

Comparación de dos índices cuantitativos de estimación del estado de desarrollo de la alfalfa

Bernáldez, M.L.; D. Basigalup, J. Martínez Ferrer, M. Balzarini y D. Alomar

RESUMEN

El estado de desarrollo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una variable de estudio común en evaluaciones de cultivares, dada su relación con la composición química y la tasa de crecimiento de la pastura. La determinación de los índices cuantitativos "estado medio por conteo" y "estado medio por peso" (EMC y EMP respectivamente) permite la descripción del estado de desarrollo en pasturas de alfalfa de una manera objetiva y reproducible. Los índices EMC y EMP describen igualmente el estado de desarrollo de la alfalfa cuando la pastura se encuentra próxima al momento de utilización recomendado en la práctica. La ventaja de estimar EMC en relación a EMP, se basa en la rapidez operativa que ofrece la generación de datos para el cálculo del primero.

Palabras clave: alfalfa, estado de desarrollo, índices cuantitativos.

Bernáldez, M.L.; D. Basigalup, J. Martínez Ferrer, M. Balzarini and D. Alomar, 2006. Comparison of two quantitative indexes for the estimation of alfalfa development stages. Agriscientia XXIII (2): 77-82

SUMMARY

The developmental stage of alfalfa (*Medicago sativa* L.) is an usual variable of study when evaluating cultivars because of its relationship with chemical composition and pasture growth rate. Determination of quantitative indexes such as "mean stage by count" and "mean stage by weight" (MSC and MSW respectively) makes it possible to describe the developmental phenological stages of alfalfa pastures in a more objective and reproducible way. Likewise, both the MSC and MSW indexes, describe the developmental stages of alfalfa when the pasture is close to the recommended utilisation time in practice. The advantage of estimating MSC in relation to MSW is based on the higher operative efficiency offered by the former in data generation for its calculation.

Key words: alfalfa, developmental stages, quantitative index.

Fecha de recepción: 22/06/06; fecha de aceptación: 20/11/06

M.L. Bernáldez y D. Aloma. Universidad Austral de Chile - Facultad de Ciencias Agrarias. Campus Isla Teja, CC 22, Valdivia, Chile. D. Basigalup y J. Martínez Ferrer. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Estación Experimental Manfredi. Ruta Nacional N° 9 Km. 636, Manfredi, Córdoba, Argentina. M. Balzarini. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNC. Valparaíso s/N°, Córdoba, Argentina. mbernald@uc.cl

INTRODUCCIÓN

Por su estrecha relación con la calidad nutricional del forraje, el estado de desarrollo (o estado de madurez) es una variable frecuentemente usada en la descripción de las pasturas (Kilcher & Heinrichs, 1974; Kalu & Fick, 1983; Fick & Mueller, 1989; Sanderson *et al.*, 1989; Griffin *et al.*, 1994; Sule *et al.*, 2001). En estudios comparativos de cultivares de alfalfa (*Medicago sativa* L.), la determinación del estado de desarrollo puede explicar diferencias en la expresión de caracteres tales como la composición química o la incidencia de meteorismo (Berg *et al.*, 2000).

En la búsqueda de un método que posibilitara definir cuantitativamente el estado de desarrollo de la alfalfa, Kalu & Fick (1981) idearon un sistema numérico que, en función del desarrollo morfológico individual de los tallos individuales, establece diez estados de madurez (Tabla 1). Además, generaron dos procedimientos de cálculo para estimar el estado medio de desarrollo de la pastura. Uno se basa en el conteo de tallos, razón por la que se identifica como EMC (estado medio por conteo, o MSC por sus siglas en inglés) y se define como el promedio de los estados individuales presentes en una muestra de forraje, ponderado por el número de tallos en cada estado. El otro procedimiento se basa en el peso de los tallos, se identifica como EMP (estado medio por peso, o MSW por sus siglas en inglés) y se define como el promedio de los estados individuales presentes en una muestra de forraje, ponderado por el peso seco de los tallos en cada estado.

Además de su utilidad para la caracterización del grado de desarrollo de una pastura, los estados de madurez se utilizan para predecir la composición química del forraje. En ese contexto, Kalu & Fick (1983) desarrollaron ecuaciones de regresión con base en el índice EMP, con las que se lograban buenas predicciones de los contenidos de proteína bruta (PB), de fibra detergente neutra (FDN) y fibra

detergente ácida (FDA), así como de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). No obstante, lo lento y tedioso de la estimación del valor EMP, comparado con la mayor facilidad de EMC, ha significado un inconveniente para su difusión.

Mueller & Fick (1989) propusieron una ecuación de regresión lineal que permite la conversión de EMC a EMP con muy buenos parámetros de ajuste ($R^2 = 0,982$ y $RMSE = 0,311$). De este modo se pueden comparar los resultados de ensayos que calcularon el EMC con otros que estimaron el EMP. Igualmente, para aquellos casos en los que sólo se calculó el EMC, se hace posible el uso de las ecuaciones de predicción de calidad del forraje en función del EMP (Kalu & Fick, 1983). Lamentablemente, la ecuación de conversión de EMC a EMP es precisa únicamente dentro de un determinado rango de EMC (Mueller & Fick, 1989).

El objetivo de este trabajo fue comparar el desempeño de los dos procedimientos de estimación del estado medio de desarrollo (EMC y EMP) en pasturas de cultivares de alfalfa sin reposo invernal.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estado medio de desarrollo de la pastura se determinó mediante la metodología propuesta por Kalu & Fick (1981), en los cultivares de alfalfa ProINTA Carmina y Bárbara SP INTA, ambos con grupo de reposo invernal corto (GRI 8). El ensayo se realizó en el otoño de 2003 en la EEA Manfredi del INTA, ubicada en la Pcia. de Córdoba (Argentina) a 31° 49' 12" de latitud S y 63° 46' 00" de longitud W. Las parcelas fueron implantadas de acuerdo a un diseño experimental en bloques completos aleatorizados con 2 repeticiones. El suelo Haplustol típico de textura franco limosa se presenta como serie pura en la superficie que comprende la EEA. Las pasturas se manejaron con pastoreo rotativo de novillos y la toma de muestras para las mediciones se

Tabla 1. Estados de madurez de la alfalfa definidos por Kalu & Fick (1981) con base en el desarrollo morfológico de tallos individuales en una muestra de forraje.

Escala Numérica	Denominación	Definición Morfológica
0	Vegetativo temprano	Ausencia de botones florales, flores, vainas y yemas axilares
1	Vegetativo medio	Ausencia de botones, flores y vainas. Presencia de primeras hojas originadas de yemas axilares
2	Vegetativo tardío	Ausencia de botones, flores y vainas. Presencia de ramificaciones axilares
3	Botón temprano	1 a 2 nudos con botones. Ausencia de flores y vainas
4	Botón tardío	≥ 3 nudos con botones. Ausencia de flores y vainas
5	Floración temprana	1 nudo con una flor abierta. Ausencia de vainas
6	Floración tardía	≥ 2 nudos con una flor abierta. Ausencia de vainas
7	Fructificación temprana	1 a 3 nudos con vainas verdes
8	Fructificación tardía	≥ 4 nudos vainas verdes
9	Semillas maduras	Nudos con vainas marrones

realizó en 12 oportunidades (7 en primavera-verano y 5 en otoño) a lo largo de las estaciones de crecimiento 2003/04 y 2004/05.

El muestreo de tallos se llevó a cabo según un diseño al azar sistemático, donde se cortaron con tijera a una altura de 3 cm del suelo (Mueller & Fick, 1989) un promedio de 50 tallos por cada unidad experimental, en el momento en que los animales iniciaban el pastoreo de cada variedad. Se descartaron tallos muertos, sin ápice o cuyo ápice estuviese dañado por alguna razón. Los tallos frescos, inmediatamente luego del corte, fueron clasificados individualmente según la escala de 10 estados de madurez indicada en la Tabla 1. Dado que los cultivares de GRI corto con normalidad presentan estados reproductivos a las alturas señaladas para los grados vegetativos de la escala original desarrollada con cultivares de mayor reposo, se omitió la observación de la altura de los tallos como parámetro para discriminar entre los grados vegetativos 0, 1 y 2. En cada muestra se registró el número de tallos en cada estado y su peso seco (65 °C hasta peso constante en estufa con circulación de aire forzada) y se calcularon los índices EMC y EMP según lo establecido por Kalu & Fick (1981).

La comparación de los valores de EMC y EMP se realizó mediante una prueba de T para observaciones apareadas, y su grado de asociación se estimó de acuerdo al coeficiente de correlación (r) de Pearson. Se describieron estadísticamente los datos de ambos índices para el total de las muestras y se clasificaron por estación de crecimiento (primavera-verano y otoño). Para el estudio de correlaciones los datos fueron estandarizados sustrayendo a cada observación la media del tratamiento y dividiéndolo por la desviación estándar del tratamiento. El análisis se realizó con el software esta-

dístico InfoStat (2002), utilizando un nivel de significación del 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de EMC y EMP obtenidos para todos los datos recopilados en las 12 fechas de evaluación y para los datos agrupados por estación de crecimiento (primavera-verano y otoño). En todos los casos se aprecia que el valor estimado de EMC es estadísticamente menor que el de EMP ($p = 0,0176$ y $p < 0,0001$ para el conjunto total y estaciones de crecimiento, respectivamente). Estas discrepancias pueden asociarse directamente al procedimiento de cálculo inherente a cada índice de estado medio de la pastura. En efecto, mientras que para calcular el valor de EMC todos los estados de madurez encontrados –aún aquellos pertenecientes a tallos jóvenes y numéricamente inferiores– tienen igual magnitud de ponderación, en el cálculo de EMP estos mismos tallos jóvenes y escasos no representan sino una proporción baja del peso seco de la muestra, por lo que impactan sensiblemente menos en la definición del valor final ponderado.

Se observa también que los valores de EMC y EMP estimados en el otoño son menores a los obtenidos en la primavera-verano ($p < 0,0001$). De igual forma, y para ambos índices, se aprecian rangos más estrechos para la época otoñal en relación a los obtenidos durante la primavera-verano. Dentro de cada fecha de evaluación las muestras se tomaron a iguales días de descanso de la pastura, o lo que es lo mismo, a igual edad de rebrote. El promedio total de descanso para las 12 fechas de muestreo fue de 29 días, mientras que los descansos para primavera-verano y otoño fueron de 26 y 36 días res-

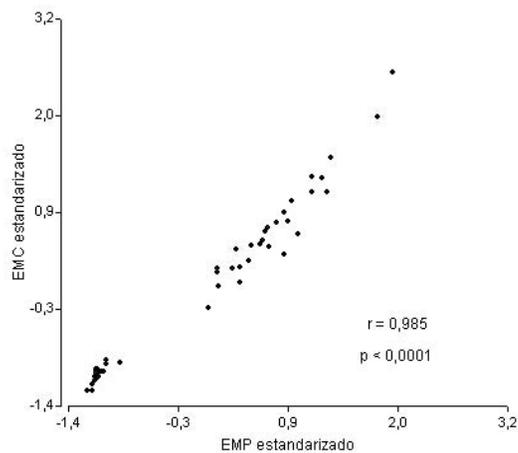


Figura 1. Correlación entre el índice EMC y EMP de alfalfa en diferentes fechas.

r = coeficiente de correlación de Pearson; p = probabilidad asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula entre las variables aleatorias

pectivamente. Si bien los días de descanso permiten una cierta inferencia acerca del estado de desarrollo de la pastura, la influencia de los factores meteorológicos sobre las tasas de crecimiento y madurez, y la variabilidad de reposo invernal y velocidad de rebrote entre cultivares, hacen que esa relación sea inespecífica y deba tomarse con cautela (Van Soest *et al.*, 1978; Sanderson & Wedin, 1988). No obstante, si se acepta que en la región pampeana se requiere un promedio de aproximadamente 35 días en primavera-verano y 50 días en otoño para alcanzar el momento óptimo de utilización, se concluye que en este trabajo los muestreos se realizaron por lo general en estados tempranos de madurez de las pasturas.

Desde un punto de vista práctico, el estado fenológico en que se cosecha la alfalfa está determinado por la necesidad de compatibilizar una alta producción de forraje con un buen valor nutritivo, lo que en definitiva se traduce como una óptima producción de nutrientes por unidad de superficie. Mientras que el mayor valor nutritivo y el mayor consumo potencial ocurren normalmente en prefloración, la mayor producción de nutrientes se logra en floración temprana (Sheaffer *et al.*, 2000). En consecuencia, tanto en condiciones de pastoreo como de corte, el criterio más generalizado para determinar el momento oportuno de inicio de utilización de la alfalfa se basa en el inicio (10%) de la floración, o cuando los rebrotes desde la corona –en aquellos períodos en que el termo y el fotoperíodo impiden la floración– alcanzan una altura aproximada de 5 cm. En esos dos momentos se conjugan convenientemente una alta producción de materia seca y una adecuada composición química del forraje, sin afectar la persistencia del cultivo (Muslera Pardo y Ratera García, 1991; Romero *et al.*, 1995).

En alfalfa, la transformación del ápice vegetativo en ápice reproductivo marca el comienzo de la fase reproductiva. Esta diferenciación apical está condicionada tanto por factores endógenos, como el nivel de reservas orgánicas (Muslera Pardo y Ratera García, 1991), como por factores exógenos como el fotoperíodo, la amplitud térmica y la intensidad de luz (Bula & Massengale, 1972). Para florecer, la alfalfa requiere la ocurrencia de días largos y de una cierta amplitud térmica entre el día y la noche. Las altas temperaturas pueden acelerar la floración, mientras que una alta intensidad de luz aumenta la tasa de crecimiento y, en consecuencia, la productividad de la pastura al lograrse un mayor número de cortes o pastoreos por año (Buxton & Fales, 1994). Durante el otoño, y dependiendo del grado de reposo invernal, los días cortos y de bajas temperaturas pueden hacer que la alfalfa entre en

Tabla 2. Valores promedio de EMC (estado medio por conteo) y EMP (estado medio por peso) estimados para el conjunto total de datos de 12 fechas de evaluación y para las dos estaciones de crecimiento que se definieron en el ensayo.

Estadísticos	Total		Primavera –verano		Otoño	
	EMC	EMP	EMC	EMP	EMC	EMP
Promedio (¹)	2,69 _a	3,20 _b	3,34	4,13	1,77	1,92
Valor p	$p < 0,05$		$p < 0,0001$		$p < 0,0001$	
Máximo	4,97	5,57	4,97	5,57	1,99	2,18
Mínimo	1,59	1,78	2,48	3,29	1,59	1,78
Coefficiente Variación (%)	33,07	37,00	16,50	14,00	5,92	4,51
Número de observaciones	48	48	28	28	20	20

(¹) Estados de madurez de 0 (vegetativo temprano) a 9 (semillas maduras).

reposo (tasa de crecimiento = 0) o permanezca activa pero con una baja tasa de crecimiento (Muller Pardo y Ratera García, 1991).

Durante la primavera-verano, período que abarca la mayor parte del ciclo de utilización de la alfalfa, las condiciones en el campo varían entre el extremo que favorece el crecimiento vegetativo y aquel que promueve la floración y la producción de semilla; en consecuencia, la pastura no se torna completamente vegetativa ni absolutamente reproductiva, sino que trata de balancear ambas fases del desarrollo (Bula & Massengale, 1972). Por el contrario, en el otoño no se produce la transformación del ápice vegetativo en reproductivo, y la presencia de tallos vegetativos condiciona los menores valores de estado medio de desarrollo de esta estación respecto de los obtenidos en primavera-verano (Kalu & Fick, 1981). Un comportamiento similar para cultivares de igual o diferente GRI ha sido observado en el área central de Córdoba por C. Guzmán y M. del C. Spada (2004, comunicación personal).

A pesar de las diferencias observadas entre los índices EMC y EMP para el total de los datos (Tabla 2), la prueba de T para observaciones apareadas indica que el promedio de las diferencias entre EMC y EMP es igual a cero ($p > 0,05$); por lo tanto, desde un punto de vista práctico las conclusiones derivadas del uso de estos índices cuantitativos no difieren cuando son determinados en una misma muestra. El análisis de correlación lineal entre EMC y EMP señala que estas dos variables están alta y positivamente asociadas ($r = 0,985$; $p < 0,0001$), e

indica que el cambio en una de ellas se corresponde con un cambio de semejante magnitud y dirección en la otra (Figura 1).

Si se analizan por separado las dos estaciones en las que se registraron los datos se encuentran los mismos resultados que para el conjunto de datos totales; las diferencias entre los índices EMC y EMP tanto para primavera/verano como para otoño no son estadísticamente significativas ($p > 0,05$). La correlación entre éstos índices fue significativa para ambos conjuntos de datos ($p < 0,0001$), con un coeficiente de correlación de 0,979 para primavera-verano y de 0,726 para otoño (Figura 2).

Estos resultados son consistentes con antecedentes que indican que EMP puede ser predicho a partir de EMC, con un elevado coeficiente de regresión ($r^2 = 0,982$) y un pequeño error cuadrático medio de predicción (RMSE = 0,311), cuando los valores de la variable regresora (índice EMC) se encuentran entre 2 y 5; y con un similar error cuadrático medio de predicción (RMSE = 0,309) pero menor r^2 (0,940) cuando se amplía el rango de la variable regresora de 1 a 6 (Mueller y Fick, 1989).

CONCLUSIONES

Se concluye que los índices EMC y EMP describen igualmente el estado de desarrollo de la alfalfa para cultivares de reposo invernal extremadamente corto, cuando se evalúan en estados de madurez tempranos de la pastura, inicios de floración o previo a la aparición de rebrotes de corona. De tal forma el índice EMC puede ser preferible

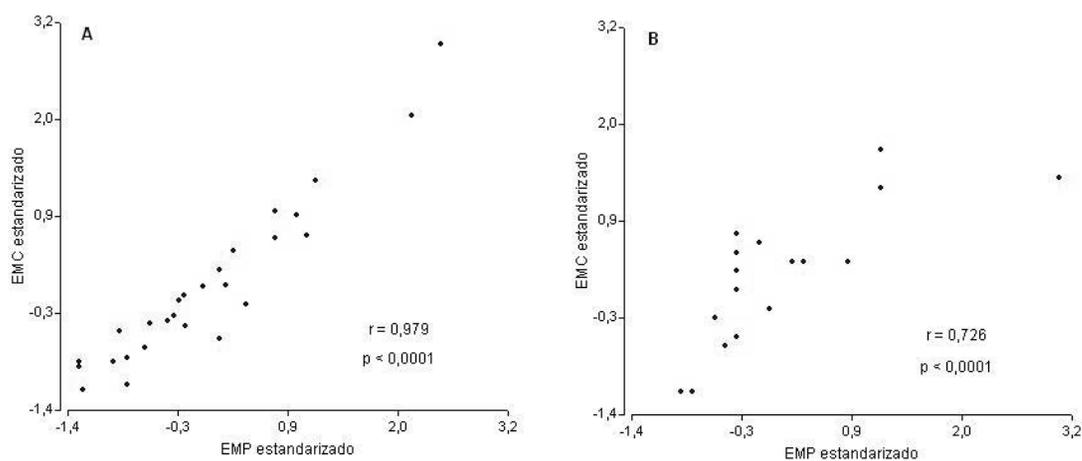


Figura 2. Correlación entre los índices EMC y EMP de la alfalfa estimados en A: primavera/verano y B: otoño. r = coeficiente de correlación de Pearson; p = probabilidad asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula entre ambos índices.

cuando se desea comparar la tasa de maduración entre cultivares, por su mayor simplicidad y por el menor tiempo operativo destinado a su estimación. En otoño, con pasturas utilizadas cuando presentan un rebrote de corona de 5 cm, éstos índices podrían dar valores menos correlacionados; sin embargo, ambos permiten una correcta interpretación del estado de desarrollo de la pastura.

BIBLIOGRAFÍA

- Berg, B.P.; W. Majak, T.A. McAllister, J.W. Hall, D. McCartney, B.E. Coulman, B.P. Goplen, B.P. Acharya, R.M. Tait and K.J. Cheng, 2000. Bloat in cattle grazing alfalfa cultivars selected for a low initial rate of digestion: A review. *Can. J. Plant Sci.* 80:493-502.
- Bula R.J and M.A. Massengale, 1972. Environmental Physiology. In: *Alfalfa Science and Technology*. Agronomy Nº15. (ed. C.H. Hanson) ed. American Society of Agronomy, INC., Madison, Wisconsin, USA. pp. 167-183.
- Buxton, D.R. and S.L. Fales, 1994. Plant environment and quality. In: *Forage quality, evaluation, and utilization*. (ed. G.C. Fahey, Jr.) ed. American Society of Agronomy, Inc.; Crop Science Society of America, Inc.; Soil Science Society of America, Inc.; Madison, Wisconsin, USA. pp. 155-199.
- Fick, G.W. and S.C. Mueller, 1989. Alfalfa: Quality, maturity, and mean stage of development. In: *Information Bulletin 21*. Cornell University. Cornell Cooperative Extension. 14 pp.
- Griffin, T.S.; K.A. Cassida, O.B. Hesterman and S.R. Rust, 1994. Alfalfa maturity and cultivar effects on chemical and in situ estimates of protein degradability. *Crop Sci.* 34:1654-1661.
- InfoStat, 2002. InfoStat/Profesional, versión 1.1. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 216 pp.
- Kalu, B.A. and G.W. Fick, 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for herbage quality. *Crop Sci.* 21:267-271.
- Kalu, B.A. and G.W. Fick, 1983. Morphological stage of development as predictor of alfalfa herbage quality. *Crop Sci.* 23:1167-1172.
- Kilcher, M.R. and D.H. Heinrichs, 1974. Contribution of stems and leaves to the yield and nutrient level of irrigated alfalfa at different stages of development. *Can. J. Plant Sci.* 54:739-742.
- Mueller, S.C. and G.W. Fick, 1989. Converting alfalfa development measurements from mean stage by count mean stage by weight. *Crop Sci.* 29:821-823.
- Muslera Pardo, E. y C. Ratera García, 1991. La alfalfa. In: *Praderas y Forrajes. Producción y Aprovechamiento*. (eds. E. Muslera Pardo and C. Ratera García). ed. Ediciones Mundi-Prensa. pp. 217-282.
- Romero N.A.; E.A. Comerón y E. Ustarroz, 1995. Crecimiento y utilización de la alfalfa, in *La alfalfa en la Argentina*. (eds. E.H. Hijano and A. Navarro) ed. Editar. pp. 149-172.
- Sanderson, M.A.; J.S. Hornstein and W.F. Wedin, 1989. Alfalfa morphological stage and its relation to in situ digestibility of detergent fiber fractions of stems. *Crop Sci.* 29:1315-1319.
- Sanderson, M.A. and W.F. Wedin, 1988. Cell wall composition of alfalfa stems at similar morphological stages and chronological age during spring growth and summer regrowth. *Crop Sci.* 28:342-347.
- Sheaffer, C.C.; N.P. Martin, J.F.S. Lamb, G.R. Cuomo, J.G. Jewett and S.R. Quering, 2000. Leaf and stem properties of alfalfa entries. *Agron. J.* 92:733-739.
- Sule, R.M.; K.A. Albrecht and V.N. Owens, 2001. A simple method for estimating alfalfa fiber content in the field. In: *XIX International Grassland Congress*. Brazilian Society of Animal Husbandry, Sociedade Brasileira de Zootecnia, São Paulo, Brazil. CD.
- Van Soest, P.J.; D.R. Mertens and B. Deinum, 1978. Pre-harvest factors influencing quality of conserved forage. *J. Anim. Sci.* 47:712-720.