

Álvarez, Luis

Evaluación del valor nutritivo de gramíneas perennes estivales a lo largo de la estación de crecimiento y su diferimiento, mediante la técnica in situ

**Trabajo final de Ingeniería en Producción Agropecuaria
Facultad de Ciencias Agrarias**

Este documento está disponible en la Biblioteca Digital de la Universidad Católica Argentina, repositorio institucional desarrollado por la Biblioteca Central "San Benito Abad". Su objetivo es difundir y preservar la producción intelectual de la institución.

La Biblioteca posee la autorización del autor para su divulgación en línea.

Cómo citar el documento:

Álvarez, L. 2010. Evaluación del valor nutritivo de ganancias perennes estivales a lo largo de la estación de crecimiento y su diferimiento, mediante la técnica in situ [en línea]. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Católica Argentina.

Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/evaluacion-valor-nutritivo-gramineas-perennes.pdf>

(Se recomienda indicar fecha de consulta al final de la cita. Ej: [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2010]).



UCA

Facultad de Ciencias Agrarias

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Facultad de Ciencias Agrarias

Ingeniería en Producción Agropecuaria

“Evaluación del valor nutritivo de gramíneas perennes estivales a lo largo de la estación de crecimiento y su diferimiento, mediante la técnica *in situ*”

**Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero en Producción Agropecuaria**

Autor: Luis Álvarez

Director: Dr. Néstor Stritzler

Co-Director: Ing. Agr. Mg. Celia Rabotnikof

Buenos Aires, 19 de octubre de 2010

ÍNDICE

Carátula-----	Hoja 1
Resumen-----	Hoja 3
Introducción-----	Hoja 4
Objetivos-----	Hoja 11
Materiales y Métodos-----	Hoja 12
Resultados y Discusión-----	Hoja 16
Conclusiones-----	Hoja 38
Agradecimientos-----	Hoja 39
Bibliografía-----	Hoja 40

RESUMEN

La región semiárida ya hace varias décadas, incorporó a sus sistemas productivos ganaderos una gramínea megatérmica, el pasto llorón (*Eragrostis curvula*), que se logró adaptar con elevada productividad y perennidad. Esta especie ocupa un lugar clave en la cadena forrajera, dado su temprano rebrote a principios de primavera. La principal debilidad de esta especie es que disminuye la calidad nutritiva notablemente a medida que avanza el ciclo del cultivo. Por ello en este trabajo se evaluaron otras especies megatérmicas que han sido introducidas en la región. Para evaluar la calidad nutritiva a lo largo del año se utilizó a *Eragrostis curvula* como testigo de comparación del resto de las especies. Se tomaron muestras de biomasa aérea de *Eragrostis curvula* (testigo), *Eragrostis superba*, *Panicum virgatum*, *Pennisetum orientale* y *Tripsacum dactyloides* cada dos meses, comenzando a mediados de noviembre, divididas en sus fracciones morfológicas, hoja y tallo, e incubadas en bolsitas en el rumen de 3 novillos provistos de cánulas ruminales durante 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 horas para determinar digestión *in situ* a diferentes tiempos de incubación. Los resultados obtenidos permitieron estimar la solubilidad inicial (SI) y la degradabilidad efectiva (DE), y estos valores fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$). Tanto las SI como las DE fueron más altas para la fracción hoja que para la fracción tallo, y para ambas las dos variables disminuyeron a medida que avanzaba el ciclo. La comparación entre especies mostró, en términos generales, que las especies evaluadas producen forraje de mayor valor nutritivo que el del pasto llorón. Los valores de SI variaron entre 24,75% y 4,64%, mientras que los de DE fueron de 49,78% a 23,92%. De acuerdo a los resultados obtenidos puede concluirse que el forraje producido por *Pennisetum orientale* fue el de mayor calidad nutritiva, seguido por *Eragrostis superba*. *Panicum virgatum* produce forraje de buen valor nutritivo sólo al principio, por lo que no es recomendable diferir su utilización.

INTRODUCCION

El proceso de concientización de la situación de degradación progresiva de pastizales de zonas semiáridas comenzó, en el mundo y particularmente en la Región Pampeana Semiárida, hace algunas décadas. Dado que la principal causa de degradación de pastizales es el sobre pastoreo, la adopción de medidas de control puede reducir su tasa de deterioro. Algunos productores, conscientes de este problema, tratan de aprovechar la habilidad de la pastura natural de producir biomasa con escasas y altamente variables precipitaciones. En muchos casos, la pastura natural es manejada a través de carga y frecuencia de pastoreo para ajustarlos a la dinámica de crecimiento de las plantas como respuesta a las lluvias. Los animales son movidos de una parte a otra a lo largo del año, siguiendo los cambios en la disponibilidad forrajera (Gliessman, 1998). Este procedimiento, sin embargo, es muy complejo ya que implica aumentos y reducciones de carga frecuentes. Las variaciones entre años y entre estaciones son características de las regiones semiáridas (Bailey, 1979). Durante los períodos lluviosos, los productores tienden a aumentar la carga, mientras que en los secos ésta no se reduce con la misma velocidad y en similar magnitud. Esto ocurre por diversas razones, entre ellas la reducción de precios y la esperanza de los productores por un cambio positivo en la situación climática. El proceso conduce, por lo tanto a una sobrecarga en los potreros (Gastó Coderch, 1993), que lleva al sobre pastoreo.

Otros productores, al poseer dentro del establecimiento algunos potreros desmontados, pueden apelar a otras alternativas. La siembra e implantación de especies perennes de buena calidad forrajera y alta productividad posibilitaría, por un lado, concentrar la carga animal en esos potreros en distintos momentos del año, permitiendo así el descanso de los pastizales naturales, y por el otro, evitar procesos erosivos al interrumpir la roturación frecuente de suelos no aptos para ello.

En el período estival, normalmente libre de heladas, el balance hídrico y los niveles de temperatura permiten una producción forrajera de alto nivel, sobre la base del cultivo de gramíneas perennes de crecimiento estival, muchas veces conocidas como especies de tipo Carbono 4 (C₄).

¿Por qué pensar en proponer estas especies y no las ya conocidas gramíneas tradicionales de zonas templadas? Simplemente porque, para regiones semiáridas, son más productivas (Osborne, 2008). Existen razones bioquímicas para ello. Las plantas que poseen el paso fotosintético conocido como C_4 son más eficientes en la captación de CO_2 con altas temperaturas e intensidad de luz (Edwards *et al.*, 2010). Adicionalmente, las especies C_4 tienen mayor resistencia estomática a la pérdida de agua. Así, la fotosíntesis en plantas C_4 puede ocurrir bajo condiciones de estrés térmico e hídrico, cuando la fotosíntesis en especies C_3 estaría limitada. Al mismo tiempo, las plantas C_4 tienen temperaturas óptimas para fotosíntesis más altas (30 – 45°C) que las C_3 (15 – 30°C) (Gliessman, 1998; Edwards *et al.*, 2010). En zonas semiáridas, por lo tanto, las gramíneas estivales (C_4) son siempre más exitosas que las C_3 . Por todas estas razones, las gramíneas estivales (C_4) prosperan y producen más en ambientes cálidos, secos y a menudo en suelos pobres (Ehleringer *et al.*, 1997), con sequías frecuentes y severas (Wentworth, 1983; Sage, 2004).

Ya hace varias décadas, el Ingeniero Guillermo Covas en el ámbito de la provincia de La Pampa y oeste de la provincia de Buenos Aires, y el Ingeniero Antonio Marchi en la provincia de San Luis, iniciaron un proceso de importación, selección y difusión de especies forrajeras, incorporando cientos de miles de hectáreas de pasto llorón (*Eragrostis curvula*) (EC) a la producción ganadera. El pasto llorón es una gramínea perenne de crecimiento estival (C_4), de origen sudafricano. En 1928 se introdujo en Estados Unidos y luego, en la década de los '40 fue introducida en la República Argentina. La rápida expansión, a partir de su introducción, se debió a las características de esta especie, que la hacen prácticamente insustituible.

El primer impacto logrado por el pasto llorón fue la fijación de médanos y la reincorporación al proceso productivo, de potreros altamente erosionados. Esta forrajera pudo demostrar sus principales características: elevada productividad y perennidad, aún en condiciones climáticas adversas (Covas, 1974), y ausencia de plagas y enfermedades. Estas ventajas hicieron que su difusión alcanzara inclusive otras regiones de nuestro país (Cairnie, 1974; Stritzler y Petruzzi, 2000). El pasto

llorón ocupa aún un lugar clave en la cadena forrajera, a principios de primavera, dado su temprano rebrote, produciendo hasta 80 kg de materia seca/ha.día sin fertilización, y hasta 140 kg de materia seca/ha.día con fertilización fosfo-nitrogenada (Stritzler y Petruzzi, 2005).

La principal debilidad de esta especie se centra en la calidad nutritiva de su forraje. En contraste con sus virtudes, el problema más importante que presenta el pasto llorón es que esta calidad del forraje decae notablemente a lo largo del ciclo de crecimiento con valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) en primavera de alrededor del 60% y 9,7% de proteína bruta, mientras que en invierno la DIVMS es del 35% y la proteína bruta del 3,4% (Stritzler y Petruzzi, 2005). Sólo el primer rebrote primaveral puede ser considerado como de muy buena calidad nutritiva. A partir de allí, ésta decrece constantemente y no es un forraje apto para ser utilizado por categorías con requerimientos relativamente altos, ni para ser utilizado como diferido hacia el invierno. Numerosos trabajos han demostrado la baja calidad nutritiva del forraje de pasto llorón diferido (Vera *et al.*, 1973; Marchi *et al.*, 1973; Castro y Gallardo, 1984; Gargano y Adúriz, 1984) siendo superado por otras gramíneas de crecimiento estival (Rabotnikof *et al.*, 1986a,b; Stritzler *et al.*, 1996).

La introducción, selección y evaluación de especies forrajeras destinadas a la alimentación del ganado, es un proceso largo, con muchos inconvenientes, aunque también con logros. La herramienta utilizada en estas evaluaciones preliminares de recursos genéticos obtenidos de distintos lugares del mundo, es el Jardín de Introducción. En él se implantan, en muchos casos por primera vez en el país, distintas especies, cultivares y accesiones y se observa su comportamiento. Sobre ellas se mide, en primera instancia, persistencia (Stritzler y Petruzzi, 2000). En el camino quedan muchas de estas especies, cultivares y/o accesiones, que no toleran la rigurosidad de las condiciones climáticas de la Región Pampeana semiárida (Rabotnikof *et al.*, 1986b; Stritzler y Petruzzi, 2005), y muestran por lo tanto, baja persistencia. Algunas no soportan la intensidad de los fríos invernales, para otras las temperaturas estivales son críticas, otras requieren más agua que la que la región les ofrece (Stritzler y Petruzzi, 2000, 2005).

Algunas especies han superado estas evaluaciones preliminares y ya se incorporaron al medio productivo, formando parte de las cadenas forrajeras regionales. Ellas son *Digitaria eriantha* (Digitaria, Digigrass) y *Panicum coloratum* (Mijo perenne, Kleingrass). Sobre otras se están realizando estudios de mayor detalle en cuanto a producción, calidad nutritiva y distribución del forraje producido. Todas son largamente perennes. Entre las especies en estudio más destacadas se encuentran: *Panicum virgatum* (PV), *Tripsacum dactyloides* (TD), *Eragrostis superba* (ES) y *Pennisetum orientale* (PO).

Panicum virgatum (Pasto varilla, Switchgrass) es un pasto perenne de estación cálida, nativo del norte del continente americano, y ha sido históricamente parte importante de las praderas norteamericanas de pastos altos de alta producción. Este pasto tolera una amplia variedad de condiciones de crecimiento, desde sitios áridos en las praderas de pastos bajos hasta pantanos y bosques abiertos. A través de su distribución hay dos formas morfológicas y genéticas distintas o ecotipos, uno de tierras bajas generalmente encontrado en climas y hábitats sureños y una variedad de tierras altas típicamente encontrada en latitudes norte con ambientes secos y semiáridos (Sanderson *et al.* 1996; Hultquist *et al.* 1997; Casler *et al.* 2004). Es una especie altamente productiva, alcanzando para la provincia de La Pampa valores de más de 10 TN MS/ha.año (Rabotnikof y Stritzler, 2006). Se han evaluado varios cultivares, siendo el de mejor comportamiento en la Región Pampeana semiárida, el cv. Álamo. Su forraje es de muy buena calidad nutritiva durante el ciclo de crecimiento, alcanzando valores de 68,3% de DIVMS y 11,2% de proteína bruta (PB) (Stritzler y Petruzzi, 2005). Sin embargo, no podría utilizarse como diferido hacia el invierno. Su forraje, aparentemente, sería de tan baja calidad nutritiva en el invierno, que no podría sostener niveles de mantenimiento en vacas de cría (Stritzler y Petruzzi, 2005).

Otra de las especies en estudio es *Tripsacum dactyloides* (Pasto Guatemala, Eastern gamagrass). Es una especie megatérmica originaria del este de América del Norte. Posee una alta productividad, sobre todo en ambientes húmedos, aunque también tiene buen comportamiento en regiones semiáridas (Roberts y Kallenbach, 1999). Es pariente del maíz, y se caracteriza por poseer

rizomas cortos, muy numerosos. Es muy susceptible al sobrepastoreo, y su característica más destacable es el rebrote temprano. De los cultivares evaluados hasta el presente (Pete, PMK-24, Iuka), este último se ha destacado en producción de forraje: puede alcanzar más de 10000 Kg de MS/ha.año (Roberts y Kallenbach, 1999); el valor nutritivo de su forraje es medio en la primavera, con 64,9% DIVMS, pero buen nivel proteico (12,0% PB). A partir de allí, ambas variables disminuyen hasta alcanzar valores bajos después de las heladas (38,9% DIVMS y 3,7% PB) (Stritzler y Petruzzi, 2005).

Otra especie destacada es *Eragrostis superba* (Pasto garrapata, Wilman lovegrass), una especie de origen africano que presenta mediana producción de forraje, pero de muy alta calidad nutritiva, tanto en su ciclo de crecimiento primavera–estival como diferido para su utilización en invierno. Su forraje alcanza 69,0% DIVMS y 10,6% PB en primavera, manteniendo buenos valores de digestibilidad en verano (65,3%) y otoño (66,4%). En invierno, la digestibilidad es suficiente para mantener rodeos de cría (Stritzler y Petruzzi, 2005). Por su porte, que no supera los 50 cm. de altura, es ideal para consociarla con leguminosas como alfalfa.

Por ultimo, *Pennisetum orientale* (Lauresa, Oriental fountain grass) es una especie perenne de enraizamiento profundo, muy macolladora, de hasta 1,5 m de altura. Valiosa para pasturas en suelos ricos y húmedos. Resistente a la sequía, en ambientes libres de heladas fuertes permanece verde durante todo el año y es muy apetecible por el ganado (Rabotnikof *et al.*, 2005). El valor nutritivo de su forraje es muy alto (Stritzler *et al.*, 1998), superando inclusive a la mayoría de las gramíneas megatérmicas evaluadas en La Pampa.

Todas ellas se encuentran actualmente bajo estudio, y resulta de gran importancia conocer otros aspectos que hacen a su calidad nutritiva, a lo largo del ciclo anual de crecimiento (Stritzler y Petruzzi, 2005).

Las gramíneas perennes de crecimiento estival suelen tener dos fracciones morfológicas claramente diferenciadas: hojas (láminas) y tallos (vainas + tallos + inflorescencias). A medida que avanza el ciclo de crecimiento, ambas fracciones

tienden a disminuir su valor nutritivo, básicamente por pérdida de contenido celular (Van Soest, 1994) y lignificación progresiva de la pared celular (Jung y Allen, 1995). Adicionalmente, las diferencias en valor nutritivo entre ambas fracciones suelen ser muy altas (Hacker y Minson, 1981; Lamb *et al.*, 2002) y justifican la cuantificación de la proporción de cada fracción, así como la evaluación del valor nutritivo de cada una de ellas (Ferri, 2002).

El método de las bolsitas o método *in situ* ha demostrado ser una herramienta útil para la evaluación de la calidad nutritiva de los forrajes. Es una buena estimadora de la digestibilidad y el consumo voluntario de los forrajes en general (Nandra *et al.*, 1993) y de las gramíneas megatérmicas en particular (Ferri *et al.*, 1998).

La técnica se basa en la incubación en el rumen, dentro de bolsitas de nylon, del alimento cuya calidad nutritiva se quiere conocer. El tamaño de poro no permite la entrada o salida de partículas del alimento, pero sí de los microbios ruminales. La diferencia entre el peso de la muestra antes y después de la incubación se asume que fue digerida por los microorganismos ruminales. La incubación, por diferentes tiempos, de una misma muestra, permite identificar claramente dos fracciones: a) la fracción rápidamente degradable o solubilidad inicial de la muestra (SI). Es el material que se disuelve rápidamente en el líquido ruminal; ocupa escaso o nulo volumen en el rumen (Ørskov y Ryle, 1990), y b) fracción insoluble pero potencialmente degradable. La fracción a) se considera 100% digerida, y su estimación permite conocer la disponibilidad inmediata de energía en el rumen, mientras que la fracción b) lo es sólo parcialmente, dependiendo de la velocidad con que las partículas abandonan el rumen (Kristensen *et al.*, 1982). La degradabilidad efectiva (DE) resulta de la combinación entre la degradabilidad (fracción a + fracción b) y la tasa fraccional de pasaje de las partículas (Stritzler *et al.*, 1997) y tiene, por lo tanto, una relación estrecha con la dinámica de los procesos que ocurren en el rumen y con el consumo voluntario del animal (Ferri *et al.*, 1998). La precisión de la técnica como estimadora del valor nutritivo depende de la estandarización de varios aspectos específicos, como tamaño de poro de la tela (Kristensen *et al.*, 1982),

relación entre peso de la muestra y superficie expuesta de bolsa (Nordiske Kontaktorgan for Jordbrugsforskning, 1985), tamaño de molienda (Huntington y Givens, 1995), posición dentro del rumen (Stritzler *et al.*, 1990), modelo utilizado (Stritzler *et al.*, 1997).

OBJETIVOS

- Evaluar la calidad nutritiva de gramíneas megatérmicas, en términos comparativos a un testigo conocido, *Eragrostis curvula* (Pasto llorón).
- Establecer la calidad nutritiva de las fracciones morfológicas hoja y tallo.
- Evaluar la evolución de la calidad nutritiva de cada especie y fracción morfológica a medida que avanza el estado fenológico.
- Detectar la/s especie/s megatérmicas que se presente/n como más promisorias para la Región semiárida central de nuestro país.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental se realizó en las instalaciones pertenecientes al Campo de Enseñanza de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa.

Las muestras de forraje fueron obtenidas durante la temporada 2006-2007; las especies y cultivares evaluados fueron los siguientes:

- *Eragrostis curvula* (Schrud.) Nees cv. Tanganyika (Pasto llorón, testigo).
- *Eragrostis superba* Peyr. Cv. Palar (Pasto garrapata).
- *Panicum virgatum* L. cv. Alamo (Pasto varilla).
- *Pennisetum orientale* Rich. (Lauresa).
- *Tripsacum dactyloides* (L.) L. (Pasto Guatemala).

El ensayo, cuyas parcelas fueron implantadas previamente, fue diseñado en bloques completamente aleatorizados. En julio de 2006 todas las parcelas fueron cortadas simultáneamente, de manera que no quedara en pie material aéreo remanente del crecimiento de la temporada anterior. A partir de noviembre de 2006 comenzó la toma de muestras de forraje, realizada a 5 cm de la superficie del suelo. Se hicieron 5 cortes en total, espaciados aproximadamente 60 días entre sí. Las fechas de corte fueron las siguientes:

- Fecha 1: 16 de noviembre de 2006
- Fecha 2: 14 de enero de 2007
- Fecha 3: 14 de marzo de 2007
- Fecha 4: 15 de mayo de 2007
- Fecha 5: 1 de julio de 2007

El material colectado fue llevado a laboratorio, donde fue separado en dos fracciones morfológicas: Hoja (compuesta sólo por la lámina de la hoja) y Tallo (incluyó tallo + vaina + inflorescencia). Cada fracción fue secada por separado en estufa de aire forzado a 60°C hasta peso constante y molida con molino tipo Wiley, con malla de 3 mm.

Cada una de las muestras obtenidas fue incubada en bolsitas de nylon con un tamaño de poro de 50 μm , y una relación de 12,5 mg MS/ cm^2 de bolsita (Lindberg, 1985), en el rumen de 3 novillos cruza Hereford de 650 Kg. de peso vivo promedio, provistos de cánulas ruminales permanentes (Fotografía 1).

Los animales experimentales fueron alimentados individualmente con heno de alfalfa (DIVMS: 69,4%; PB: 20,20%) *ad libitum* desde 7 días antes de iniciar las incubaciones, con el objetivo de remover del tracto digestivo todo resto de alimentos previos. A partir del octavo día se hicieron las incubaciones, con los siguientes tiempos: 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96 horas. Las bolsas (Fotografías 2 y 3) se introdujeron en rumen en orden cronológico inverso, y se extrajeron todas al mismo tiempo. Luego de una limpieza manual de 5 minutos, las bolsas fueron introducidas en un ciclo de lavado en lavarropas, por una hora, con intercambio constante de agua. Se llevaron a estufa y se secaron hasta peso constante.

La determinación de solubilidad inicial (*SI*) (hora 0), se hizo sumergiendo las muestras en agua destilada a 39°C durante 15 minutos, con agitación constante, y luego se llevaron a estufa hasta peso constante, en idénticas condiciones a las bolsas incubadas en rumen. La desaparición de materia seca se estimó como la diferencia porcentual entre el peso de la muestra antes y después de la incubación. A partir de los resultados obtenidos se calculó la degradabilidad efectiva (*DE*) de la materia seca, estimándola de acuerdo al modelo propuesto por Kristensen *et al.* (1982), basado en la siguiente ecuación:

$$DEK = \sum_{i=1}^n [D(t_i + 1) - D(t_i)] \int (t_i, t_i + 1)$$

Donde:

DE_k = Degradabilidad efectiva de la materia seca para una tasa de pasaje k ;

D = MS degradada, incluyendo solubilidad inicial *SI*

t_i y t_{i+1} = intervalos de tiempos sucesivos, y

$\int_{t_i}^{t_{i+1}}$ = Proporción media de materia seca en el rumen entre los tiempos t_i y t_{i+1} .

El total de muestras incluyó 5 especies, 5 fechas de corte y dos fracciones morfológicas, que constituyeron un arreglo factorial de 5 x 5 x 2. Cada muestra

evaluada contenía una representación igual en peso de cada una de las 3 repeticiones presentes en el ensayo de parcelas a campo, en concordancia con el protocolo utilizado por otros autores (Coblentz y Walgenbach, 2010). Para el cálculo de degradabilidad de la fracción hoja, las tasas de pasaje estuvieron comprendidas entre 0,05 y 0,03 por hora, y las de la fracción tallo entre 0,045 y 0,025 por hora. Cada novillo fue considerado como repetición, y la información obtenida sobre *SI* y *DE* fue sometida a análisis de varianza, y las medias significativas, comparadas por prueba de Tukey ($p < 0,05$). El programa estadístico usado fue el STATGRAPHICS PLUS.

Fotografía 1: Uno de los novillos utilizados en el ensayo



Fotografía 2: Detalle de la incubación de bolsitas.



Fotografía 2: Detalle de las bolsitas y el forraje incubado.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En ambas variables consideradas en el presente trabajo, solubilidad inicial y degradabilidad efectiva, la interacción entre especies y fechas de corte fue significativa ($p < 0,05$); por ello, las comparaciones fueron realizadas para cada corte y especie.

En términos generales, las especies en estudio mostraron diferencias entre sí en ambas variables y fracciones morfológicas; también fueron importantes las diferencias entre distintas fechas para cada una de las especies evaluadas. Los resultados obtenidos serán presentados y discutidos para cada variable, y dentro de ellas, para cada fracción morfológica.

Solubilidad inicial (SI)

- **Fracción hoja**

Para esta fracción la solubilidad inicial presentó diferencias significativas entre especies, dentro de cada fecha de corte (Tabla 1; Gráfico 1). Se puede observar que en la fecha de corte correspondiente al mes de noviembre, *Eragrostis curvula* presenta una solubilidad inicial significativamente menor que el resto de las especies, siendo *Panicum virgatum*, *Pennisetum orientale* y *Tripsacum dactyloides* las especies que presentaron los valores más altos, y *Eragrostis superba* fue significativamente diferente al resto de las especies, tomando valores intermedios.

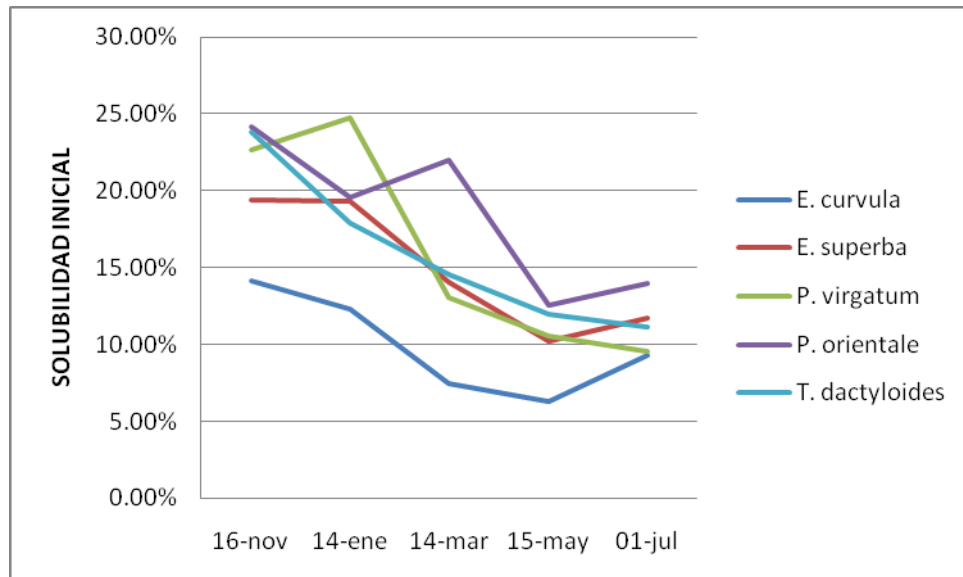
Para la segunda fecha de corte (14 de enero), *Eragrostis curvula* tuvo valores significativamente más bajos que el resto de las especies, con excepción de *Tripsacum dactyloides*, siendo *Panicum virgatum* la especie que presentó la mayor solubilidad inicial, sin diferir significativamente ($p > 0,05$) de *Pennisetum orientale* y *Eragrostis superba* (Tabla 1; Gráfico 1). Estas últimas dos especies, por otro lado, no fueron diferentes ($p > 0,05$) de *Tripsacum dactyloides*.

TABLA 1. Solubilidad inicial (expresada en %). Comparación entre especies para cada fecha de corte de la fracción hoja.

Fechas Especie	16 Nov	14 Enero	14 Marzo	15 Mayo	1 Julio
<i>E. curvula</i>	14,18cA	12,30cAB	7,49bC	6,33bC	9,28bBC
<i>E. superba</i>	19,44bA	19,31abA	14,06abAB	10,19aB	11,73abAB
<i>P. virgatum</i>	22,63aA	24,75aA	13,03bB	10,59aBC	9,58bBC
<i>P. orientale</i>	24,14aA	19,55abAB	22,00aA	12,56aC	13,95aC
<i>T. dactyloides</i>	23,83aA	17,94bcB	14,56abBC	11,97aC	11,16abC

Distinta letra minúscula dentro de columna indica diferencias significativas ($p < 0,05$); diferente letra mayúscula dentro de fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

GRÁFICO 1. Solubilidad inicial. Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción hoja.



En el mes de marzo se realizó el tercer corte. La *SI* de la fracción hoja de *Pennisetum orientale* fue marcadamente superior a la del resto de las especies, aunque las diferencias con *ES* y *TD* no fueron significativas ($p > 0,05$), mientras que los valores más bajos se observaron en *Eragrostis curvula* y *Panicum virgatum*. Aún cuando *Eragrostis curvula* tuvo la menor degradabilidad, las diferencias sólo fueron significativas respecto de *PO* ($p < 0,05$).

El análisis de los valores del cuarto corte, realizado en el mes de mayo, muestra diferencias significativas en la *SI* de *Eragrostis curvula* respecto del resto de las especies ($p < 0,05$). No se encontraron diferencias en la solubilidad inicial de esta fracción entre las restantes especies ($p > 0,05$).

En el mes de julio, última fecha de corte, el valor máximo fue observado en *Pennisetum orientale*, aunque no se pudieron apreciar diferencias significativas ($p > 0,05$) con respecto a *Eragrostis superba* y *Tripsacum dactyloides*. *Eragrostis curvula*, junto a *Panicum virgatum* son los que tuvieron menor solubilidad inicial

para esta fecha, con valores inferiores al 10%, aunque sólo difirieron significativamente respecto de PO.

La comparación entre las solubilidades para distintas fechas de corte, fracción hoja, puede verse en la Tabla 1 y en el Gráfico 2.

Eragrostis curvula tuvo valores muy similares en los meses de noviembre y enero, mientras que la *SI* disminuyó marcadamente a partir del mes de marzo, a partir del cual se mantuvo sin sustanciales diferencias. Sin embargo, las fechas 2 y 5 no fueron significativamente diferentes ($p > 0,05$).

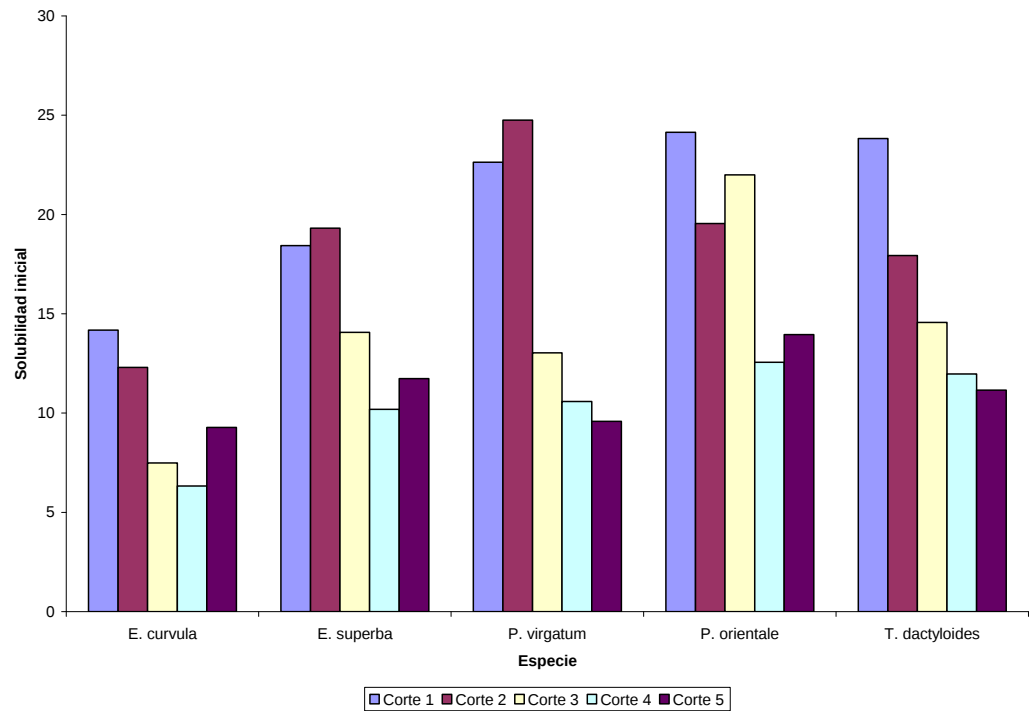
Eragrostis superba mostró una tendencia a disminuir su *SI* a lo largo del ciclo. Presentó diferencias significativas de solubilidad al comparar los dos primeros cortes con respecto a los tres últimos ($p < 0,05$).

Panicum virgatum mostró valores de solubilidad similares en los dos primeros cortes. Luego, la *SI* disminuyó significativamente en el corte del mes de marzo ($p < 0,05$) en comparación con los cortes anteriores, y también disminuyó notablemente la solubilidad en los meses de mayo y julio, sin diferir entre sí ($p > 0,05$), pero significativamente diferentes de la *SI* de los tres primeros cortes.

La especie *Pennisetum orientale* presentó una elevada solubilidad en los tres primeros cortes, que no fueron diferentes entre sí ($p > 0,05$), y una disminución significativa en los dos últimos, aunque las solubilidades iniciales de los cortes 2 y 5 no fueron diferentes.

Tripsacum dactyloides es una especie que mostró elevada solubilidad inicial en el mes de noviembre y luego sufrió pérdidas significativas a medida que avanzó el estado fenológico de la planta, sin diferir en las dos fechas de corte siguientes, con valores similares entre marzo y mayo, para luego continuar con valores muy bajos en los últimos meses. Los últimos 3 cortes no mostraron diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$; Tabla 1).

GRÁFICO 2. Solubilidad inicial (en %). Comparación entre fechas de corte para cada especie, fracción hoja.



• Fracción tallo

La Tabla 2 contiene la comparación entre especies para cada fecha de corte de la fracción tallo. Estos valores mostraron mayor heterogeneidad que los analizados anteriormente, correspondientes a las hojas.

En las dos primeras fechas de corte se pudieron observar diferencias significativas entre todas las especies, dentro de cada una de las fechas de corte ($p < 0,05$). En el primer corte, realizado en el mes de noviembre, *Tripsacum dactyloides* mostró valores cercanos a 23%, mientras que *Eragrostis curvula* fue la de menor solubilidad inicial, con valores cercanos a 13%. Dado que PO no había florecido aún, en este corte no se colectó la muestra correspondiente a la

fracción tallo de esta especie. Los valores correspondientes al corte del mes de enero muestran que *Pennisetum orientale* fue la especie con mayor *SI*, mientras que *Eragrostis curvula* fue la que presentó el valor más bajo.

En el tercer corte, correspondiente al 14 de marzo, el valor más alto de solubilidad inicial de la fracción tallo, cercano al 20%, correspondió a PO. *E. superba* y *P. virgatum* mostraron valores inferiores ($p < 0,05$). La *SI* del tallo de TD fue similar a la de ES, mientras que la de EC fue significativamente más baja que las restantes ($p < 0,05$; Tabla 2; Gráfico 3).

También en el 4° corte, la *SI* más baja fue la de EC, y la más alta, la de *Pennisetum orientale* ($p < 0,05$). La de los tres forrajes restantes fue similar entre sí ($p > 0,05$), pero más baja que la de PO y superior a la de EC ($p < 0,05$; Tabla 2; Gráfico 3). En el último corte, el valor de *SI* de *E. curvula* fue nuevamente inferior al 5% (Tabla 2) y significativamente más bajo que la *SI* de los restantes forrajes evaluados ($p < 0,05$). El valor más alto (12,7%; Tabla 2) fue nuevamente el de PO, aunque la diferencia de solubilidad inicial con el forraje de PV no fue significativa ($p > 0,05$; Tabla 2). Los valores de *SI* de esta fracción, correspondientes a ES (8,69%) y TD (8,78%) (Tabla 2; Gráfico 3) fueron intermedios y no mostraron diferencias significativas con PV ($p > 0,05$).

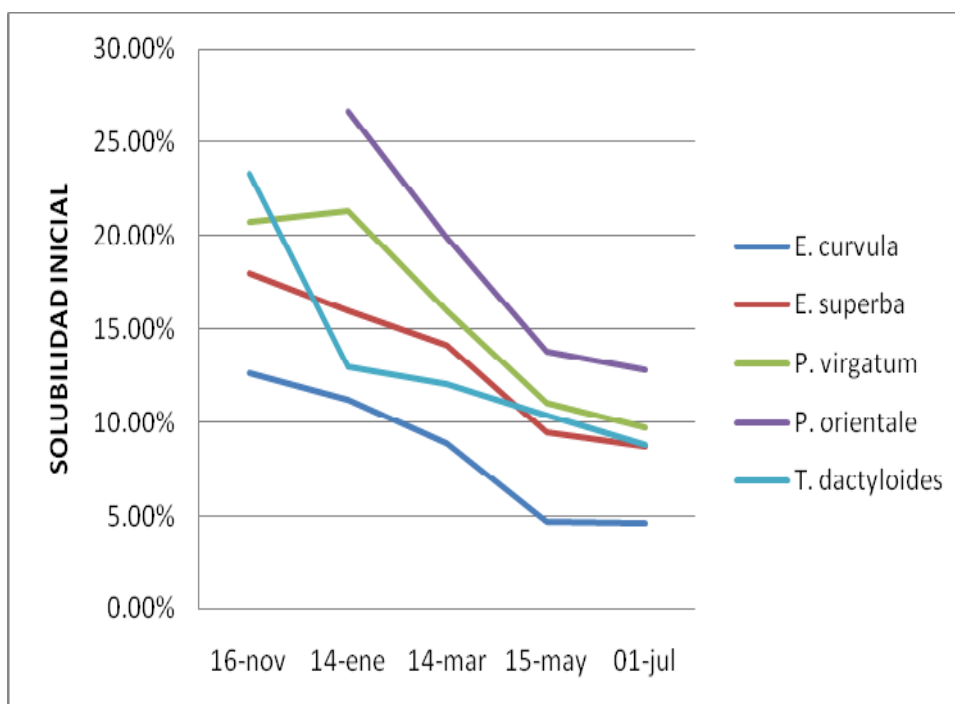
Si analizamos ambas Tablas en conjunto podemos observar claramente que *Eragrostis curvula* es la especie que presenta la menor solubilidad inicial a lo largo de todo el ciclo, mientras que los valores más altos se obtuvieron en *Pennisetum orientale*.

TABLA 2. Solubilidad inicial (en %). Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción tallo.

Fechas Especie	16 Nov	14 Enero	14 Marzo	15 Mayo	1 Julio
<i>E. curvula</i>	12,68dA	11,26eA	8,87dB	4,70cC	4,64cC
<i>E. superba</i>	17,99cA	15,99cB	14,11bcC	9,48bD	8,69bD
<i>P. virgatum</i>	20,73bA	21,35bA	15,96bB	11,06bC	9,74abC
<i>P. orientale</i>	S/D	26,71aA	19,94aB	13,84aC	12,69aC
<i>T. dactyloides</i>	23,35aA	13,00dB	12,10cC	10,41bD	8,78bD

Distinta letra minúscula dentro de columna indica diferencias significativas ($p < 0,05$); diferente letra mayúscula dentro de fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$); S/D: sin dato

GRÁFICO 3. Solubilidad inicial. Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción tallo.



En la Tabla 2 y el Gráfico 4 pueden verse los valores de la fracción tallo y las comparaciones realizadas entre fechas de corte.

Eragrostis curvula demostró tener valores muy bajos de solubilidad inicial desde el comienzo del ciclo vegetativo. En noviembre, la SI no llegó al 13%, mientras que en el segundo corte, realizado el 14 de enero, apenas superó el 11% (Tabla 2). Las diferencias entre ambos no fueron significativas ($p > 0,05$), pero sí lo fueron respecto del 3° corte, con una solubilidad menor al 9%. Los dos últimos cortes tuvieron solubilidades iniciales menores al 5%, y significativamente más bajas ($p < 0,05$) que las restantes (Tabla 2; Gráfico 4).

Otra especie que demostró tener valores bajos de solubilidad, aunque superiores a los de *Eragrostis curvula*, fue *Eragrostis superba*. Esta especie tiene

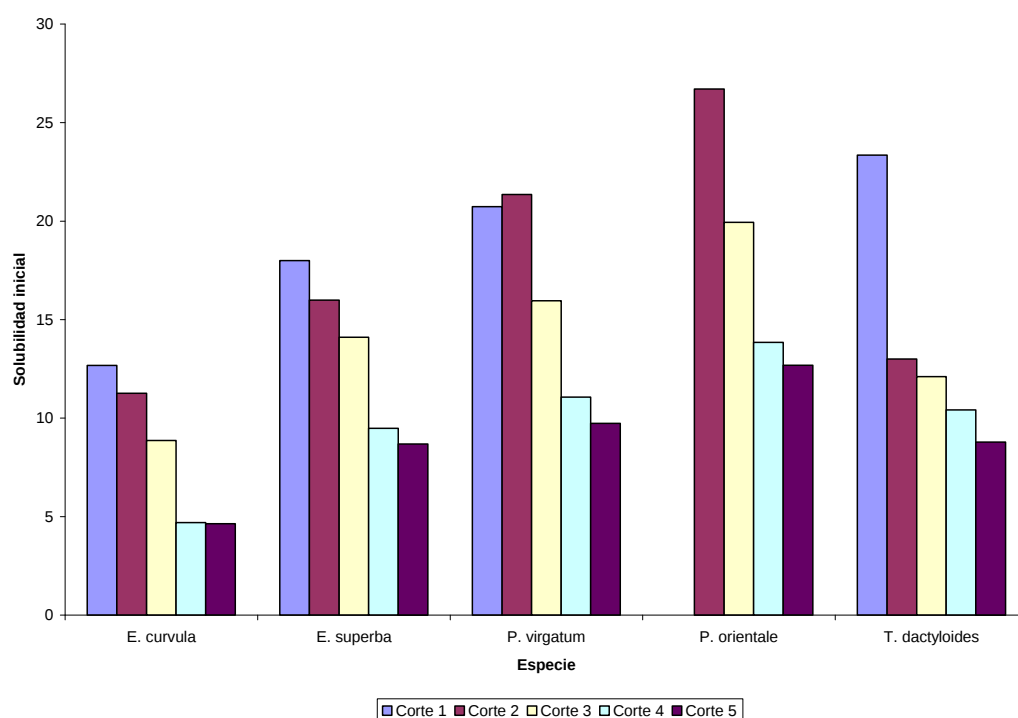
pérdidas significativas de solubilidad entre cada corte realizado, aunque las diferencias entre los dos últimos cortes no fueron significativas ($p > 0,05$).

El comportamiento de *Panicum virgatum* y el de *Pennisetum orientale* fue muy similar, aunque en esta última fuente forrajera no se obtuvo muestra de la fracción tallo en el primer corte, debido a la ausencia de material. A partir del segundo corte, *Pennisetum orientale* mostró valores de solubilidad inicial de la fracción tallo, más altos que los de *Panicum virgatum*, pero en ambas especies la tendencia fue similar: La solubilidad inicial del tercer corte difirió significativamente ($p < 0,05$) del primero y el segundo en PV y del segundo en PO, y a su vez todos estos difirieron de la cuarta y quinta fechas de corte, que no difirieron significativamente entre sí ($p > 0,05$).

Tripsacum dactyloides mostró una elevada solubilidad inicial (23,35%) en el 1° corte), y sufrió disminuciones significativas de *SI* a partir del segundo y a medida que se sucedieron las fechas de corte, aunque en las dos últimas fechas esta disminución se produjo en forma más gradual sin mostrar diferencias significativas ($p > 0,05$; Tabla 2; Gráfico 4).

El análisis de todos los valores de *SI*, de ambas fracciones morfológicas, mostró como especie destacada a *Pennisetum orientale*, debido a que desde la primera fecha de corte hasta la última, tuvo los valores más elevados de solubilidad inicial.

GRÁFICO 4. Solubilidad inicial. Comparación entre fechas de corte para cada especie, fracción tallo.



Degradabilidad efectiva (DE)

- **Fracción hoja**

La degradabilidad efectiva (DE) es una variable de mayor relevancia que la solubilidad inicial como expresión del valor nutritivo del forraje, por lo que su análisis es importante.

La Tabla 3 y el Gráfico 5 muestran la comparación de la DE entre especies para cada fecha de corte de la fracción hoja.

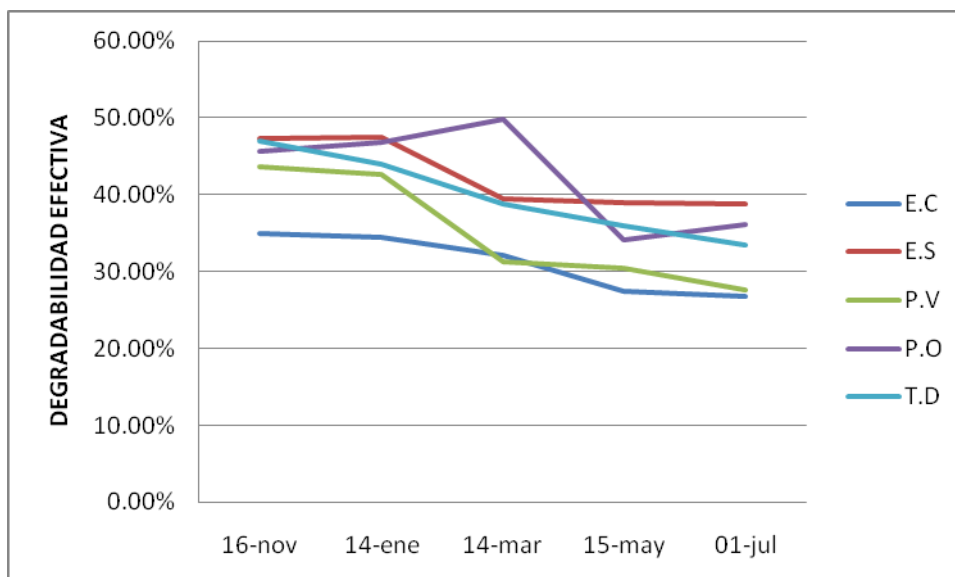
TABLA 3. Degradabilidad efectiva. Comparación entre especies para cada fecha de corte de la fracción hoja.

Fechas Especie	16 Nov	14 Enero	14 Marzo	15 Mayo	1 Julio
<i>E. curvula</i>	34,99bA	34,42bA	32,14bcAB	27,42cB	26,76cB
<i>E. superba</i>	47,30aA	47,54aA	39,40bA	38,93aA	38,88aA
<i>P. virgatum</i>	43,73abA	42,65abA	31,24cB	30,49bcB	27,60cB
<i>P. orientale</i>	45,64aA	46,79aA	49,78aA	34,11abcB	36,10abB
<i>T. dactyloides</i>	47,07aA	43,91aAB	38,83bcBC	35,89abC	33,48bC

Distinta letra minúscula dentro de columna indica diferencias significativas ($p < 0,05$); diferente letra mayúscula dentro de fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

En el corte de noviembre (1° fecha) *Eragrostis superba*, *Pennisetum orientale* y *Tripsacum dactyloides* no difirieron significativamente. *Panicum virgatum* arrojó valores inferiores a estas tres especies, aunque las diferencias no fueron significativas ($p > 0,05$). La única especie que difirió significativamente ($p < 0,05$) de las tres primeras fue *Eragrostis curvula*, con una degradabilidad del 35% aproximadamente (Tabla 3; Gráfico 5).

GRÁFICO 5. Degradabilidad efectiva. Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción hoja.



En el corte de enero (2º fecha) se verifica la misma tendencia que en el corte anterior, observándose valores muy similares para todas las especies (Tabla 3; Gráfico 5).

En marzo (3º fecha) la degradabilidad efectiva de *Pennisetum orientale* difirió significativamente del resto ($p < 0,05$) con casi el 50% de DE. *Eragrostis superba* se ubicó por debajo de aquélla, con 39,4% de degradabilidad, seguida por TD y EC, aunque sin diferir significativamente entre sí ($p > 0,05$). Por último, *Panicum virgatum* mostró en este corte los valores más bajos, aunque sin diferencias significativas respecto de TD y EC ($p > 0,05$; Tabla 3; Gráfico 5).

El 4to corte, realizado en el mes de mayo, mostró cómo se comportaron los forrajes frente a las primeras heladas. La especie que mejor mantuvo la calidad nutritiva de sus hojas fue *Eragrostis superba* con valores cercanos al 39%, con diferencias significativas respecto de *Eragrostis curvula* y *Panicum virgatum*. *Tripsacum dactyloides* difirió significativamente de *Eragrostis curvula* únicamente, presentando valores algo inferiores a los de *Eragrostis superba*

(Tabla 3; Gráfico 5). *Pennisetum orientale* presentó valores medios, sin diferir de ninguna de las otras especies evaluadas. Es, aparentemente, la especie más afectada por las heladas, ya que la *DE* de la fracción hoja cayó más de 15 puntos porcentuales. La *DE* de *Panicum virgatum* fue significativamente más baja ($p < 0,05$) que la de *Eragrostis superba* para esta fracción y fecha de corte (Tabla 3).

En la última fecha y considerando la fracción hoja, la especie con mayor degradabilidad fue *Eragrostis superba*, que difirió significativamente ($p < 0,05$) de las demás especies, salvo de *Pennisetum orientale*. Esta última tuvo diferencias significativas ($p < 0,05$) con *Eragrostis curvula* y *Panicum virgatum*, especies que a su vez no difirieron entre sí (Tabla 3; Figura 5).

Es importante también comparar el comportamiento que tuvo cada especie entre fechas de corte para ambas fracciones morfológicas. Los resultados de la fracción hoja pueden verse en la Tabla 3 y el Gráfico 6.

Eragrostis curvula se degradó inicialmente casi un 35%, y se mantuvo con valores muy próximos en el segundo corte realizado (Tabla 3; Gráfico 6). Se observaron diferencias significativas entre los dos últimos cortes cuando los comparamos con los dos primeros ($p < 0,05$), mientras que el corte de marzo, con valores intermedios, no mostró diferencias significativas con ninguno de los cuatro restantes ($p > 0,05$; Tabla 3; Gráfico 6).

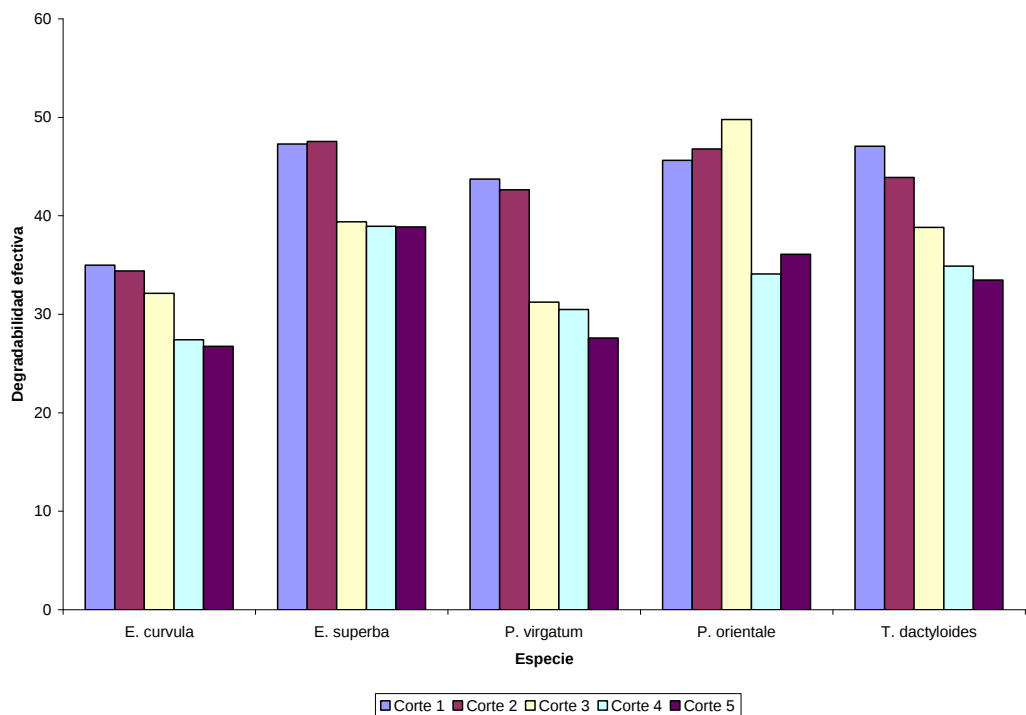
Eragrostis superba mostró ser una especie con *DE* muy estable a lo largo del tiempo sin diferir en ninguna de las fechas de corte significativamente. Los porcentajes de degradabilidad se encontraron próximos al 47% en las dos primeras fechas de corte y alrededor del 39% en las tres últimas.

Panicum virgatum comenzó con valores elevados de degradabilidad efectiva que no difirieron significativamente entre sí, pero a partir del mes de marzo este parámetro disminuyó bruscamente y luego se estabilizó hasta el final, mostrando diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las dos fechas de corte iniciales y las tres últimas (Tabla 3; Gráfico 6).

Algo similar, aunque en promedio con valores superiores a la especie anterior, ocurrió con *Pennisetum orientale*. En esta especie también se produjo un cambio entre los primeros y los últimos cortes, pero las diferencias resultaron significativas ($p < 0,05$) sólo a partir del mes de mayo (4º corte) y en el caso de *Panicum virgatum* estas diferencias comenzaron una fecha de corte antes. Esto mostraría una mayor resistencia a heladas de PO, en esta fracción morfológica al menos (Tabla 3; Gráfico 6).

Tripsacum dactyloides tuvo valores iniciales muy elevados de degradabilidad efectiva; en el primer corte estos valores fueron cercanos al 47%, luego fueron disminuyendo gradualmente a lo largo del tiempo (Tabla 3; Gráfico 6). No se observaron diferencias significativas entre las dos primeras fechas de corte, como así tampoco entre las de los meses de enero y marzo (Tabla 3). A partir del mes de marzo y hasta julio, última fecha de corte, no hubo diferencias significativas ($p > 0,05$; Tabla 3).

Gráfico 6. Degradabilidad efectiva. Comparación entre fechas de corte para cada especie, fracción hoja.



La Tabla 4 y el Gráfico 7 nos muestran la comparación entre especies para cada fecha de corte de la fracción tallo.

En la primera fecha no se pudo estimar la degradabilidad efectiva de *Pennisetum orientale* debido a falta de material, aunque se hubiera esperado el valor más elevado si observamos los valores correspondientes a las fechas de corte subsiguientes. Los valores para esta primera fecha muestran a *Tripsacum dactyloides* como la especie con mayor degradabilidad, con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto del resto de las especies, salvo con *Pennisetum orientale* y *Panicum virgatum*; esta última, a su vez, no difirió significativamente de *Eragrostis superba* (Tabla 4). *Eragrostis curvula* fue la que menor degradabilidad tuvo, con valores cercanos al 26% (Tabla 4; Gráfico 7), difiriendo del resto de las especies ($p < 0,05$).

En la segunda fecha de corte, *Tripsacum dactyloides* no difirió significativamente de *Eragrostis superba* y *Eragrostis curvula*, pero las demás especies sí mostraron diferencias significativas con respecto a estas tres ($p < 0,05$). La mayor degradabilidad fue la de *Pennisetum orientale*, seguido por *Panicum virgatum* aunque casi 10 puntos por debajo, y los valores más bajos, como en la mayoría de los cortes, correspondieron a *Eragrostis curvula*.

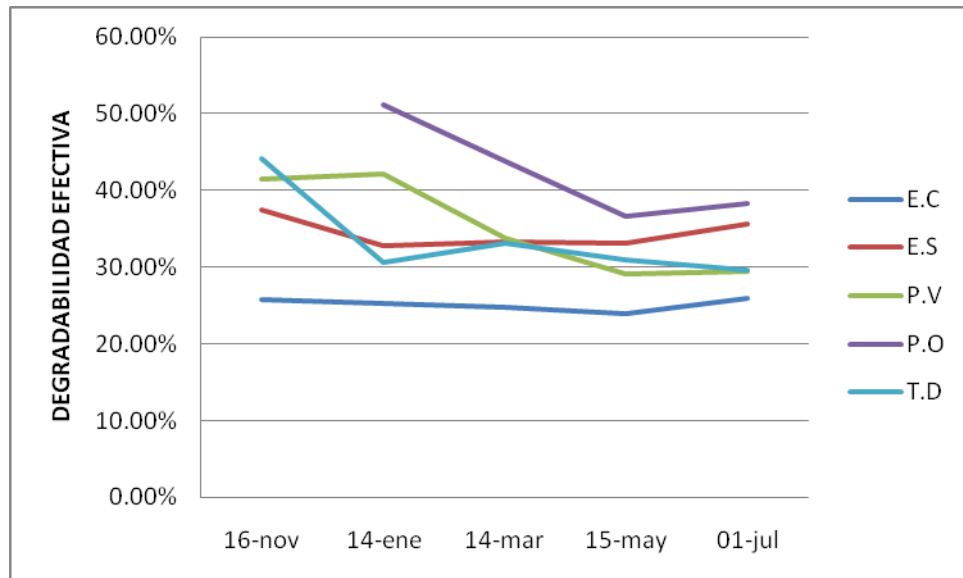
En los cortes realizados los meses de marzo (3º fecha) y mayo (4º fecha), las especies de mayor y menor degradabilidad fueron las mismas que en el corte de enero, mientras que las especies restantes arrojaron valores intermedios sin diferencias significativas entre sí (Tabla 4; Gráfico 7). En el corte de marzo, la fracción tallo de *Pennisetum orientale* tuvo una degradabilidad efectiva superior al resto de las especies ($p < 0,05$) y en mayo, tuvo igual comportamiento, y sólo fue no significativa respecto de *Eragrostis superba* (Tabla 4; Gráfico 7).

TABLA 4. Degradabilidad efectiva. Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción tallo.

Fechas Especie	16 Nov	14 Enero	14 Marzo	15 Mayo	1 Julio
<i>E. curvula</i>	25,81cA	25,27dA	24,72cA	23,92cA	26,00bA
<i>E. superba</i>	37,53bA	32,75cA	33,24bA	33,16abA	35,62aA
<i>P. virgatum</i>	41,42abA	42,19bA	33,73bB	29,06bcB	29,50bB
<i>P. orientale</i>	S/D	51,24aA	43,78aAB	36,67aB	38,28aB
<i>T. dactyloides</i>	44,17aA	30,67cdB	33,20bB	30,95bB	29,57bB

Distinta letra minúscula dentro de columna indica diferencias significativas ($p < 0,05$); diferente letra mayúscula dentro de fila indica diferencias significativas ($p < 0,05$).

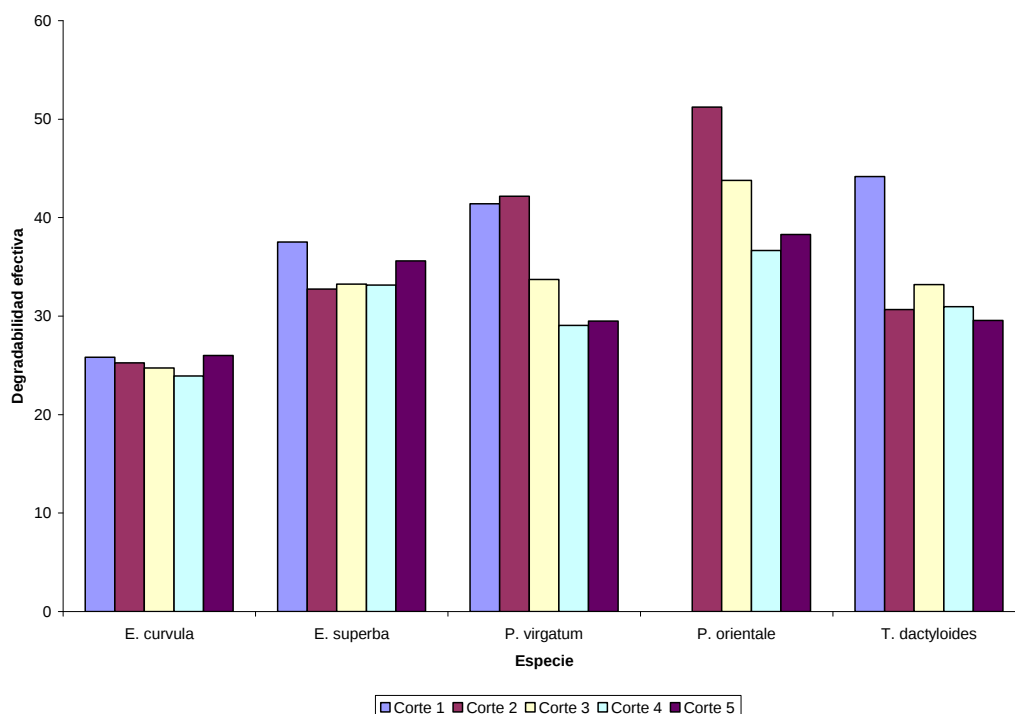
GRÁFICO 7. Degradabilidad efectiva. Comparación entre especies para cada fecha de corte, fracción tallo.



En el mes de julio (5° fecha) se puede observar menores diferencias entre los valores de degradabilidad de las especies en estudio, siendo *Pennisetum orientale* junto con *Eragrostis superba*, las especies que tuvieron los valores más elevados sin diferencias significativas entre sí ($p > 0,05$). Las tres especies restantes mostraron valores menores, sin diferir significativamente entre ellas ($p > 0,05$; Tabla 4; Gráfico 7).

La Tabla 4 y el Gráfico 8 contienen la comparación entre fechas de corte, de la fracción tallo, para cada especie.

GRÁFICO 8. Degradabilidad efectiva. Comparación entre fechas de corte para cada especie, fracción tallo.



Eragrostis curvula mostró valores muy bajos de degradabilidad efectiva desde el comienzo en el mes de noviembre, hasta que finalizó el ensayo en el mes de julio, y no presentó diferencias significativas entre las distintas fechas de corte ($p > 0,05$). Lo mismo ocurrió con el forraje de la fracción tallo de *Eragrostis superba*, aunque con casi 10 puntos de diferencia respecto de EC (Tabla 4; Gráfico 8).

El tallo de *Panicum virgatum* arrojó valores superiores a las dos especies anteriores en las dos primeras fechas de corte, sin presentar diferencias significativas entre ambas ($p > 0,05$). En las tres últimas fechas de corte la degradabilidad disminuyó significativamente ($p < 0,05$) con respecto a las dos primeras (Tabla 4; Gráfico 8), pero no fueron diferentes entre sí.

Los valores de degradabilidad efectiva de la fracción tallo de *Pennisetum orientale* fueron, en promedio, los más elevados, con diferencias significativas (p

< 0,05) en casi todas las comparaciones realizadas. En el primer corte no se pudo obtener material de esta fracción en esta especie, debido a la ausencia de macollos reproductivos; la *DE* del segundo corte fue más alta que la de los cortes de mayo y julio, pero no fue diferente a la del corte de marzo ($p > 0,05$; Tabla 4; Gráfico 8). Los tres últimos cortes no fueron diferentes entre sí ($p > 0,05$; Tabla 4).

Tripsacum dactyloides tuvo valores elevados de *DE* en el primer corte, pero a partir del mes de enero la degradabilidad disminuyó significativamente ($p < 0,05$) y se mantuvo con leves variaciones, no significativas, en los 4 últimos cortes, con valores próximos al 30 % (Tabla 4; Gráfico 8).

El rumen es frecuentemente comparado a una cuba de fermentación. Sin embargo, a pesar de que la temperatura y las condiciones de anaerobiosis son estables, y limitadas las fluctuaciones de pH, ninguna otra comparación con condiciones industriales puede hacerse (Ørskov y Ryle, 1990). Tanto la composición química como la estructura física del alimento ingerido varían amplia y rápidamente. En lugar de uno o dos tipos de microbios que proveen enzimas para la fermentación, como ocurre en una cuba de fermentación industrial, en el rumen habita un número grande de especies de bacterias, protozoarios y hongos, que interactúan entre sí y con el sustrato, generando un ambiente sumamente complejo (Huntington y Givens, 1995).

Este sistema y las interacciones dinámicas que se producen dentro del rumen son difíciles de simular y reproducir. La técnica *in situ* permite estudiar la digestión dentro del rumen mismo, compara las características de degradación de distintos recursos forrajeros, y reduce la necesidad de la simulación ruminal en el laboratorio (Huntington y Givens, 1995; Vanzant *et al.*, 1998).

Varios factores influyen sobre los estudios de degradabilidad *in situ*, pudiendo ser categorizados en factores del animal, del forraje, características de las bolsas incubadas, tiempos de incubación utilizados y otros aspectos procedimentales. Existen, además, interacciones entre ellos (Vanzant *et al.*, 1998), pero una vez fijados todos estos factores, los resultados pueden ser comparados, ya que su estimación es de alta precisión.

La separación del forraje en dos fracciones, degradable e indegradable, permite establecer para ellas, tasas de digestión y de pasaje. Esta distinción es sólo matemática, y no implica la existencia de componentes físicamente separados (Aichison *et al.*, 1986). La tasa de digestión es aquella a la que el alimento o sustrato es transformado en otros compuestos, más simples, que a su vez, son absorbidos o transformados en otros más complejos. La tasa de pasaje representa, en términos porcentuales por unidad de tiempo, el alimento que abandona el rumen sin digestión. Esta tasa, o velocidad, es mayor cuanto más alto sea el valor nutritivo del alimento. Por lo tanto, a medida que avanza el ciclo anual de una especie forrajera, la tasa de pasaje será menor. Mientras que la fracción indegradable sólo puede abandonar el rumen por pasaje, la fracción degradable posee al menos una tasa de digestión y otra de pasaje. Se asume, aunque no existe evidencia contundente al respecto, que ambas fracciones tienen la misma tasa de pasaje (Van Soest, 1994).

La utilización de una sola tasa de digestión para la fracción degradable es, sin embargo, una excesiva simplificación, ya que implicaría la existencia de un componente homogéneo que se degrada a una tasa constante en función del tiempo (Nocek y English, 1986). Es poco probable que exista un alimento con estas características. Con el objetivo de describir con mayor exactitud el proceso digestivo en el rumen, algunos autores han dividido a la fracción degradable en dos: Fracción soluble o rápidamente degradable, y fracción insoluble o lentamente degradable (Robinson *et al.*, 1986). Este punto de vista ha sido validado por microscopía electrónica (Akin *et al.*, 1983), pero otros autores (Chesson *et al.*, 1983) opinan que no es posible clasificar a los componentes de un alimento en una de tres fracciones: dos degradables y una indegradable. Nocek y Grant (1987) han mostrado la existencia de diferentes pools con diferentes tasas de degradación. Dado que la técnica *in situ* no identifica fracciones distintas y sus respectivas tasas, Krishnamoorthy *et al.*, 1983 han visto en ello una evidencia de la falta de sensibilidad de la técnica. Sin embargo, cuando se presentan pools múltiples de material degradable en el rumen, los pools son degradados simultáneamente, y la tasa de liberación del producto será proporcional a las tasas de cada componente y la cantidad presente de cada fracción (Nocek y English,

1986). Una tasa promedio como la obtenida *in situ* ofrece, por lo tanto, información cuantitativa de lo que realmente está ocurriendo en el rumen. La estimación de la solubilidad inicial, o fracción rápidamente degradable, permite una estimación de la provisión inmediata de nutrientes del alimento al medio fermentativo ruminal.

La utilización de tasas de pasaje diferenciales para las fracciones estudiadas y decrecientes a medida que avanzaba el estado fenológico, acercan la evaluación a las condiciones de tránsito imperantes en el rumen (Lindberg, 1985). A medida que aumenta la lignificación del forraje, disminuye la calidad nutritiva y también la velocidad de pasaje de las partículas por el tracto digestivo. Es, por lo tanto, importante destacar que si se hubiera utilizado la misma tasa de pasaje para todos los cortes y especies, las diferencias en la degradabilidad efectiva hubieran sido aún mayores (Ørskov y McDonald, 1979).

En el presente trabajo se han evaluado por separado las fracciones hoja y tallo, permitiendo un análisis más detallado del forraje. Es importante destacar que en especies megatérmicas, las diferencias entre ambas fracciones es grande (Ferri *et al.*, 1998) y genera diferencias en el consumo de una u otra fracción (Stritzler *et al.*, 1986). Es posible combinar ambas fracciones de manera de obtener un valor único por corte para cada especie, ya que se cuenta con la contribución porcentual de cada fracción. Si embargo, esta información es de relativo valor, ya que los animales raramente consumen en proporciones similares a las del alimento ofrecido, y suelen ejercer una preferencia marcada por la fracción de mayor calidad nutritiva, las láminas de las hojas (Stritzler *et al.*, 1986).

Los resultados obtenidos muestran claramente las diferencias existentes entre las distintas especies. En términos generales, tanto la solubilidad inicial como la degradabilidad efectiva de la especie megatérmicas evaluadas fueron superiores a las de *Eragrostis curvula* (Pasto llorón). Esta diferencia se verifica tanto en la fracción morfológica hoja como en tallo, demostrando la posibilidad de utilización de estas alternativas forrajeras en los sistemas productivos regionales, y es coincidente con información previa sobre el valor nutritivo de *Eragrostis*

curvula (Gargano y Adúriz, 1984) y otras gramíneas megatérmicas (Stritzler, 2008).

Dentro de las especies evaluadas en el presente estudio, destacan dos por encima de las restantes: *Pennisetum orientale* y *Eragrostis superba*. Ambas tienen los más altos valores absolutos para la fracción hoja, en prácticamente todos los cortes. Respecto de la fracción tallo, la calidad nutritiva de *P. orientale* es mucho más alta, transformando a esta especie en la más promisoría. Esta información es coincidente con la obtenida previamente por otros autores (Stritzler y Petruzzi, 2005) y confirma el rol que esta especie forrajera podría tener en el futuro cercano.

En un estudio en el que se utilizaron las mismas especies que en este trabajo, (Rabotnikof *et al.*, 2005) estimaron la selectividad animal sobre las especies, cuando se les permitió libre elección a un grupo de novillos. Los resultados mostraron también, en coincidencia con los de este estudio, que *P. orientale* destaca por sobre el resto de las forrajeras megatérmicas, sobre todo en las evaluaciones de verano, siendo la especie más visitada y la que mayor tiempo de pastoreo tuvo. Esta información es también coincidente con la presentada por Stritzler *et al.* (1998), en un trabajo en que se evaluó la digestibilidad *in vitro* y el contenido en proteína bruta de las mismas especies. En este estudio también se concluyó que *P. orientale* destaca por sobre el resto.

Es notable la caída en la solubilidad inicial y también en la degradabilidad efectiva a medida que avanza el estado fenológico de la pastura. En algunos casos esta caída es paulatina, mientras que en otros se produce una disminución marcada, generalmente ubicada en el corte 3, correspondiente al mes de marzo (Gráficos 2, 4, 6 y 8). Esta información es importante para establecer estrategias y secuencias de pastoreo, utilizando antes aquéllas que pierden mayor calidad nutritiva en el invierno y dejando como diferidos a las que la conservan.

CONCLUSIONES

- En términos generales, todas las especies megatérmicas evaluadas en este estudio producen forraje de mayor valor nutritivo que el de *Eragrostis curvula* (Pasto llorón), tanto en verde como así también como forraje diferido.
- La fracción morfológica tallo es de calidad nutritiva muy inferior a la fracción hoja, por lo que es deseable manejar la pastura para obtener mayor proporción de estas últimas.
- *Panicum virgatum* produce forraje de buena calidad nutritiva sólo en los dos primeros cortes. A partir de marzo, el forraje, tanto en la fracción hoja como en la fracción tallo, pierde calidad nutritiva.
- En *Tripsacum dactyloides*, la caída en la degradabilidad efectiva de la fracción hoja es paulatina a lo largo del ciclo. Por el contrario, la fracción tallo presenta buen valor en el primer corte y luego pierde calidad nutritiva.
- La especie más destacada, *Pennisetum orientale*, se presenta como muy promisorio para la Región semiárida central de Argentina, seguida por *Eragrostis superba*.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento al Ing. Maximiliano Orelia, al Agr. Sergio Lardone, al Sr. Juan Rodríguez, a la Ing. Gabriela Mielgo, por su enorme y desinteresada colaboración, y a la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa por haber permitido la realización de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

Aitchison, E., Gill, M., France, J. y Dhanoa, M. 1986. Comparison of methods to describe the kinetics of digestion and passage of fibre in sheep. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **37**: 1065-1072.

Akin, E., Gordon, G.L.R. y Hogan, J.P. 1983. Rumen bacterial and fangal degradation of *Digitaria pentzii* grown with or without sulfur. *Applied and Environmental Microbiology* **46**: 738-748.

Bailey, H.P. 1979. Semi-arid climates: their definition and distribution. P. 73-97. In: A.E.Hall; G.H. Cannell y H.W. Lawton (eds.). Ecological studies 34. Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania.

Cairnie, A.G. 1974. El pasto llorón (*Eragrostis curvula*) en la alimentación de los vacunos. *Símpoio sobre Pasto Llorón en la Provincia de La Pampa*, pp. 15-31.

Casler, M.D., Vogel, K.P., Taliaferro, M. y Wynia, R.L. 2004. Latitudinal adaptation of switchgrass populations. *Crop Science* **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* (Schrud.) Nees). *Revista Argentina de Producción Animal* **10**: 1015-1018.

Chesson, A., Gordon, A.H. y Lomax, J.A. 1983. Substituent groups linked by alkali-labile bonds to arabinose and xylose residues of legume, grass and cereal straw cell walls and their rate during digestion by rumen microorganisms. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **34**: 1330-1340.

Coblentz, W.K. y Walgenbach, R.P. 2010. In-situ disappearance of dry matter and fiber from fall-grown cereal-grain forages from the north-central US. *Journal of Animal Science* **88**: (en prensa).

- 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.
- Edwards, E.J., Osborne, C.P., Strömberg, C.A.E. y Smith, S.A. 2010.** The origins of C₄ grasslands: integrating evolutionary and ecosystem science. *Science* **328**: 587-591.
- Ehleringer, J.R., Cerling, T.E. y Helliker, E.R. 1997.** C₄ photosynthesis, atmospheric CO₂ and climate. *Oecologia* **112**: 285-299.
- Ferri, C.M. 2002.** Implicancias del diferimiento de la utilización de *Panicum coloratum* L. sobre el consumo de ovinos en pastoreo. Tesis doctoral, Unidad Integrada Balcarce, Universidad Nacional de Mar del Plata, 156 p.
- Ferri, C.M., Jouve, V.V., Stritzler, N.P. y Petruzzi, H.J. 1998.** Estimation of intake and apparent digestibility of kleingrass from *in situ* parameters measured in sheep. *Animal Science* **67**: 535-540.
- Gargano, O.A. y Adúriz, M.A. 1984.** Manejo de la defoliación y fertilización nitrogenada en pasto llorón, *Eragrostis curvula* cv. Tanganyika. I. Rendimiento de material seca, digestibilidad *in vitro* y rendimiento de materia seca digestible. *Revista de la Facultad de Agronomía (UBA)* **5**: 7-14.
- Gastó Coderch, J. 1993.** La desertificación: los posibles elementos de lucha. P. 47-77. In: J.I. Cubero y M.T. Moreno (eds.). La agricultura del siglo XXI. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Gliessman, S.R. 1998.** Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, U.S.A.
- Hacker, J.B. y Minson, D.J. 1981.** The digestibility of plant parts *Herbage Abstracts* **51**: 459-482.
- Hultquist, S.J., Vogel, K.P. , Lee, D.J., Arumuganathan, K. y Kaeppler, S. 1997.** DNA content and chloroplast DNA polymorphisms among Switchgrasses from remnant Midwestern prairies. *Crop Science* **37**: 595-598.

- Huntington, J.A. y Givens, D.I. 1995.** The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. *Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)* **65**: 63-93.
- Jung, H.G. y Allen, M.S. 1995.** Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forage by ruminants. *Journal of Animal Science* **73**: 2774-2790.
- Krishnamoorthy, U., Sniffen, C.J., Stern, M.D. y Van Soest, P.J. 1983.** Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and *in vitro* simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. *British Journal of Nutrition* **50**: 555-568.
- Kristensen, E.S., Møller, P.D. y Hvelplund, T. 1982.** Estimation of the effective protein degradability in the rumen of cows using the nylon bag technique combined with the outflow rate. *Acta Agriculturae Scandinavica* **32**: 123-127.
- Lamb, J.B., Adams, D.C., Klopfenstein, T.J., Grant, R.J., Sims, P.L., White, L.M. y Waller, S.S. 2002.** Intake and digestive kinetics of leaf and stem fractions. *Journal of Range Management* **55**: 57-64.
- Lindberg, J.E. 1985.** Estimation of rumen degradability of feed proteins with the *in sacco* technique and various *in vitro* methods. A review. *Acta Agriculturae Scandinavica (Suppl. 25)*: 64-97.
- Marchi, A., Giraud, C.G. y Haidar, V.H. 1973.** *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees cv. Tanganyika. Digestibilidad y consumo. *Revista de Investigaciones Agropecuarias (INTA) Serie I, Biología y Producción Animal* **10**: 309-324.
- Nandra, K.S., Hendry, A. y Dobos, R.C. 1993.** A study of voluntary intake and digestibility of roughages in relation to their degradation characteristics and retention time in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* **43**: 227-237.
- Nocek, J.E. y English, J.E. 1986.** *In situ* degradation kinetics: evaluation of rate determination procedure. *Journal of Dairy Science* **69**: 77-87.

Nocek, J.E. y Grant, A.L. 1987. Characterization of *in situ* nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *Journal of Animal Science* **64**: 552-564.

Nordiske Kontaktorgan for Jordbrugsforskning. 1985. Introduction to the Nordic protein evaluation system for ruminants into practice and further research requirements. *Acta Agriculturae Scandinavica (Suppl. 25)*: 216-220.

Ørskov, E.R. y McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighed according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)* **92**: 499-503.

Ørskov, E.R. y Ryle, M. 1990. Energy nutrition in ruminants. Elsevier Applied Science, Londres y Nueva York, 149 p.

Osborne, C.P. 2008. Atmosphere, ecology and evolution: what drove the Miocene expansion of C₄ grasslands? *Journal of Ecology* **96**: 35-45.

Rabotnikof, C.M., Ferri, C.M.; Stritzler, N.P. y Petrucci, H.J. 2005. Selección animal bajo libre elección entre gramíneas perennes estivales. *Investigación en Producción Animal 2004*. Región subhúmeda y semiárida pampeana. EEA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”, INTA, Boletín de Divulgación Técnica **88**:15-18.

Rabotnikof, C.M., Hernández, O.A., Stritzler, N.P. Gallardo, M., Funes, E. y Villar, C.A. 1986a. Evaluación de especies forrajeras estivales en la Región Pampeana Semiárida. I. Determinación de pared celular, lignina y desaparición de materia seca en bolsitas de *Bothriochloa intermedia*, *Eragrostis curvula*, *Setaria leiantha*, *Panicum antidotale* y *Digitaria eriantha* bajo condiciones de diferimiento. *Revista Argentina de Producción Animal* **6**: 47-56.

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. 1986b. 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. *Revista Argentina de Producción Animal* **6**: 57-66.

Roberts, C. y Kallenbach, R. 1999. Eastern gamagrass. *Outreach & Extension*, University of Missouri, Columbia, USA, 4 p.

Robinson, P.H., Fadel, J.G. y Tamminga, S. 1986. Evaluation of mathematical models to describe neutral detergent residue in terms of its susceptibility to degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* **15**: 249-271.

Sage, R.F. 2004. The evolution of C₄ photosynthesis. *New Phytologist* **161**: 341-370.

Sanderson, M.A., Reed, R.L., McLaughlin, S.B., Wulschleger, 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 Technology* **56**: 83-93.

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

Stritzler, N.P., Hvelplund, T y Wolstrup, J. 1990. Influence of the position in the rumen on dry matter disappearance from nylon bags. *Acta Agriculturae Scandinavica* **40**: 363-366.

Stritzler, N.P., Ferri, C.M. y Jouve, V.V. 1997. Comparación de modelos utilizados para estimar la desaparición de la materia seca *in sacco* y la degradabilidad efectiva. *Revista Argentina de Producción Animal* **17**: 353-364.

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. *Journal of Range Management* **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*. Technidea, pp. 99-116.
- Stritzler, N.P., Petruzzi, H.J., Ferri, C.M. y Jouve, V.V. 1998.** Tasa de crecimiento y valor nutritivo de cinco gramíneas estivales en la Región Pampeana Semiárida. *Revista Argentina de Producción Animal* **18 (Supl.1)**: 83-84.
- Stritzler, N.P., Rabotnikof, C.M., Lorda, H. y Pordomingo, A. 1986.** Evaluación de especies forrajeras estivales en la Región Pampeana Semiárida. III. Digestibilidad y consumo de *Digitaria eriantha* y *Bothriochloa intermedia* bajo condiciones de diferimiento. *Revista Argentina de Producción Animal* **6**: 67-72.
- Van Soest, P.J. 1994.** Nutritional Ecology of the Ruminant. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA, 476p.
- Vanzant, E.S., Cochran, R.C. y Titgemeyer, E.C. 1998.** Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science* **76**: 2717-2729.
- Vera, R.R., Irazoqui, H. y Menvielle, E.E. 1973.** The nutritive value of weeping lovegrass during the spring season. *Journal of the British Grassland Society* **28**: 149-152.
- Wentworth, T.R. 1983.** Distribution of C₄ plants along environmental and compositional gradients in southeastern Arizona. *Vegetatio* **52**: 21-34