

**DILUCIÓN DE LA PROTEÍNA BRUTA CON EL CRECIMIENTO EN *Panicum coloratum* L.
Y *Eragrostis curvula* (SCHRAD.) NEES**

***Growth-related crude protein dilution in *Panicum coloratum* L. and
Eragrostis curvula (Schrad.) Nees***

Prieto-Ponzio¹, N., Barale¹, L., Ferri², C. y Jouve³, V.
Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina

Resumen

Las curvas de dilución de la proteína en plantas forrajeras permiten comparar en simultáneo la materia seca acumulada y su concentración proteica. El objetivo del trabajo fue describir la dinámica de la concentración proteica en función de la acumulación de la materia seca aérea de mijo perenne (*Panicum coloratum* L.) y pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad) Nees). El experimento se hizo en macetas, bajo condiciones de invernáculo, distribuidas en un diseño completo aleatorizado con arreglo factorial de los tratamientos (especies forrajeras y fechas de corte; 2x7) y fertilizadas con urea (100 kg de N ha⁻¹), previo al corte inicial. Cada siete días y hasta el día 49, se cortaron a nivel del suelo tres plantas por especie, que se separaron en las fracciones lámina, tallo y material senescente. En cada planta, se estimaron la materia seca (MS) aérea acumulada, la proporción de lámina viva y porcentaje de proteína bruta (PB; N x 6,25). El porcentaje promedio de PB (14,0 vs 13,1%; p=0,06), la MS aérea acumulada promedio (4,28 vs 2,98 g planta⁻¹; p<0,01) y la dilución de la PB (0,37 vs 0,24; p<0,01) y de la proporción de lámina viva (0,19 vs 0,08; p<0,01) fueron mayores en *P. coloratum* con respecto a *E. curvula*. Los resultados del presente trabajo permitieron conocer la dinámica de la concentración proteica en función de la MS aérea acumulada de mijo perenne y de pasto llorón, a nivel de planta individual.

Palabras clave. gramíneas de crecimiento estival, materia seca aérea acumulada, proporción de lámina viva.

Summary

Protein dilution curves allow the simultaneous evaluation of dry matter accumulation and protein concentration in forage plants. The objective of this study was to describe the protein concentration dynamics as a function of the aerial dry matter accumulation of kleingrass (*Panicum coloratum* L.) and weeping lovegrass (*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees). The experiment was performed in pots under greenhouse conditions and distributed in a complete and random design with a factorial arrangement of treatments (forage species and cutting dates, 2x7) and fertilized with urea (100 kg N ha⁻¹), prior to the initial cut. Every seven days until day 49, three plants randomly selected of each species were cut at ground level. The harvested herbage was separated into stem, live leaf blade and senescent material. On each plant, aerial dry matter (DM) accumulation, live leaf blade proportion and crude protein percentage (CP; N x 6.25) was estimated. Average CP percentage (14.0 vs 13.1%; p<0.06) and aerial DM accumulation (4.28 vs 2.98 g plant⁻¹; p<0.01), CP dilution (0.37 vs 0.24; p<0.01) and live leaf blade mass fraction dilution (0,19 vs 0,08; p<0,01) were higher in *P. coloratum* compared to *E. curvula*. Results of present work allowed to know the dynamic of the crude protein concentration a function of the aerial dry matter accumulation of kleingrass and weeping lovegrass, at the level of individual plant.

Key words. warm-season grasses, aerial dry matter accumulation, live leaf blade proportion.

Recibido: noviembre de 2016
Aceptado: diciembre de 2016

¹ . Ingeniero Agrónomo, Actividad Privada.

² . Profesor Asociado de la Facultad de Agronomía, UNLPam. CC 300 (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina. ferri@agro.unlpam.edu.ar

³ . Jefe de Trabajos Prácticos de la Facultad de Agronomía, UNLPam. CC 300 (6300) Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Introducción

En la región pampeana semiárida central, a partir de mediados del siglo pasado se introdujeron varias gramíneas perennes de crecimiento estival, tanto para la consolidación de suelos erosionables como para incrementar la oferta forrajera y la receptividad animal (Covas 1991), en sistemas de pastoreo complementario (SPC) con el pastizal nativo. En este sentido, la integración del pastizal con pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad) Nees var *curvula*) y mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*), en un SPC, brinda ventajas otorgadas por el alto nivel de acumulación de biomasa aérea de estas especies, en relación con las nativas (Echenique et al, 2008). En el caso particular del pasto llorón, su rebrote temprano en la primavera (Gargano et al, 2006) aporta forraje durante este período crítico de escasa oferta forrajera. Mientras que mijo perenne mantiene un aceptable valor nutricional para ser utilizado como forraje diferido (Ferri et al, 2006). El uso complementario de estas gramíneas perennes permitiría disminuir la dependencia de los suplementos y, por ende, los costos de alimentación e incrementar los índices reproductivos.

La concentración de proteína bruta (PB) es una de las variables de la composición de la materia seca (MS) determinante de la calidad nutricional y, también, del crecimiento de las forrajeras estivales. Su concentración se relaciona negativamente con la MS aérea acumulada, por lo tanto el retraso en el momento de la defoliación de un recurso forrajero determina una disminución en la concentración proteica del forraje (Bélanger et al, 2001). Asimismo, aquellas especies que presenten una rápida tasa de crecimiento, tendrán mayores detrimentos en su concentración de PB, por lo cual ésta debería evaluarse, a los fines comparativos, de manera simultánea con la acumulación de MS aérea. Al respecto, Lemaire y Salette (1984) sugieren que la comparación de la concentración proteica entre recursos forrajeros en un momento dado, carece de sentido biológico si no se considera la MS aérea acumulada en forma simultánea. Para ello, el uso de curvas de dilución de la proteína resulta una metodología de evaluación alternativa y superadora.

La dilución de N o de la PB (N×6,25) fue descrita mediante un análisis de regresión bivariado, considerando la concentración de PB y la acumulación de MS como variables dependiente e independiente, respectivamente. La ecuación de la curva de dilución es la siguiente:

$$y = ax^{-b}$$

Donde y es el porcentaje de PB en la MS aérea de la planta; a es la concentración de PB cuando la MS acumulada equivale a 1 (uno; g planta⁻¹); x es la MS aérea acumulada y b es el coeficiente de dilución de la PB. Este último se define como la disminución en el porcentaje de PB en la planta por cada unidad de MS aérea acumulada (Justes et al, 1994; Lemaire et al, 2008).

La metodología descripta, puede ser utilizada para identificar aquellos recursos forrajeros con menor coe-

ficiente de dilución de la PB o, en otros términos, con menor disminución de PB por unidad de MS aérea acumulada. Además, permite comparar la concentración relativa de PB en la MS de recursos forrajeros bajo condiciones de similar disponibilidad de N edáfico, a partir de la MS aérea acumulada. Dado que, si bien la acumulación de MS es función de las condiciones de crecimiento y la concentración de PB se ve afectada por dilución, la concentración de PB del componente metabólico (contenido celular) es función de la disponibilidad de N edáfico (Bélanger et al, 2001).

El objetivo del presente trabajo fue describir, a nivel de planta individual, la dinámica de la concentración proteica en función de la MS aérea acumulada de mijo perenne y de pasto llorón.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en condiciones de invernáculo, en el Campo de Enseñanza y Producción de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, Argentina, (36°46'lat. sur; 64°16'long. oeste; 210 m.s.n.m.). Se emplearon 21 plantas de mijo perenne cv Verde y 21 de pasto llorón cv Tanganyika desarrolladas durante siete meses, a partir de macollos de individuos recolectados a campo. Crecieron con una densidad equivalente a 25 plantas m⁻², que se mantuvo durante todo el periodo de medición, en macetas de PVC (11 cm de diámetro y 50 cm de altura) rellenas con suelo haplustol éntico (MO=1,8%; p=32,6 ppm; pH=6,4). A este grupo de macetas se adicionó otro grupo que actuó de bordura. Todas las macetas fueron regadas cada tres días a saturación. La temperatura del aire y la humedad relativa diarias fueron registradas cada 30 minutos a la altura de las plantas; sus valores promedio fueron de 26,6±5,5°C y 45±13%, respectivamente.

Las plantas fueron dispuestas en un diseño completo aleatorizado con arreglo factorial de los tratamientos (especies forrajeras y fechas de corte; 2×7) y tres repeticiones. Previo a la defoliación, se fertilizó con urea con una dosis equivalente a 100 kg de N por hectárea. Las plantas se cortaron a 8 cm de altura al inicio del mes de octubre, para comenzar con el periodo de evaluación. Para evitar el efecto debido a variaciones en el ángulo de los macollos y láminas, las hojas fueron estiradas en forma vertical para luego ser cortadas. De esta manera, se igualó la longitud de la vaina más lámina de las hojas cortadas de todos los macollos a la altura de corte. A partir del día siete de rebrote, cada siete días y hasta el día 49, se cortaron a nivel del suelo tres plantas por especie, tomadas al azar. El material cosechado fue separado en láminas, tallos (incluyeron vainas e inflorescencias) y material senescente; fue secado (55° C, 48 h) y pesado para estimar la MS aérea acumulada y la proporción de láminas vivas. Se reagruparon las fracciones y se molieron para determinar PB (N×6,25) mediante el método semi-micro Kjeldahl (Unidad de digestión 2040 y unidad de destilación 1026, Tecator, Höganäs, Suecia).

Análisis estadístico

Todos los análisis fueron realizados con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo et al, 2008). Los efectos de especie y fecha de corte sobre el porcentaje de PB y MS aérea acumulada se analizaron mediante ANOVA y la comparación entre medias con prueba LSD ($\alpha=0,05$). La homogeneidad y normalidad de la variancia fueron probadas mediante las pruebas de Levene (Levene, 1960) y Shapiro Wilks (Shapiro et al, 1968), respectivamente. Se empleó análisis de regresión lineal simple (MS aérea acumulada vs tiempo) y logarítmica natural de tipo doble (ln porcentaje de PB vs ln MS aérea acumulada y ln proporción de lámina viva vs ln MS aérea acumulada). Se probaron los supuestos (*i.e.*, normalidad, homocedasticidad e independencia de los residuos) involucrados en la construcción de los modelos. Las pendientes e interceptos de las regresiones lineales fueron comparados mediante el uso de variables dummy. Los modelos de regresión doble logarítmico fueron transformados a la forma no lineal $y=ax^{-b}$.

Resultados y Discusión

Con el transcurso del tiempo se observó, tanto en mijo perenne como en pasto llorón, una disminución en el porcentaje de PB de la MS aérea (Interacción especie \times corte; $p=0,10$; $CV=11,2\%$) durante el proceso de acumulación de forrajimasa (Interacción especie \times corte; $p=0,21$; $CV=22,7\%$). Los valores promedio de PB (14,0 vs 13,1%; $p=0,06$), de MS aérea acumulada (4,28 vs 2,98 g planta^{-1} ; $p<0,01$) y los parámetros de la curva de dilución de la PB (Figura 1a) fueron mayores en mijo perenne con respecto a pasto llorón. El porcentaje promedio de PB de mijo perenne mostró una tendencia a ser superior a pasto llorón, aún cuando su MS aérea acumulada fue en promedio 1,4 veces significativamente mayor. Además, mijo perenne comparado con pasto llorón presentó una reducción mayor ($p<0,05$) de la proporción de lámina viva (Figura 1b) con el incremento en la MS aérea acumulada y una mayor ($p<0,01$) tasa de acumulación de MS aérea (Figura 2). El menor valor de a en pasto llorón sugiere una mayor eficiencia en el uso del nitrógeno dada por una mayor producción de biomasa por unidad de N en la planta (Lemaire y Gastal, 2009).

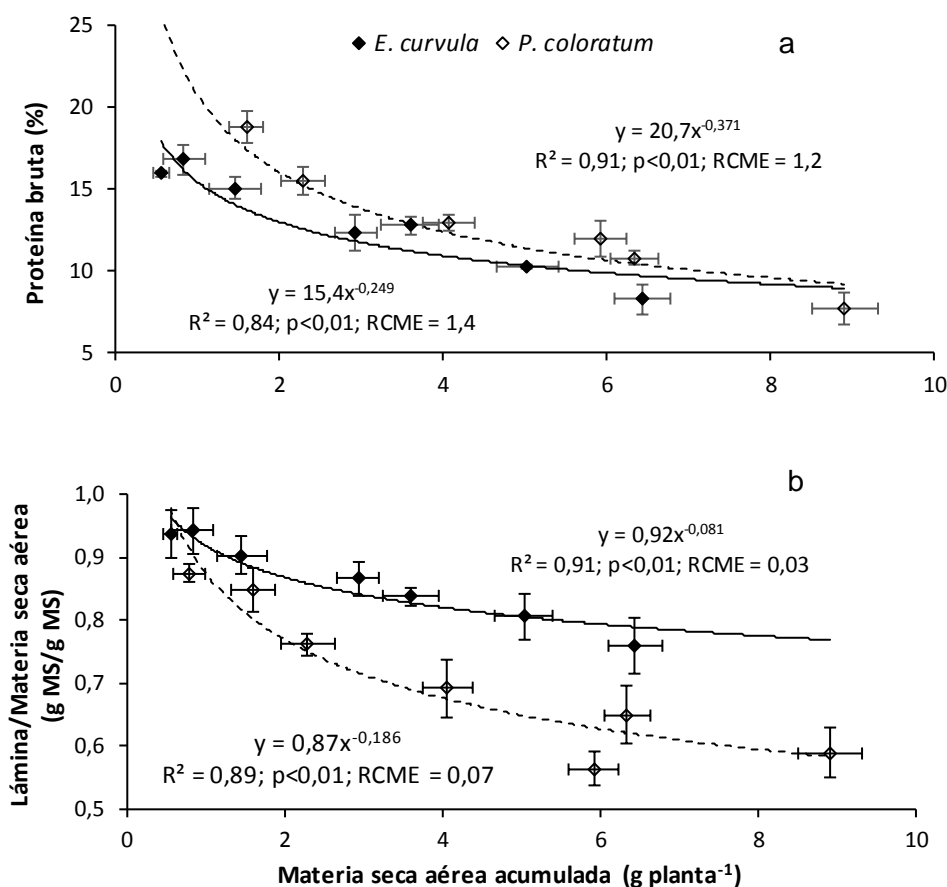


Figura 1. Relaciones entre a) concentración de proteína bruta en la materia seca aérea y b) proporción de lámina viva y la materia seca aérea acumulada, en *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula*. Cada observación representa el promedio de tres repeticiones. RCME: raíz del cuadrado medio del error. Las barras indican ± 1 desvío estándar.

Figure 1. Relationships between a) crude protein concentrations in the aerial dry matter and b) live leaf blade proportion and the aerial dry matter accumulation, in *Panicum coloratum* and *Eragrostis curvula*. Each observation represents the average value of three replicates. RMSE: root mean square error. Bars indicate ± 1 standard deviation.

El proceso de dilución de la PB puede estar determinado por cambios en la proporción de láminas y por la movilización interna del nitrógeno hacia los órganos en crecimiento; dicho proceso acelera su tasa debido a la senescencia de las hojas más viejas y a la interferencia por luz debida al autosombreo (Lemaire et al, 2007). En consecuencia, es probable que la mayor tasa de dilución de la PB en mijo perenne se asocie con la mayor acumulación de MS alcanzada durante el periodo de evaluación. Ello habría anticipado el autosombreo, respecto a pasto llorón, con la correspondiente disminución del N en las hojas sombreadas (Gastal y Lemaire, 2002), además de la menor proporción de láminas vivas observada (Figura 1b) con el avance en el estado del crecimiento, dado que éstas poseen una mayor concentración de proteína bruta (Ferri, 2011).

Pasto llorón se caracterizó por mantener elevadas proporciones de láminas vivas a través de su ciclo de crecimiento, que explicarían en parte la menor tasa de dilución de la PB. A su vez, la fracción lámina del pasto llorón presenta porcentajes mayores de pared celular y lignina comparada con mijo perenne (Stritzler et al, 1996), los dos componentes están asociados con una baja concentración nitrogenada (Lemaire et al, 2008), que explicaría el menor valor de a en pasto llorón.

En síntesis, el presente trabajo muestra, para plantas creciendo en macetas, diferencias entre ambas especies en cuanto a sus curvas de dilución de la PB. Se observó que, a bajos niveles de MS aérea acumulada, el porcentaje de PB de mijo perenne superó al de pasto llorón (Figura 1a), sin embargo, esta diferencia disminuyó dada la mayor dilución de la PB de la prime-

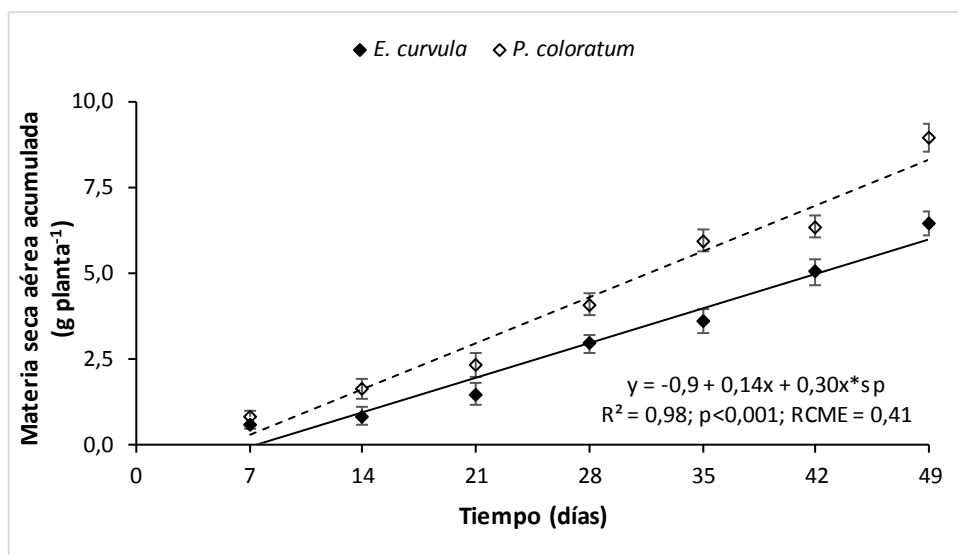


Figura 2. Relación entre la materia seca aérea acumulada y el tiempo de rebrote, en *Panicum coloratum* y *Eragrostis curvula* (sp: *P. coloratum* = 1; sp: *E. curvula* = 0). Cada observación representa el promedio de tres repeticiones. RCME: raíz del cuadrado medio del error. Las barras indican ± 1 desvío estándar.

Figure 2. Relationships between aerial dry matter accumulation and regrowth time, in *Panicum coloratum* and *Eragrostis curvula* (sp: *P. coloratum* = 1; sp: *E. curvula* = 0). Each observation represents the average value of three replicates. RMSE: root mean square error. Bars indicate ± 1 standard deviation.

ra especie con el avance del período de evaluación. Esto, como consecuencia de la mayor acumulación de MS y menor proporción de láminas (Figura 1b) por planta respecto de pasto llorón.

En varios trabajos realizados en parcelas, que emplearon períodos de tiempo fijos entre cortes, se encontró que pasto llorón superó a mijo perenne en su acumulación de MS (Squires y Myers, 1970; Sanderson et al, 1999), en particular durante la primavera (Ruiz et al, 2008). Estos resultados serían consecuencia de la diferencia en el estado ontogénico alcanzado por cada especie al momento del corte, dado el inicio más temprano del crecimiento primaveral del pasto llorón (Sanderson et al, 1999; Gherbin et al, 2007). Estos resultados contrastan con lo obtenido en el presente trabajo desarrollado en condiciones de invernáculo, con tem-

peratura controlada, lo que habría contribuido a favorecer la acumulación de materia seca de mijo perenne. Además, pasto llorón se caracteriza, en comparación con otras especies estivales y en particular con mijo perenne, por presentar macollos más pequeños, pero con la capacidad para producir una gran cantidad de macollos por planta (Mynhardt et al, 1994), lo que contribuiría a una elevada acumulación de MS (Sanderson et al, 1999). En el presente trabajo, esta capacidad de pasto llorón habría sido limitada por el crecimiento en macetas y dado que mijo perenne presenta macollos más pesados, con una mayor proporción de tallos (*i.e.*, menor proporción de lámina; Figura 1b), pudo expresar una mayor acumulación de MS.

Por otra parte, se demostró que la dilución del N con el crecimiento en plantas aisladas es menos mar-

cada que en pasturas densas (Lemaire et al, 2005; 2009). Las plantas que crecen aisladas tienden a optimizar la expansión del área foliar. Mientras que, en pasturas densas, las plantas en competencia por luz responden mediante un incremento en la elongación de los tallos, como mecanismo de escape a la sombra. Esta respuesta implica una inversión mayor en tejido estructural, con la consecuente disminución en la concentración de N, proceso que se incrementa en la medida que el ambiente lumínico cambia con el crecimiento de la propia planta y en respuesta a la presencia de plantas vecinas.

Conclusiones

Las curvas de dilución obtenidas, a nivel de planta individual, presentaron parámetros diferentes entre especies. Dichos parámetros mostraron que mijo perenne presentó un porcentaje mayor de PB, al momento de acumular 1 g de MS por planta y una reducción mayor de dicho porcentaje con el incremento de la MS aérea acumulada, con respecto a pasto llorón. Dichas diferencias podrían deberse a que mijo perenne presentó una disminución mayor en la proporción de láminas vivas, con el avance en el estado del crecimiento. Sin embargo, las láminas de pasto llorón respecto a mijo perenne presentarían porcentajes mayores de tejido estructural y, en consecuencia, un menor porcentaje de PB. Si bien los resultados permitieron conocer la dinámica de la concentración proteica en función de la MS aérea acumulada de mijo perenne y de pasto llorón, a nivel de planta individual, sería relevante cuantificar el comportamiento de las plantas en pasturas densas.

Financiamiento

Este trabajo se realizó con subsidio de la ANPCyT y UNLPam (PICT-O 2011 279).

Bibliografía

- Bélanger, G., Michaud, R., Jefferson, P.G., Tremblay, G.F. and Brégar, A. 2001. Improving the nutritive value of timothy through management and breeding. *Can. J. Plant Sci.* 81:577-585.
- Covas, G. 1991. Introducción del pasto llorón en la República Argentina. *In: Fernández, O.A., Brevedan, R.E. y Gargano A.O. (Eds.). El pasto llorón. Su biología y manejo.* CERZOS, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, pp. 1-6.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Echenique, V., Pessino, S., Díaz, M., Selva, J.P., Luciani, G., Zappacosta, D., Cervigni, G., Meier, M., Garbus, I., Cardone, S., Miranda, R. y Spangenberg, G. 2008. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del pasto llorón (*Eragrostis curvula*). *Rev. Arg. Prod. Anim.* 28:147-164.
- 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. Téc.* 66:376-384.
- Ferri, C.M. 2011. The seasonal and inter-annual patterns of biomass accumulation and percentage of crude protein percentage in kleingrass (*Panicum coloratum* L.) cv Verde, in the semiarid Pampean region of Argentina. *Cienc. Investig. Agrar.* 38:191-198.
- Gargano, O.A., Adúriz, M.A. y Saldungaray, M.C. 2006. Evaluación de gramíneas estivales perennes fertilizadas con nitrógeno. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 26:89-99.
- Gastal, F. and Lemaire, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53:789-799.
- Gherbin, P., De Franchi A.S., Monteleone, M. and Rivelli, A.R. 2007. Adaptability and productivity of some warm-season pastures species in a Mediterranean environment. *Grass Forage Sci.* 62:78-86.
- Justes, E., Mary, B., Meynard, J.M., Machet, J.M. and Thelier-Huche, L. 1994. Determination of critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Ann. Bot.* 4:397-407.
- Lemaire, G., Avice, J.C., Tim, T.H. and Ourry, A. 2005. Development changes in shoot N dynamics of Lucerne (*Medicago sativa* L.) in relation to leaf growth to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. *J. Exp. Bot.* 56:935-943.
- Lemaire, G. and Gastal, F. 2009. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. *In: Sadras, V.O. and Calderini, D.F. (Eds.), Crop Physiology: Applications for Genetic Improvement and Agronomy.* Academic Press, pp. 171-211.
- Lemaire, G., Jeuffroy, M.H. and Gastal, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *Europ. J. Agronomy* 28: 614-624.
- Lemaire, G. and Salette, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4:423-430.
- Lemaire, G., van Oosterom, E., Sheehy, J., Jeuffroy, M.H., Massignam, A. and Rossato, L. 2007. Is crop demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crops Res.* 100:91-106.
- Levene, H. 1960. Robust tests for equality of variances. *In: Olkin, I. (Ed.). Contributions to probability and statistics.* Stanford Univ. Press, CA. pp. 278-292.
- Mynhardt, J.E., van Rooyen, M.W. and Theron, G.K. 1994. Competitive ability of two grass species: *Anthephora pubescens* and *Eragrostis curvula*. 2. Growth analysis. *S. Afr. J. Bot.* 60:262-273.
- Ruiz, M.A., Golberg, A.D. and Martínez, O. 2008. Water stress and forage production in *Tetrachne dregei* Nees, *Panicum coloratum* L. and *Eragrostis curvula*. *Phyton Rev. Inter. Bot. Exp.* 77:7-20.
- Sanderson, M.A., Voigt, P. and Jones, R.M. 1999. Yield and quality of warm-season grasses in central Texas. *J. Range Manage* 52:145-150.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B. and Chen, H.J. 1968. A comparative study of various tests for normality. *J. Am. Statist. Assoc.* 63:1343-1372.
- Squires, V.R. and Myers, L.F. 1970. Performance of warm-season perennial grasses for irrigated pastures at Deniliquin, south-eastern Australia. *Trop. Grassl.* 4:153-161.
- Stritzler, N.P., Pagella, J.H., Jouve, V.V. and Ferri, C.M. 1996. Semi-arid warm-season grass yield and nutritive value in Argentina. *J. Range Manage.* 49:121-125.