como la baja relación hoja/tallo (asociada al estado de madurez), los efectos del estrés por sequía y del incremento de la concentración del dióxido de carbono atmosférico ($i[CO_2]$). Al inicio de la estación de crecimiento, el valor nutritivo de las gramíneas megatérmicas puede satisfacer los requerimientos de la cría y la recria bovina (Stritzler *et al.*, 2007). Sin embargo, debido a su rápido crecimiento y desarrollo, la calidad disminuye en forma significativa con el avance del ciclo de crecimiento. El valor nutritivo se relaciona con el estado de madurez y con el aumento de la proporción de tallos a partir del pasaje al estado reproductivo, dado que tanto la digestibilidad de la materia seca como el consumo de las hojas es mayor que el de los tallos (Poppi *et al.*, 1981).

Los problemas de calidad nutricional asociados con la presencia de tallos son más importantes en gramíneas megatérmicas ya que éstas, a diferencia de las templadas, no tienen requerimientos ambientales específicos para florecer, y la elongación de tallos se produce durante toda la estación de crecimiento en forma continuada (Boonman, 1971). Luego de la floración la digestibilidad de los tallos declina, produciendo una disminución marcada en el valor nutritivo. En los tallos maduros, donde la digestibilidad es mucho menor que la de las hojas, los entrenudos superiores tienen una baja digestibilidad (Stobbs, 1973) debido a la elevada lignificación y a la degeneración del parénquima central (Steppler, 1951). Estos tallos tienen una alta proporción de tejidos vasculares y portan hojas con una elevada proporción de vainas, las que también tienen una baja digestibilidad (Wilson, 1976). En pasturas al estado reproductivo de las hojas ubicadas en la parte superior del canopeo son de tamaño pequeño y con una disposición dispersa sobre los tallos florales, en relación con las hojas de la parte media e inferior (Ferri *et al.*, 2006). La acumulación de forraje y la proporción de tallos reproductivos son afectados por el manejo de la defoliación; a mayor intervalo de tiempo entre cortes mayor acumulación de forraje y proporción de tallos reproductivos (Ferri *et al.*, 2011).

El porcentaje promedio de proteína en el forraje de gramíneas megatérmicas, cuantificado a través de la evaluación de un gran número de especies, es entre 4 y 6 % menor que en especies templadas (Minson, 1990), siendo frecuente la ocurrencia de deficiencias proteicas en ganado alimentado con las primeras. A partir de las consideraciones previas se deduce que las gramíneas megatérmicas tienen una calidad nutricional inferior a la de las templadas. Pero, es posible incrementar el % de PB mediante la fertilización con nitrógeno y el manejo de la defoliación. En tal sentido, Ferri (2010) demostró que el efecto de la fertilización sobre la concentración del nitrógeno en el forraje aumentó con mayor frecuencia de cortes. Asimismo, Agnusdei y Marino (2005) resaltan la importancia de la fertilización nitrogenada o intersiembras con leguminosas en las pasturas como herramienta para incrementar sus rendimientos, induciendo cierta mejora en el contenido proteico de materia seca, estabilización en el tiempo y mejor distribución estacional de crecimiento. La consociación de leguminosas como *V. villosa* permite incrementar la productividad total en primavera, la calidad de la dieta y mejorar las propiedades del suelo, principalmente el contenido de nitrógeno disponible y orgánico (Ashworth *et al.*, 2011). Esto se observó en pasturas de ciclo primavera – verano como el pasto llorón, *E. curvula* (Venanzi y Kruger, 2006) y *P. virgatum* (Warwick 2011). Por otro

lado, según Volesky *et al.* (1996) y Ashworth *et al.* (2011), en estos ambientes marginales la fertilización nitrogenada inorgánica incrementa los costos de producción, además de tener una baja eficiencia de aprovechamiento (40-60%) debido a procesos de volatilización por las altas temperaturas.

Los cambios estacionales en calidad y en producción de forraje muestran contrastes entre las gramíneas megatérmicas y las templadas (Stritzler *et al.*, 2007). En este sentido, el valor nutritivo de las gramíneas templadas es elevado en invierno y disminuye a lo largo del verano; mientras que, en las megatérmicas es alto en verano y disminuye en otoño y en el diferido de invierno. La dinámica del valor nutricional en conjunto con el patrón de crecimiento estacional de las megatérmicas introducidas determina un grado elevado de complementación con las templadas, tanto anuales como perennes del pastizal natural o de las cultivadas disponibles para utilizar en pasturas. La utilización de gramíneas megatérmicas en complemento con el pastizal natural puede, entonces, atenuar las fluctuaciones en la oferta forrajera tanto en cantidad como en calidad.

Las sequías extremas pueden causar, también, pérdida de calidad en la pastura al disminuir o detener el crecimiento foliar e incrementar la proporción de material senescente. A pesar de esto, un estrés hídrico leve puede incrementar la calidad de la pastura, dado que retrasa el desarrollo ontogénico (Guenni *et al.*, 2002) y, además, mantiene una proporción de lámina más elevada (Ferri, 2011). En esta situación, la concentración de pared celular puede ser menor que en pasturas sin déficit hídrico, y la digestibilidad de la materia seca puede decrecer más lentamente (Wilson y Ng, 1975), al igual que la concentración de PB (Ferri, 2011). En relación con lo anterior, se observó con frecuencia que en aquellas temporadas de crecimiento en que se registraron lluvias esporádicas, pero suficientes para mantener la continuidad en la oferta de forraje, se obtuvieron mayores aumentos de peso individual de los animales que en temporadas más lluviosas (Humphreys, 1991).

Las diferencias entre las gramíneas templadas y megatérmicas en cambios en la composición química en respuesta al $i[\text{CO}_2]$ atmosférico son de particular interés. Las megatérmicas están menos limitadas por carbono que las templadas, lo que permite predecir que la magnitud en los cambios químicos con el $i[\text{en CO}_2]$ serían menores en las gramíneas megatérmicas que en las gramíneas templadas (Lindroth y Dearing, 2005). La revisión de numerosos trabajos donde se compara la respuesta de ambos grupos al $i[\text{CO}_2]$ avalan este supuesto (Wand *et al.*, 1999). Además, de las diferencias en calidad a nivel de

especie, también las hay dentro de una misma especie. Por ejemplo, Covas *et al.* (2011) encontraron diferencias en FDN, FDA y PB entre cv de pasto llorón de diferentes variedades botánicas.

En mijo perenne se comprobó que el manejo de la frecuencia de defoliación controlaría la acumulación de materia seca y la PB. A mayor frecuencia de defoliación se espera menor acumulación de forraje, mayor proporción de lámina verde y mayor % de PB. Además, el momento de corte y la precipitación acumulada durante cada período de rebrote determinaría el % de DIVMS (Ferri *et al.*, 2012a, b). Los resultados logrados en este estudio coinciden con estos antecedentes, teniendo en cuenta que se realizó un solo corte en el mes de julio en cada año de evaluación; por lo tanto los valores de producción de materia seca fueron altos (10450 kg/ha de promedio en parcelas combinadas) pero la calidad nutritiva baja (40% de DIVMS y 2,6% de PB). En las parcelas monofíticas, la mayor producción de materia seca correspondió a PV (4302 kg/ha en promedio) y la de menor a ES (758 kg/ha). Pero en cuanto a la calidad, fue relativamente baja para PV (33% de DIVMS y 2,26% de PB) y relativamente alta para ES (49% de DIVMS y 3,25% de PB). Estas relaciones sugieren una asociación negativa entre producción de materia seca y calidad nutritiva. La correlación entre producción y DIVMS fue de - 0,35 para el año 2010 y - 0,34 para el año 2012. Estos valores se acentúan cuando se relaciona productividad y PB, siendo los valores - 0,36 para el año 2010 y - 0,47 para el año 2012.

Para una mejor comprensión de este análisis y de los valores obtenidos, debemos tener en cuenta que el bajo valor nutritivo del forraje es característico de gramíneas perennes de crecimiento estival, cuando se difieren hacia el invierno (Stritzler y Petruzzi, 2000). Si bien estas especies, y particularmente las utilizadas en este estudio, producen forraje de alta calidad durante su ciclo vegetativo, el inicio de invierno y la ocurrencia de heladas determinan que el forraje acumulado pierda abruptamente calidad. Esta caída, en parte, se debe al aumento de la relación tallo /hoja, a la disminución de valores de DIVMS y PB y al aumento de FDN en ambas fracciones. Los períodos de diferimiento que permiten alcanzar la máxima acumulación de lámina viva pueden determinar tanto estructuras de la cubierta vegetal como disminuciones en el valor nutritivo del forraje que afecten la respuesta animal (Ferri *et al.*, 2006). Se puede inferir que para lograr compatibilizar un alto rendimiento de forraje con una estructura y valor nutritivo que determinen una respuesta adecuada (mantenimiento de peso en rodeos de cría), el período de diferimiento no debería comenzar antes de fines de enero o principios de febrero en la

región en estudio. De acuerdo con la bibliografía consultada, existirían dos posturas en cuanto a la evolución de la calidad forrajera a lo largo del diferimiento. Una de ellas consigna una rápida caída de la calidad en los meses de abril y mayo, para alcanzar luego una meseta a lo largo de la cual la calidad de pasto se mantendría aproximadamente constante (Vera *et al.*, 1974; Marchi *et al.*, 1975). La segunda postura indica una disminución progresiva de la calidad a lo largo de todo el diferimiento (Hernández *et al.*, 1978; Frasinelli *et al.*, 1984).

Las mayores tasas de producción están asociadas al estado reproductivo, fase en la que a su vez comienza a declinar en forma acelerada el valor nutritivo de la pastura. En floración, la velocidad de crecimiento de la planta entera puede llegar a 80 kg MS/ha/día, y se explica en alto grado por la formación de tallos florales (Privitello y Gabutti, 2004; Veneciano *et al.*, 2005). En un año promedio, semejante intensidad de crecimiento determina que al finalizar la primavera la pastura no defoliada haya acumulado cerca del 80 % de la materia seca anual correspondiente a la planta entera y al menos el 70 % de las láminas que dispondrá el cultivo al final de la temporada. Si bien existen discrepancias sobre el valor predictivo de los parámetros cualitativos, está más allá de toda duda que a medida que avanza la madurez de una planta, su contenido en pared celular aumenta y su digestibilidad decrece (Van Soest, 1967), y que a mayor contenido de lignina, menor es la digestibilidad de los principales componentes de la pared celular, celulosa y hemicelulosa (Lopes y Thiago, 1984).

Suplementación de pasturas de baja calidad

Las consecuencias de la baja disponibilidad de forraje en invierno son importantes, tanto en rodeos de cría, como de invernada. En los primeros, las consecuencias se reflejan en bajos índices de preñez y de destete; en invernada, se traducen en alargamiento del ciclo (Stritzler, 2004). En los sistemas ganaderos de la zona del Sudeste Pampeano es una práctica común transferir hacia el invierno como diferido, el uso de estas pasturas, de modo de cubrir las deficientes ofertas forrajeras normales de la época. El hecho de diferir su uso, trae aparejado cambios importantes en su composición química, transformándose en un forraje de baja calidad. Las concentraciones de FDN y FDA obtenidas en el presente trabajo fueron muy altas, típicas de forrajes de baja calidad (Figuras 21 a 24). Además de la alta concentración de carbohidratos estructurales, el forraje de todos los tratamientos presentó muy bajos niveles de proteína bruta (Figuras 19 y 20), inferiores a

concentraciones compatibles con un adecuado crecimiento microbiano en rumen (Currier *et al.*, 2004), población responsable de la fermentación de la fibra dietaria (Souza *et al.*, 2010). Como consecuencia, el factor más importante que limita la ganancia de peso en animales pastoreando estos forrajes, es sin lugar a dudas su bajo consumo de materia seca. Esto se debe a que la regulación del consumo es principalmente de orden físico, determinado por la tasa de digestión del forraje y su tasa de pasaje (velocidad de desaparición de la fracción no digestible) (Minson, 1990). Una escasa población microbiana afecta no sólo la digestión potencial del forraje, sino también se reduce el aporte de proteína microbiana al flujo duodenal (Waldrip *et al.*, 2013).

Las especies utilizadas en el presente estudio produjeron una alta cantidad de biomasa aérea, de aproximadamente 7000 kg/ha para el año 2010. Si se considera una concentración promedio de 31 g/kg MS, la extracción anual de nitrógeno, expresada en términos de PB, es de más de 200 kg. Este proceso lleva a una rápida reducción del % de N en el forraje si no se suministra N al suelo de alguna manera, a través de fertilizantes o incorporación biológica (Humphreys, 2005). Es probable que los niveles de nitrógeno del presente estudio hayan sido consecuencia de la extracción sin reposición.

Bajo estas condiciones, la suplementación con proteína degradable en rumen afectará positivamente la digestión del forraje (Currier *et al.*, 2004; Sawyer *et al.*, 2012). La consecuencia de esta mejora en la degradación ruminal del forraje, y específicamente de la fibra, es un aumento en las tasas de digestión y pasaje, el consumo y la producción por animal (Bowman y Sanson, 1996; Souza *et al.*, 2010). La utilización adicional de una fuente de energía metabolizable como suplemento de forrajes de bajo valor nutritivo ha sido profusamente estudiada. En términos generales, el suministro de granos de cereales tiende a reducir la digestión ruminal de la fibra. Sin embargo, niveles relativamente bajos de suplementación energética podrían estimular los patrones fermentativos del rumen, sin afectar directamente a la población microbiana celulolítica (Chase y Hibberd, 1987; Bowman y Sanson, 1996). De todas maneras, aún cuando se produzca una disminución de la digestión ruminal de la pared celular por el incremento de granos, se obtiene un aumento en el consumo total de la materia seca digestible. La suplementación invernal de pasturas megatérmicas genera un efecto aditivo del concentrado energético-proteico sobre el consumo del forraje base (Balbuena *et al.*, 2000).

Por lo tanto, la suplementación en pastoreo es una de las principales herramientas para la intensificación de los sistemas ganaderos de la región. La misma permite corregir

dietas desbalanceadas, aumentar la eficiencia de conversión de las pasturas, mejorar la ganancia de peso de los animales (Peruche, 1998) y cerrar el ciclo anual del rodeo de cría en balance neutro.

CONCLUSIONES

- *P. virgatum* fue la especie con mejor distribución y mayor abundancia de raíces en el perfil del suelo; mientras que *E. superba* fue la de peor distribución y menor abundancia. El resto de las especies o combinaciones de especies en estudio presentaron un comportamiento intermedio, destacándose más las combinaciones en las que participó *P. virgatum*. La producción de biomasa radical siguió un patrón comparativo similar al de distribución y abundancia de raíces.
- Al cabo de cinco años de implantación las pasturas megatérmicas mejoraron la estabilidad de los agregados del suelo.
- La implantación de pasturas megatérmicas permitió una mayor velocidad de infiltración, con una mejora en el sistema poroso del suelo.
- Las especies con mayor desarrollo radicular, generaron un mayor secuestro de carbono orgánico.
- La producción de biomasa aérea de las pasturas monofíticas fue similar, aunque en valor absoluto *E. curvula* superó al resto. Por otra parte, la producción de biomasa aérea de las pasturas polifíticas fue similar o superior a la correspondiente *E. curvula*.
- El forraje diferido de todas las especies megatérmicas evaluadas fue de similar valor nutritivo que *E. curvula*. No obstante, en general se observó una leve tendencia a valores de calidad nutritiva algo superiores en *E. superba* y *P. coloratum* que en el resto de las especies.
- Las combinaciones de especies megatérmicas permiten un incremento en la producción de biomasa aérea, y mayor producción de raíces. Asimismo, en las mezclas la calidad nutritiva diferida y la distribución de raíces es intermedia a las especies puras. En consecuencia, las combinaciones de especies megatermicas serían una adecuada alternativa para la producción de pasturas en la Región Pampeana Semiárida.

RECOMENDACIONES

La región pampeana semiárida se caracteriza por una elevada variabilidad interanual en las lluvias, ya que el fenómeno de “El Niño/Oscilación Sur” ejerce un efecto muy significativo sobre el clima en toda la región pampeana (Stritzler *et al.*, 2007; Yahdjian y Sala, 2008). El pronóstico de cambio climático para el hemisferio sur indica que en el futuro ocurrirá un incremento de la temperatura y una reducción de la humedad del suelo (IPCC, 2007). Además, en la región de estudio los períodos de sequía invernal de 3 a 4 o más meses de duración son frecuentes. Las lluvias comprendidas entre los meses de mayo y septiembre comúnmente aportan menos del 20% del total anual. En consecuencia, al inicio de la primavera se manifiestan en forma más pronunciada los efectos de la sequía invernal, acentuados por el aumento en la velocidad del viento, que en esta época del año suele alcanzar sus máximos valores anuales

En el contexto descripto, la utilización de gramíneas megatérmicas perennes provistas de abundante biomasa radical y elevada eficiencia del uso del agua (EUA) resulta ventajosa (Stritzler *et al.*, 2007). Además, en el caso particular *E. curvula*, su rebrote temprano en la primavera aporta forraje durante un periodo crítico de escasa oferta forrajera. Por otra parte, el ciclo vegetativo de las mismas se complementa con el de las especies nativas (de crecimiento otoño-invierno-primaveral) y, además, la producción de las mismas se puede diferir para su utilización durante el invierno. La complementación entre las especies megatérmicas perennes y las especies nativas permitiría disminuir la dependencia de los suplementos, bajar los costos de alimentación e incrementar la receptividad e índices reproductivos, debido a una oferta forrajera equilibrada en términos de cantidad y calidad con la demanda del rodeo. En este sentido, la incorporación de mijo perenne y/o de otras especies megatérmicas en sistemas de pastoreo complementarios en la región semiárida (conformado por pastizal natural y *E. curvula*) mejoraría la distribución estacional de la oferta forrajera, tanto en calidad como en cantidad. Esto permitiría, durante el verano, que los terneros al destete logren un mejor peso y estado nutricional al igual que los animales de descarte, en comparación con los sistemas que utilizan sólo el pasto llorón en combinación con el pastizal natural.

Las prácticas de manejo, tanto para el uso del forraje diferido como durante la estación de crecimiento, deberían orientarse a optimizar la relación lámina/tallo de la pastura. Para ello, se podría predecir la proporción de lámina verde a partir de la materia seca acumulada y ajustar la oferta por animal en términos de materia seca de lámina. El

probable incremento en la temperatura y la reducción en la humedad del suelo en el futuro, permite prever una tendencia al remplazo de las pasturas templadas por megatérmicas, dado que éstas requieren temperaturas óptimas de crecimiento más elevadas y son más tolerantes a la sequía (Stritzler *et al.*, 2007). *P. coloratum*, *P. virgatum* y *E. superba* podrían ser, junto con *E. curvula*, algunos de los recursos forrajeros utilizados para atenuar los efectos del cambio climático en la región pampeana semiárida central. El incremento proyectado en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, aliviaría el estrés hídrico mediante el ahorro en el gasto de agua, con lo cual aumentaría la productividad y/o atenuaría los efectos de la variabilidad climática sobre las megatérmicas. Sin embargo, ello afectaría el valor nutritivo del forraje al deprimir, en particular, la concentración proteica.

Finalmente, con los datos obtenidos en este trabajo se puede afirmar que si el objetivo es aumentar la productividad se recomiendan las pasturas polifíticas o dentro de las puras *E. curvula*, que sigue siendo la de mayor producción. Si se prioriza la calidad, las pasturas polifíticas tiene valores de calidad nutritiva buenos y dentro de las puras se destaca *E. superba*. Por lo tanto, la elección de las especies que integren la pastura dependerá de los objetivos que se busquen, sea producción, calidad o ambas. A esta elección se le deberá sumar el manejo que se realice en cuanto al tiempo de diferimiento y la intersembra con leguminosas para mantener un valor adecuado de producción y calidad nutritiva.

BIBLIOGRAFÍA.

Agnusdei, M. y Marino, M.A. 2005. Producción y utilización del pasto: aspectos que deben conciliarse en una ganadería pastoril confiable y competitiva. *In: Forrajes 2005. Seminario técnico "Claves para una ganadería rentable y sustentable en un escenario productivo diferente"* (Buenos Aires): pp. 177-194.

Allen, V.G., Batello, C., Berretta, E.J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., McIvor, J., Milne, J., Morris, C., Peeters, A. y Sanderson, M. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and For. Sci.* 66: 2-28.

Álvarez, C. 2007. Efecto del sistema de labranza sobre propiedades de un Hapludol Típico y un Haplustol Entico de la Pampa Arenosa. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 65 p.

Álvarez, C., Andriani, J., Eiza, M., Fernandez, R., Gil, R., Michelena, R. y Sanchez, H. 2012. Agua del suelo. *In: Metodología de Muestreo de Suelo. Protocolo básico común.* Eds. Santos, J.S., Wilson, M. G. y Ostinelli, M. *Ediciones INTA.* pp 57-68.

Álvarez, C. y Taboada, M. A. 2008. Indicadores de fertilidad física del suelo. *In: Fertilidad Física del suelo.* Eds. Taboada, M. A. y Alvarez, C.R. *Editorial Facultad de Agronomía UBA. Buenos Aires.* pp 155-180.

Álvarez, R. 2005. A review of nitrogen fertilization and conservation tillage effects on soil carbon storage. *Soil Use and Manag.* 21: 38-52.

Álvarez, R., Diaz, R., Barbero, N., Santanatoglia, O. y Blotta, L. 1995. Soil organic carbon, microbial biomass and CO₂-C production from three tillage systems. *Soil Till. Res.* 33: 17-28.

Álvarez, R., Russo, M., Prystupa, P., Sheiner, J. y Blotta, L. 1998. Soil carbon pools under conventional and no-tillage systems in the Argentine Rolling Pampa. *Agron. J.* 90: 138-143.

Álvarez, R. y Steinbach, H.S. 2006. Balance de carbono en suelos cultivados. *In: Materia orgánica. Valor agronómico y dinámica en suelos pampeanos.* Eds: Facultad Agronomía UBA. pp. 55-67.

Álvarez, R. y Steinbach, H.S. 2009. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. *Soil Till. Res* 104: 1-15.

Amato, M. y Ritchie, J.T., 2002. Spatial distribution of roots and water uptake of maize (*Zea mays* L.) as affected by soil structure. *Crop Sci.* 42: 773-780.

Andriulo, A y Cordone, G. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. *In: Siembra Directa.* Eds. Panigatti,

J.L., Marelli ,H., Buzchiazzo y Gil, R. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 65-96.

Andriulo, A., Sasal, C. y Rivero, M.L. 2001. Los sistemas de producción conservacionistas como mitigadores de la pérdida de carbono orgánico edáfico. *In: Siembra Directa II. Eds. Panigatti, J.L., Buschiazzo, D., Marelli, H. Ediciones INTA*, pp 17-28.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2000. Official methods of analysis. (17th.ed) Washington Dc, U.S.A. 220 p.

Ashworth, A., Keyser, P., Allen, F., Bates, G. y Haper, C. 2011. Intercropping legumes with native warm-season grasses for livestock forage. UT Extension SP731-G Tennessee, U.S.A. 8 p.

Ayerza, R. 1989. Producción de semillas forrajeras en el Chaco seco. *In: Forrajeras y cultivos adecuados para la región chaqueña semiárida Eds. FAO, Roma, Italia*, pp 71-79.

Balbuena, O., Kucseva, C.D., Gándara, F.R., D´Agostini, A., Velasco,G.A. 2000.Tipo y frecuencia de suplementación estival en novillos en recría sobre pasturas tropicales .*Rev. Arg. De Prod. Anim.20 (Supl.1): 64-65*

Bernardos, J, Viglizzo, E.F., Jouvét, E.F., Lértora, V, Pordomingo, A.J. y Cid, F.D. 2001. The use of EPIC model to study the agroecological change during 93 years of farming transformation in the Argentine Pampas. *Agric. Sys. 69: 215-234.*

Blum, A. y Sullivan, C.Y. 1986. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid regions. *Ann. Bot. 57: 835-846.*

Boix-Fayos, C., Calvo-Cases A., Imeson A. y Soriano Soto M. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena 44: 47-67.*

Bono, A. R. y Alvarez. 2012. Fertilización en pasturas asociadas con alfalfa en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XIX Congreso Latinoamericano y XXIII Congreso Argentino de La Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina. Actas en CD.

Bono, A., Alvarez R., Buschiazzo D. E. y Cantet R. 2008. Tillage effects on soil carbon balance *In a semiarid agroecosystem. Soil Sc. Soc. Am. J. 72:1140-1149.*

Boonman, J.G. 1971. Experimental studies on seed production of tropical grasses in Kenya. General introduction and analysis of problems. *Netherl. J. Agr. Sci.19: 23-36.*

Bowman, J.G.P y Sanson, D.W. 1996. Starch- or fiber- based energy supplements for grazing ruminants. In: Proceedings of the 3rd Grazing Livestock Nutrition Conference. *Eds. Judkins, M.B. y McCollum, F.T. Proc. West. Sec. Amer. Soc. Anim. Sci. 47 (Suppl. 1): 118-135.*

Buschiazzo, D., Quiroga, A. y Stahr, K. 1998. Paterns of organic matter distribution in soils of the semiarid Argentinean Pampas. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk 154: 437-441.*

Campbell, C.A., Biederbeck, V.O., Zentner, R.P. y Lafond, G.P. 1991. Effect of crop rotations and cultural practices on soil organic matter, microbial biomass and respiration in a thin Black Chernozem. *Can J. Soil Sci.* 71: 363-376.

Campbell, C.A., Janzem, H.H., Paustian, K., Gregorich, E.G., Sherrod, L., Liang, B.C. y Zentner, R.P. 2005. Carbon storage in soils of the North America Great Plains: Effect of cropping frequency. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 97: 349-363.

Cantero Gutiérrez, A. Bonadeo, E. y Marcellino, J. 1985. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento de agropiro criollo (*A. scabrifolium* (Doell) Parodi). I. Producción de materia seca, proteína bruta y semillas. *Revista de la UNRC* 5: 5-18.

Caravaca, F., Lax A. y Albaladejo J. 2004. Aggregate stability and carbon characteristics of particle-size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. *Soil Till. Res.* 78: 83-90.

Cárcova, S., Maddonni, G.A. y Ghera, C.N. 2000. Long term cropping effects on maize crop evapotranspiration and grain yield. *Agron. J.* 92: 1256-1265.

Cardenas Castro, E.; Bustamante Lozano, A.; Espitia Barrero, J. y Páez Martínez, A. 2012. Productividad en materia seca y captura de carbono en un sistema silvopastoril y un sistema tradicional en cinco fincas ganaderas de piedemonte en el departamento de Casanare. *Revista Med. Vet.* N° 24 Bogota.

Cazorla, C., De Battista, J.J., Ferrar, M., Gudelj, O., Quiroga, A., Sasal, M.C., Taboada, M. y Wilson, M. 2012. Estructura del Suelo. *In: Metodología de Muestreo de Suelo y Ensayos a Campo. Protocolos básicos comunes.* Eds: Santos, D. J., Wilson, M. G. y Ostinelli, M. Ediciones INTA. pp. 25-56.

Casagrande, G. A. y Vergara, G. T. 1996. Características climáticas de la Región. *In* Labranzas en la Región Semiárida Argentina. Eds. Buschiazzo, D. E., Panigatti, J.L. y Babinec, F.J. Centro Regional La Pampa - San Luis, INTA. pp. 11-17.

Casagrande, G., Vergara, G.T. y Bellini Saibene, Y. 2006. Cartas agroclimáticas de temperaturas, heladas y lluvias de la provincia de La Pampa, Argentina. *In: Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 17:15-22.

Casler, M.D., Vogel, K.P., Taliferro, C.M. y Wynia, R. L. 2004. Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Sci.* 44: 293-303.

Castro, H.C. y Gallardo, M.R.A. 1984. Evaluación comparativa del valor nutritivo en invierno de cuatro cultivares de pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 10: 1015-1018.

Caviglia, J.A., Lorda H. O. y Lemes J. 2010. Caracterización de las Unidades de producción agropecuarias en la provincia de La Pampa. *Boletín de Divulgación Técnica* N° 99 EEA Anguil. INTA. 43 p.

Cerri, C., Bernoux, M., Volkoff, B. y Moraes, J. 1996. Dinamica de carbon nos solos da Amazonia. *In: O solo nos grandes dominios morfoclimaticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado* . Eds .Alvarez Fontes L. y Fontes M. 930p.

Chan, K.Y. Heeman, D. y So, H.B. 2003. Sequestration of carbon and changes in soil quality under conservation tillage on light-textured soils in Australia: a review. *Austr. J. Exp. Agric.* 43: 325-334.

Chase, C.C. y Hibberd, C.A. 1987. Utilization of low-quality native grass hay by beef cows fed increasing quantities of corn grain. *J. Anim. Sci.* 65: 557-566.

Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maraco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osario, M.L., Carvalho, I., Faria, T. y Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Ann. Bot.* 89: 907- 916.

Christou, M., Mardikis, M. y Alexopoulou, E. 2001. Giant Reed (*Arundo donax* L.) network. Improvement, productivity and biomass quality. *In: Biomass for Energy and Industry*. Ed: Kyritsis, S. James & James Science Publishers Ltd., UK, pp. 1803-1806.

Conrad, B.E. 1972. The influence of season chronological age and management on selected forage plant components related to digestibility. Ph. D. diss. Texas A&M Univ. College Station, Texas, U.S.A. (Diss. Abstr. AAT 7205646).

Covas, G. 1974. Los pastos sudafricanos en relación a la forrajicultura en La Pampa, con especial referencia al pasto llorón (*Eragrostis curvula*). Simposio sobre Pasto Llorón en la Provincia de La Pampa. pp 1-10.

Covas, G. 1982. Potencial y limitaciones de los recursos forrajeros actuales y de aquellos en vías de experimentación en la Región Pampeana semiárida. *In: Actas de las Primeras Jornadas Técnicas sobre Producción Animal en la Región Pampeana semiárida*. Santa Rosa, La Pampa, Fac. Agron.UNLPam. pp 3-28.

Covas, G. 1989. Evolución del manejo del suelo en la región Pampeana Semiárida. *In: Primeras Jornadas de suelos de Zonas Áridas y Semiáridas*. Santa Rosa, La Pampa. pp 1-11.

Covas, G. y Carnie, A.G. 1985. El Pasto Llorón (*Eragrostis curvula*) Manual con información básica y normas para su cultivo y utilización. Hemisferio Sur Buenos Aires 76 p.

Covas, G.F., Cayssials, H.O., Ruíz, M.A. y Pordomingo, A.B. 2011. Producción y calidad de forraje de cultivares de pasto llorón en la región pampeana semiárida. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 31 (Sup. 1): 501.

Covas, G. y Glave, A. 1988. Provincia de La Pampa. *In: El Deterioro del Ambiente en la Argentina (Suelo-Agua-Vegetación –Fauna)*. Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura (FECIC). pp 109-114 .

Currier, T.A., Bohnert, D.W., Falck, S.J. y Bartle, S.J. 2004. Daily and alternate day supplementation of urea or biuret to ruminants consuming low-quality forage. I. Effects on cow performance and the efficiency of nitrogen use in wethers. *J. Anim. Sci.* 82: 1508-1517.

De Boodt, M. y De Leenheer L. 1967. West European methods for soil structure determination, VII. The State Faculty Agricultural Sciences. Gent. Bélgica. pp 60-62.

De León, M. 1991. Nuevas forrajeras promisorias para el Norte de Córdoba. 2° jornada de producción ganadera en zonas semiáridas (Jesús María). INTA, Proy. de ganadería extensiva centro-norte de Córdoba. pp 13-28.

Deinum, B. 1984. Chemical composition and nutritive value of herbage in relation to climate. 10° Gen. Meeting Norway Proc. pp 338-350.

Deregibus, V.A. y Kropfl, A.I. 1982. La cosecha de luz solar mediante el sistema fotosintético C₄. *Gaceta Agronómica* 11: 407-416.

Diaz-Zorita, M. y Davies, J. 1995. Cobertura vegetal y propiedades edáficas de pasturas perennes en la región noroeste bonaerense. Evaluación preliminar. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 15: 213-215.

Fagioli, M. 1972a. Causas de resistencia a la sequía del pasto llorón. Hoja informativa. EEA Anguil, INTA 54: 4-5.

Fagioli, M. 1972b. Modalidades de utilización del agua profunda por un cultivo de pasto llorón (*Eragrostis curvula* Ness) en un suelo regosol de la región semiárida pampeana. *RIA. Sección Clima y Suelo.* IX: 61-70.

Fagioli, M. 1980. Desarrollo del aparato radicular de un cultivo de pasto llorón (*Eragrostis curvula* Ness) en un suelo arenoso de la región semiárida pampeana. *IDIA* 77: 393- 394.

Fagioli, M. 1983. Actividad absorbente de los aparatos radicales de cultivos de alfalfa y trigo, medida con P³². *Publicación Técnica* N° 25 EEA Anguil INTA 18 p.

Fenster, C. y Peterson, G.A. 1979. Effects of no-tillage fallow as compared to conventional tillage in a wheat flow system. Nebraska. Agric. Exp. St. Res. Bull. 289. Inst. Agric. Nat. Resour. Univ. Nebraska. Lincoln, Nebraska, U.S.A. 27 p.

Fernandez, R., Peinemann, N., Noellemeyer, E. y Quiroga, A. 2006. Efecto de la cobertura sobre la eficiencia del barbecho en la región semiárida pampeana. *Publicación Técnica* N° 66 EEA Anguil, INTA pp. 37-44.

Ferri, C.M. 2010. Efecto del intervalo de corte y de la fertilización nitrogenada sobre la concentración proteica en mijo perenne. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 30 (Sup. 1): 341-342.

Ferri, C.M. 2011. The seasonal and inter.-annual patterns of biomass accumulation and crude protein in kleingrass (*Panicum coloratum*) in the semiarid Pampean region of Argentina. *Ciencia Invest. Agr. (Chile)* 38: 191-198.

Ferri, C.M., Brizuela M.A., Cid M.S. y Stritzler N.P. 2006. Dinámica de acumulación de láminas foliares y estructura del forraje diferido de *Panicum coloratum* L. *Agric. Técnica* (Chile) 66: 376-384.

Ferri, C.M., Sáenz, A.M., Jouve, V.V., Lardone, S.E. y Balzer, N.E. 2012a. Acumulación de materia seca y valor nutritivo en *Panicum coloratum* L. con diferentes intervalos de corte. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 32 (Sup. 1): 317.

Ferri, C.M., Sáenz, A.M., Murcia, M.G. y Jouve, V.V. 2012b. Biomasa y lámina verde acumulada en *Panicum coloratum* L. según intervalos de corte. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 32 (Sup. 1): 316.

Ferri, C.M. y Stritzler, N. P. 1996. Comportamiento de verdeos invernales en Santa Rosa, La Pampa II. Estimación de la degradabilidad ruminal in sacco. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 9: 19-22.

Frank, A.B., Berdahl, J.D., Hanson, J.D., Liebig, M.A. y Johnson, H.A. 2004. Biomass and carbón partitioning in switchgrass. *Crop. Sci.* 44: 1391-1396.

Franzluebers, A.J. 2005. Soil organic carbon sequestration and agricultural greenhouse gas emissions in the southeastern USA. *Soil Till. Res.* 83: 120-147.

Galmarini, A.G. 1961. Caracterización climática de la provincia de La Pampa. Operación Carnes (CAFADE) *Publicación técnica N°13* 59 p.

Gil, R. 2007. El comportamiento físico-funcional de los suelos. Página web: www.agriculturadeprecision.org. Último acceso: 22 de julio de 2014.

Garten, C.T. y Wullschleger, S.T. 2000. Soil carbon dynamics beneath switchgrass as indicated by stable isotope analysis. *J. Environ. Qual.* 29: 645-653.

Giraudó, C.G., Frasinelli, C.A., Verges, E. y Marchi, A. 1984. Efecto del Paraquat sobre la calidad del pasto lloron diferido. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 4: 43-49.

Gregory, P.J. 1978. Water relations of winter wheat. 1. Growth of the root system. *J. Agr. Sci.* 91: 91-102.

Guenni, O., Martín, D., y Baruch, Z. 2002. Responses to drought of five *Brachiaria* species. I. Biomass production, leaf growth, root distribution, water use and forage quality. *Plant and Soil* 243:229-241.

Hakansson, I. y Lipiec, J. 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil Till. Res.* 53: 71-85.

Halvin, J. Kissel, D.E., Maddux, L. D., Classen, M. M. y Long, J. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon y nitrogen. *Soil Sci. Am. J.* 54: 448-452.

Hamza, M. A. y Anderson, W.K. 2005. Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.* 93: 1-12.

Hassan, F.U., Ahmad, M., Ahmad, N. y Kaleen Abbasi, M., 2007. Effects of subsoil compaction on yield and yield attributes of wheat in the sub-humid region of Pakistan. *Soil Till. Res.* 96: 361-366.

Hernández, O.A. 1985. Avances en el conocimiento de algunos factores que afectan la producción de las pasturas cultivadas. *AAPA. Rev. Arg. Prod. Anim* 5: 41-66

Hernández, O.A, Reinaudi, B.N. y Troiani, R. M. 1978. Influencia de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad del pasto llorón. *Prod. Anim.* 6: 35-42.

Hevia, G.G., Buschiazzo, D.E., Hepper, E.N., Urioste, A.M. y Antón, E.L. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116: 265-277.

Hoare, D.B. 2004. *Eragrostis superba* Peyr. *Gramineae*. www.fao.org. Último acceso: 22 de julio de 2014.

Hulquist, S. J., Vogel, K. P., Lee, D. E., Arumuganathan, K. y Kaeppler, S. 1997. DNA content and chloroplast DNA polymorphisms among accessions of switchgrass from remnant Midwestern prairies. *Crop. Sci.* 37: 595-598.

Humphreys, L. R. 1991. Tropical pasture Utilisation. Cambridge University Press. 206 p.

Humphreys, L.R. 2005. Tropical Pasture Utilisation. Cambridge University Press, U.K. 206 p.

INTA, Gobierno de La Pampa, UNLPam. 1980. Inventario integrado de Recursos Naturales de la provincia de La Pampa. SAG Buenos Aires.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 996 p.

Jayawardance, J. N.S. y Chan, K.Y. 1994. The management of soil physical properties limiting crop production in Australian sodic soils-a review. *Aust Soil Res.* 32: 13-44.

Kanchikerimath, M. y Singh, D. 2001. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambisol in semiarid region of India. *Agric. Ecosys. Environm.* 86: 155-162.

Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1- Physical and mineralogical methods. Second Edition. Agron. Monog. 9. ASA, Madison, WI, USA. 1188 p.

Launchbaugh, J.L. 1970. Characteristics of certain western Kansas range grasses and forbs. Contribution n° 192 Fort Hays Branch, Kansas Agric. Exp. Station, Kansas, U.S.A. 22 p.

Letón Molina, E. y Marino A.P. 2002. G-Stat 2.0. Programa de Análisis Estadísticos. Dpto. Biometría, GlaxoSmithKline S.A., Tres Cantos, Madrid, España.

Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E. y Christou, M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass Bioenergy* 25: 335–361.

Lindroth, R.L. y Dearing M.D. 2005. Herbivory in world of elevated CO₂. *In: A history atmospheric CO₂ and its effects on plants, animals and ecosystems. Eds: Ehleringer, T. Cerling, C. y Dearing, M.D. Springer-Verlag, London, UK. pp. 468-486.*

Lopes, S. y Thiago, L.R. 1984. Fatores afetando o consume e utilizacao de forrageiras de baixa quealidade por ruminantes . CNPGC. Documentos EMBRAPA, Brasil. pp 9-36.

Lorda, H. y Caviglia, J. 2012. Incidencia económica de la degradación del suelo por erosión eólica en la Región Semiárida Pampeana *In: Manual de Fertilidad y Evaluación de suelos. Eds: A Quiroga y A Bono. Publicación Técnica N° 89 EEA Anguil. INTA. pp 85-100.*

Ma, Z, Wood C.W y Bransby D.I. 1996. Management and soil influence on switchgrass carbon sequestration and biomass accumulation. *In: Agronomy Abstracts. ASA, Madison. Wisconsin, USA. p. 32.*

Ma, Z., Wood, C.W. y Bransby, D.I. 2000a. Impacts of soil management on root characteristics of switchgrass. *Biomass Bioenergy* 18: 105-112.

Ma, Z., Wood, C.W. y Bransby, D.I. 2000b. Soil management impacts on soil carbon sequestration by switchgrass. *Biomass Bioenergy* 18: 469-471.

Mackay, A.D., Barber, S.A., 1985. Soil moisture effect on root growth and phosphorus uptake by corn. *Agron. J.* 77: 519–523.

Majumder, B., Mandal, B., Bandyopadhyay, P.K. y Chaudhury, J. 2007. Soil organic carbon pools and productivity relationships for a 34 year old rice-jute agroecosystem under different fertilizer treatment. *Plant Soil* 297: 53-67.

Marino, M.A. y Agnusdei, M. 2004. Algunos conceptos básicos para el manejo del N en pasturas de la región pampeana. *In: Forrajes 2004. Seminario técnico “Cómo producir y aprovechar el forraje eficientemente en la empresa agropecuaria del futuro” (Buenos Aires). pp 85-89.*

Marchi, A. Giraud, C.G. y Haidar, V. H. 1973. *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees cv. Tanganyka. Digestibilidad y consumo, RIA. (INTA) Serie I, *Biología y Producción Animal* 10: 309- 324.

Marchi, A. Giraud, C.G. y Haidar, V. H. 1975 Evaluación comparativa de los cultivares Tanganyka y Ermelo de pasto llorón. *Información Técnica* N°103, E.E.A. San Luís, INTA. Villa Mercedes, San Luís. 21 p.

Massé, J. 1982 Enracinement: Une méthode de mesure sur le terrain. *Perspect. Agron.* 59: 56-60.

- Mengel, D.B. y Barber, S.A. 1974. Development and distribution of the corn root system under field conditions. *Agron. J.* 66:341-344.
- Melo, O.E. y Boetto, G.C. 1993. Gramíneas tropicales y templadas. Características y zonas de adaptación., Colección Ganadería en zonas cálidas. Cuadernillo 1. Ed. Hemisferio Sur. 32 p.
- Mertens, D.R.1993. Importance of the detergent system of feed analyses for improving animal nutrition. Proc. Cornell Nutr. Conf. Pp. 25-36.
- Michelena, R., Irurtia, C., Pittaluga A., Vavruska, F. y Sardi, M. 1988. Degradación de los suelos en el sector norte de La Pampa Ondulada. *Ciencia del suelo* 6: 60-66.
- Minson, D.J. 1990. Forage in ruminant nutrition. Academic Press, San Diego, California, U.S.A. 483 p.
- Minson, D.J. 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Elsevier, U.K., 502 p.
- Mitchell, R.; Moser, L., Anderson, B. y Waller, S. 1996. Switchgrass and Big bluestem for grazing and hay. <http://ianrpubs.unl.edu/range/g1198.htm>. Último acceso: 22 de Julio de 2014.
- Monti, A. y Zatta, A. 2009. Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and anual energy crops in Northern Italy. *Agric. Ecosys. Environ.* 132: 252-259.
- Nardone, M. 1994. La siembra directa en la agricultura sostenible .INTA-PAC. Encuentro de profesionales hacia una agricultura sostenible. Rosario, Santa Fe. Pp. 29-33.
- Ocuppaugh, W.R. y Matches, A.G. 1977. Autumn-winter yield and quality of tall fescue. *Agron. J.* 69: 639-643.
- Orellana, J. y Pilatti, M. 1994. La estabilidad de agregados como indicador edáfico de sostenibilidad. *Ciencia del suelo* 12: 75-80.
- Palma, M. 2005. Formación y desarrollo de suelos. Estructura. *In: Principios de Edafología con énfasis en suelos argentinos. Ed. Facultad de Agronomía UBA.* pp. 135-156.
- Peruchena, C.O. 1998. Dietas para la nutrición de bovinos en crecimiento y engorde en el subtrópico. Ganadería del NEA. Avances en nutrición animal. *Ed. INTA. Argentina:* 5-24.
- Petruzzi, H.J., Stritzler, N.P., Adema, E. O., Ferri, C.M. y Pagella, J.H. 2003. Mijo Perenne. *Publicación Técnica* N° 51. EEA Anguil, INTA. 28 p.
- Pilatti, M.A., de Orellana, J.A., Priano, L.J., Felli, O.M. y Grenon, D.A. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas en un Arguidol en el Sur de Santa Fe. *Ciencia del suelo* 6: 19-29. 2 p.

Poppi, D.P., Minson, D.J y Ternouth, J.H. 1981. Studies of cattle and sheep eating leaf and stem fractions of Research 32: 99-108.grasses. I. The voluntary intake, digestibility and retention time in the reticulorumen. *Austr. J. Agric. Res.* 32: 99-108.

Pratt, J. N., Novosad, A.C. y Holt, E.C. 1990. Kleingrass. *Texas Agric. Ext. Service. The Texas A&M Univ. System. Texas, U.S.A.* 2 p.

Privitello, M.J.L. 2004. Efecto de la fertilización nitrogenada en la producción y perfil nutricional de *Panicum coloratum* L. (Kleingrass) cv. Klein Verde diferido. *In: Producción y calidad nutricional de forrajeras cultivadas y nativas del semiárido sanluiseño. Eds. Privitello, J.L. y Gabutti, E. UNSL, pp. 177-182.*

Quesenberry, K.H. y Ocumpaugh, W.R. 1980. Crude protein, IVOMD, and yield stockpiled limpgrasses. *Agron. J.* 72: 1021-1024.

Quiroga, A., Bono A. y Corro Molas A. 2002. Aspectos nutricionales del girasol en la región semiárida y subhúmeda pampeana. *In: IDIA XXI Oleaginosas. Ediciones INTA. pp. 128-134.*

Quiroga, A., Buschiazzo, D. y Monsalvo, M. 1990. Compactación de suelos en la región semiárida pampeana central. Carpeta de información Técnica EERA Anguil, INTA. Ecología. pp. 52-56.

Quiroga, A.R., Buschiazzo, D.E. y Peinemann, N. 1996a. Soil organic matter particle size fractions in soils of the semiarid argentinean Pampas. *Soil Sci.* 161: 104-108.

Quiroga, A.R., Buschiazzo, D.E. y Peinemann, N. 1996b. Management discriminate properties in semiarid soils. *Soil Sci.* 163: 591-597.

Quiroga, A., Fernández, R., Azcarate, P., Bono, A. y Gaggioli, C. 2012. Agua del suelo. Bases funcionales para su manejo. *In: Manual de Fertilidad y Evaluación de suelos. Eds: A Quiroga y A Bono. Publicación Técnica N° 89 EEA Anguil, INTA. pp. 39-51.*

Quiroga, A., Funaro, D., Fernandez, R. y Noellemeyer, E. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo* 23: 79-86.

Quiroga, A., Funaro D., Noellemeyer E. y Peinemann N. 2006. Barley yield response to soil organic matter and texture in the Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 90: 63-68.

Quiroga, A. y Monsalvo M. 1989. Influencia de la siembra directa sobre algunas propiedades físicas de un suelo Haplustol Entico. Carpeta de información Técnica EERA Anguil, INTA. Ecología. pp. 68-74.

Quiroga, A., Ormeño, O. y Peinemann, N. 1998. Efectos de la siembra directa sobre propiedades físicas de los suelos. *In: Siembra Directa. Eds: Panigatti J.L., Marelli H., Buzchiazzo, D. y Gil, R. Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 57 -63.*

Rabotnikof, C.M. y Stritzler, N.P. 2006. Producción de materia seca de gramíneas perennes estivales en el área del Caldenal. Presentado en la XXII. Reunión Argentina de Ecología, Córdoba. Libro de Resúmenes p. 200.

Rabotnikof, C.M., Stritzler, N.P. y Hernández, O.A. 1986. Evaluación de especies forrajeras estivales en la región Pampeana Semiárida. II. Determinación de producción de materia seca, persistencia, proteína, y digestibilidad *in vitro* de *Bothriochloa intermedia*, *Digitaria eriantha*, *Setaria leiantha*, *Eragrostis curvula* y *Panicum antidotale* bajo condiciones de diferimiento. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 6: 56-66.

Rearte, D.H. y Santini, F.J. 1989. Digestión ruminal y producción en pastoreo. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 9: 93-105.

Redfearn, D.D. y Jenkins, K. 2000. Escape and rumen degradable protein fractions. in warm-season grasses. *In: Native warm-season grasses: research trends and issues.* Eds: K. J. Moore and B.E. Anderson. CSSA Special Publication N°30. U.S.A. pp 3-21.

Renolfi, R.F. 1989. Producción y manejo de forrajeras introducidas y nativas en el Chaco semiárido. *In: FAO, Forrajeras y cultivos adecuados para la región chaqueña semiárida.* pp 59-69.

Robinson, C.A., Cruse, R.M. y Ghaffaezadeh, M. 1996. Cropping systems and nitrogen effects on Mollisol organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 264-269.

Ross, C.W. y Hughes K.A. 1985. Maize/oats forage rotation under three cultivation system. 1978-1983.II. Soil properties. *New Zel. J. Agric. Res.* 28: 209-219.

Rossell, R.A. y Andriulo A. 1989. Distribución de carbono y nitrógeno orgánicos, formas de fósforo y pH de un suelo bajo tres manejos. *Agrochimica* 33: 194-202.

Ruiz, M de los A., Adema, E., Rucci, T. y Babinec F. 2004. Producción y Calidad de Forrajes de gramíneas perennes en diferentes ambientes del caldenal. *Publicación técnica* N° 54. EEA Anguil, INTA. 36 p.

Russell, A.E., Laird, D.A., Parkin, T.B. y Mallarino, A.P. 2005. Impact of nitrogen fertilization and cropping system on carbon sequestration in Midwestern Mollisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 413-422.

Sanderson, M.A., Reed, R.L., McLaughlin, S.B., Wullschlegel, S.D., Conger, B.V., Parrish, D.J., Wolf, D.D., Taliaferro, C., Hopkins, A.A., Ocumpaugh, W.R., Hussey, M.A., Read, J.C. y Tischler, C.R. 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. *Bioresource Technol.* 56: 83-93.

Salih, A.A., Ali, I.A., Lux, A., Luxova, M., Cohen, Y., Sugimoto, Y. e Inanaga, S. 1999. Rooting, water uptake, and xylem structure adaptation to drought of two sorghum cultivars. *Crop Sci.* 39: 168-173.

Sasal, M.C. 2005. Cualidades del sistema poroso que condicionan la dinámica del agua bajo siembra directa continua en Argiudoles de la pampa ondulada. Evaluación de la

introducción de Nabo forrajero en la rotación agrícola para recuperar horizontes degradados por computación. Tesis Magíster, Facultad de Agronomía, UBA.

Sawyer, J.E., Mulliniks, J.T., Waterman, R.C. y Petersen, M.K. 2012. Influence of protein type and level on nitrogen and forage use in cows consuming low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 90: 2324-2330.

Sheskin, D. 2004. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures, Third Edition. CRC Press. Florida, U.S.A. 1193 p.

Six, J., Feller, C. Deneff, K., Ogle, S.M., Moraes Sa, J.C. y Albrecht, A. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils – effects of no-tillage. *Agronomie* 22: 755-775.

Sladden, S.E, Bransby D.I y Aiken G.E. 1991. Biomass yield, composition and production costs for eight switchgrass varieties. *Biomass and Bioenergy* 1:119-122.

Soane, B.D., 1990. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. *Soil Till. Res.* 16: 179-201.

Souza, M.A., Detmann, E., Paulino, M.F., Sampaio, C.B., Lazzarini, I. y Valadares Filho, S.C. 2010. Intake, digestibility and rumen dynamics of neutral detergent fibre in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogen and/or starch. *Trop. Anim. Health Prod.* 42: 1299-1310.

Steinbach, H.S. y Alvarez, R. 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions alter introduction of no till in pampean agroecosystems. *J. Environ. Qual.* 35: 3-13.

Steingrobe, B., Schmid, H. y Claassen, N. 2000. The use of the in-growth core method for measuring root production of arable crops - influence of soil conditions inside the in-growth core on root growth. *J. Plant Nutr.* 163: 617-622.

Steppler, H.A. 1951. Pasture Studies XXXI. Lignifications studies with various grass species. *Sci. Agric.* 31: 1-14.

Stobbs, T.H. 1973. The effect of plant structure on the intake of tropical pastures. I Variation in the bite size of grazing cattle. *Austr. Agron. J. Res.* 24: 809-819.

Stritzler, N.P. 2004. Suplementación de rodeos de cría e internada en pastoreo en la Región del Cladrenal. *Publicación técnica* N° 82. EEA Anguil, INTA. 24 p.

Stritzler, N.P. 2008. Producción y calidad nutritiva de especies forrajeras megatérmicas. *Revista Argentina de Producción Animal* 28: 165-168.

Stritzler, N.P., Pagella, J.H., Jouve, V.V. y Ferri, C.M. 1996. Semi-arid warm- season grass yield and nutritive value in Argentina. *J. Range Manage.* 49:121-125.

Stritzler, N.P. y Petruzzi, H.J. 2000. Gramíneas perennes estivales introducidas en zonas semiáridas, resultados y perspectivas. Actas del Congreso Nacional de Ganadería Pampeana, Santa Rosa, La Pampa, pp 13-17.

Stritzler, N.P. y Petruzzi H.J. 2005. Las gramíneas perennes estivales y su impacto productivo en la región pampeana semiárida. *In: Forrajes 2005. Seminario técnico "Claves para una ganadería rentable y sustentable en un escenario productivo diferente"* (Buenos Aires). pp. 99-116.

Stritzler, N.P., Petruzzi, H.J., Frasinelli, C.A., Veneciano, J.H., Ferri, C.M. y Viglizzo, E.F. 2007. Variabilidad climática en la Región Semiárida Central Argentina. Adaptación tecnológica en sistemas extensivos de producción animal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 27:111-123.

Subsecretaría de Planeamiento. Gobierno de La Pampa 2003. Micro- regiones Pampeanas. La Pampa una mirada al horizonte. Estrategias para el futuro. pp 101-103.

Stroup, J.A., Sanderson, M.A., Muir, J.P., Mc Farland, M.J. y Reed, R.L. 2003. Comparison of growth and performance in upland and lowland switchgrass types to water and nitrogen stress. *Bioresour. Technol.* 86: 65-72.

Taboada, M., Micucci, F.G. y Álvarez, C. 2008. Impedancias mecánicas y compactación en suelos agrícolas. *In: Fertilidad Física de los suelos. Eds: M. A. Taboada y C.R. Alvarez* Editorial Facultad de Agronomía, UBA. pp 94-151.

Tilley, J.M.A. y Terry, R.A. 1963. A two stage technique for the in Vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.* 19: 104- 111.

Tisdall, J. y Oades J. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *In: Modification of Soil Structure. Eds: Emerson, W.W. Bond, R.D. y Dexter, A.R.* pp 137-144.

Urricariet, S. y Lavado, R. 1999. Indicadores del deterioro del suelo de la Pampa Ondulada. *Ciencia del suelo* 17: 37-44.

Vamerali, T., Guarise, M., Ganis, A., Bona, S. y Mosca, G. 2003. Analysis of root image from auger sampling with a fast procedure: a case of application to sugar beet. *Plant Soil* 255: 387-397.

VandenBygaart, A.J., Gregorich, E.G. y Angers, D.A. 2003. Influence of agricultural management on soil organic carbon: a compendium and assessment of Canadian studies. *Can. J. Soil Sci.* 83: 363-380.

Van Soest, P.J. 1967. Development of a comprehensive system of feed analysis and its application to forages. *J. Anim. Sci.* 26: 119-128.

Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O&B Books, USA. 374 p.

- Van Soest, P.J. y Robertson J.B. 1985. Analysis of forages and fibrous foods. Cornell Univ. Press, Ithaca, Nueva York, USA. 165 p.
- Venanzi, S. y Kruger, H. 2006. Intersiembra de verdeos de invierno sobre pasto llorón, ¿Una forma de agrandar el campo? Boletín EEA Bordenave, INTA. 2 pp.
- Veneciano, J.H. 1999a. Evaluación forrajera preliminar de dos gramíneas estivales promisorias. *Inf. Técnica* 152. EEA San Luís, INTA. 42 p.
- Veneciano, J.H. 1999b. Evaluación preliminar de tres cultivares de *Bothriochloa* sp: rendimiento de materia seca y contenido proteico. *Inf. Técnica* 150. EEA San Luís, INTA. 31 p.
- Veneciano, J.H. 2006. Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: Características y productividad. *Inf. Técnica* N 171. EEA San Luis, INTA. 84 p.
- Veneciano, J.H. y Federigi, M.E. 2005 Las erráticas lluvias de primavera. *Informativo rural*, EEA San Luis, INTA. 6: 4-5
- Veneciano, J.H., Rabotnikof, C.M., Stritzler, P.N., Frigerio, K.L. y Lentz, B. C. 2012. Experiencias exploratorias con pasturas compuestas para ambientes semiáridos. *Inf. Técnica* 184. EEA San Luís, INTA. 61p.
- Veneciano, J.H., Rosa, M.A. y Giulietti, J.D. 1994. La introducción de germoplasmas forrajeros en San Luis. Una somera descripción de recursos promisorios. CVT INTA San Luís-Forrajeras Avanzadas S.A.
- Vera, R.R., Menvielle, E., Templeton, W. C., Torrea, M.B. y Pappier, U. M. 1974. Rendimiento y calidad del pasto llorón diferido en invierno. *Rev. Arg. Prod.Anim.* 3:322
- Vera, R.R., Irazoqui, H. y Menvielle E.E. 1973. The nutritive value of weeping lovegrass during the spring season. *J. Br. Grassland Soc.* 28: 149-152.
- Viglizzo, E.F. 1981. Los potenciales de los sistemas. *In: Dinámica de los sistemas pastoriles de producción lechera. Hemisferio Sur, Buenos Aires.* 125p.
- Vogel, K. P. 2004. Switchgrass. *In: Warm-Season (C4) Grasses. Series Agronomy N  45. Madison, Wisconsin, USA. Pp.* 561-582.
- Volesky, J.D., Mowery, D.P. y Smith, G.R. 1995. Performance of rose clover and hairy vetch inteseeded into Old World bluestem. *J. Range Manage* 49: 446-451.
- Waldrip, H.M., Todd, R.W. y Cole, N.A. 2013. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: A meta-analysis. *J. Anim.Sci.* 92: 4669-4681.
- Wander, M.M., Walter, G.L., Nissen, T.M., Bollero, G.A., Andrews, S.S. y Cavanaugh-Grant, D.A. 2002. Soil quality: science and process. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 94: 23-32.

Warwick, K. 2011. Establishment and persistence of legumes in switchgrass biomass and forage/biomass production systems. *Thesis of Master of Science*. The University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, USA. 128 p.

Wedin, D.A. 1995. Species, nitrogen, and grassland dynamics: the constraint of stuff. *In: Linking Species and Ecosystems*. Eds: Jones, CG y LH Lawton. Chapman y Hall, New York, USA. pp. 253-252.

Wedin, D.A. 1999. Nitrogen availability, plant-soil feedbacks and grassland stability. *In: People and Rangelands Building the Future*. Proceedings of the VI International Rangeland Congress. 1: 193-197.

Wedin, D.A. y Tilman, D. 1990. Species effects on nitrogen cycling: a test with perennial grasses. *Oecologia* 84: 433-441.

West, T.O. y Post, W.M. 2002. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1930-1946.

Whyte, R.O., Moir, T.R.C. y Cooper, J.P. 1959. Las gramíneas en la agricultura. FAO, Estudios agropecuarios 42 (3° ed.). Roma, Italia. 24 p.

Wilson, J.R. 1976. Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. II. Anatomy. *Austr. J. Agric. Res.* 27: 355-364.

Wilson, J.R. y Ng, T.T. 1975. Influence of water stress on parameter associated with herbage quality of *Panicum maximum* var. Trichoglume. *Austr. Agron. J. Res.* 26: 127-135.

Wischmeier, W.H., y Smith, D. D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA *Agriculture Handbook* N°537. USA, 66 p.

Wright, A. y Hons, F. 2005. Tillage impacts on soil aggregation and carbon and nitrogen sequestration under wheat cropping sequences. *Soil Till. Res.* 84: 67-75.

Yahdjian, L. y Sala, O.E. 2008. Climate change impacts on South American Rangelands. *Rangelands* 30: 34-39.

Yu, G.R., Zhuang, J. y Nakayama, K. 2007. Root water and profile soil water as affected by vertical root distribution. *Plant Ecol.* 189: 15-30.

Zan, C.S., Fyles, J.W., Girouard P. y Samson, R.A. 2001. Carbon sequestration in perennial bioenergy, annual corn and uncultivated systems in Southern Quebec. *Agric. Ecosys. Environ.* 86: 135-144.

<http://inta.gov.ar/documentos/informacion-agrometeorologica-1>. Último acceso: 14 de diciembre de 2013.