

Calibración y evaluación de dos métodos no destructivos de estimación de la producción en praderas polífitas con *Lolium* sp.

Calibration of two non-destructive methods to estimate herbage mass in *Lolium* sp. grasslands

J.L. SÁEZ ISTILART¹ / I. VERGARA HERNANDEZ¹ / R. M. CANALS TRESSERRAS²

¹Instituto Navarro De Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias S.A. Avda. Serapio Huici, 22 Edif. Peritos. 31610 Villava. Navarra. jsaez@intiasa.com

²Departamento de Producción Agraria. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadía. 31006 Pamplona. Navarra. mcanals@unavarra.es

Resumen: En esta comunicación se expone el trabajo realizado para calibrar y evaluar dos métodos de estimación indirecta de la materia seca presente en praderas polífitas de *Lolium* sp. La comparativa metodológica se realizó entre un herbómetro por capacitancia y un medidor de altura de la cubierta vegetal por señal láser. Los mejores modelos de predicción se obtuvieron con el herbómetro de capacitancia, con R^2 que oscilaron entre 0,579 y 0,798, dependiendo de las variables ambientales incluidas en el modelo, del número de muestras, y del criterio de inclusión de variables en el modelo. La altura de la vegetación medida con la señal láser no intervino como variable independiente en ninguno de los mejores modelos de predicción obtenidos.

Palabras clave: producción de pasto, capacitancia, láser, modelos de regresión, pastoreo.

Abstract: The objective of this study was to calibrate and evaluate two indirect methods of estimation of dry matter in *Lolium* sp temperate grasslands. We used an electronic capacitance meter and a laser to measure the height of the canopy, and related the values obtained to the biomass production determined by a destructive method. The best models were those including data on electronic capacitance, ranging the coefficients of determination between 0,579 and 0,798. The accuracy of the model depended on the inclusion criteria of variables in the regression models, the environmental variables included, and the number of samplings. The measurements of canopy height by laser did not give rise to better fittings.

Key words: grassland biomass, capacitance, laser, regression models grazing.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de estimación de biomasa forrajera mediante métodos sencillos, poco costosos y precisos es un tema clásico en la literatura sobre el manejo de pastos (Danelon *et al.*, 2001). Los métodos indirectos o no destructivos estiman la materia vegetal presente por medidas indirectas. Lo más frecuente es encontrar trabajos que comparan o evalúan de forma conjunta unos métodos con otros e incluso combinan varios para crear métodos conjuntos (Murphy *et al.*, 1995; Danelon *et al.*, 2001; Sanderson *et al.*, 2001; Albizu *et al.*, 2002; Paciullo, 2004; Rennie *et al.*, 2009).

El objetivo de esta experiencia ha sido la calibración y la evaluación de la eficacia de dos métodos indirectos, de sencillo empleo, para estimar la materia seca presente en condiciones de pastoreo controlado en praderas de influencia atlántica, para las mezclas de especies pratenses más frecuentes en la zona, fundamentalmente a partir de *Lolium* sp.

Uno de los métodos se ha basado en la estimación a partir de la medición de la variación de la capacitancia de acuerdo a la cantidad de material vegetal circundante. El segundo método ha empleado como medida indirecta la altura de la materia vegetal obtenida por medio de una señal láser, siendo una variante de otros métodos más clásicos basados en la medición de la altura con algún tipo de regla.

MATERIAL Y MÉTODOS

La toma de datos se realizó en praderas de la Finca Experimental de INTIA S.A. en Roncesvalles, Navarra (España). Se tomaron 24 muestras sobre parcelas de raigrás italiano y trébol violeta y 43 en parcelas de raigrás híbrido, raigrás inglés y trébol blanco. Para determinar las superficies de control se utilizó un aro circular de plástico rígido de 0,51 m de diámetro. Para medir la altura del cultivo se empleó un telémetro láser adosado a un fuste y un nivel, de manera que la señal láser rebotaba perpendicular al cultivo y exactamente desde un metro de altura. La altura del pasto en cada punto se calculaba restando a un metro la señal dada por el medidor. Para medir la capacitancia se empleó el herbómetro comercial "GRASS MASTER" de la marca Speedrite. True Test[®].

La toma de muestras se desarrolló durante los meses de junio a octubre de 2010, en condiciones de ambiente seco (51 % de humedad relativa media), velocidad del viento baja (20,3 km/h de media) y sin humedad externa sobre el cultivo. El aro de control se posicionaba sobre el suelo en puntos concretos sobre áreas en las que la masa vegetal estuviera bien representada por las especies que componían cada cultivo. En su interior se medía la altura mediante el láser y seguidamente se medía la capacitancia. Tras la toma de estos datos se cortaba y recogía toda la materia vegetal fresca y se volvía a medir la altura y la capacitancia dentro del círculo de control. Finalmente la materia vegetal de cada muestra se trasladaba al laboratorio de la empresa NASERTIC S.A., se pesaba con una báscula de precisión y se desecaba en estufa a 60 ° C durante 48 horas para determinación de la materia seca.

Además, para cada muestra, se recogió el dato relativo a cada una de las siguientes variables: persona que realiza el muestreo, fecha y hora de muestreo, fecha de secado en estufa, tipo de cultivo, condiciones de humedad externa del cultivo, presencia estimada de malas hierbas, estado fisiológico del cultivo, humedad relativa ambiental y velocidad del viento. Los datos climatológicos se han recogido en la estación meteorológica automática de Gobierno de Navarra en Roncesvalles.

Para el tratamiento estadístico de los datos se utilizó el paquete estadístico PASW Statistics 18, SPSS 18, SPSS Inc. (2009). Primeramente se emplearon los modelos factoriales de análisis de varianza y covarianza, que permiten detectar el efecto individual y conjunto de las variables independientes sobre la materia seca presente (modelo lineal general univariante). De este modo se procedió a determinar qué variable, o conjunto de variables y sus interacciones, tenían un efecto significativo sobre la materia seca

cortada por unidad de superficie. Se consideró un nivel crítico de 0,05. Posteriormente, para cada combinación de variables con efecto significativo se realizaron análisis de regresión lineal y se probó la bondad de su ajuste.

También se afrontó la obtención de modelos de predicción desde otra perspectiva, considerando la inclusión en el análisis de aquellas variables que permitían un mejor ajuste, independientemente de la existencia o no de efecto significativo sobre la variable dependiente. En estos casos se empleó el método de regresión por pasos denominado de pasos sucesivos.

Para elegir los mejores modelos de predicción, por una u otra vía, no sólo se tuvieron en cuenta los parámetros de bondad de ajuste del modelo (R^2 , R^2 corregida, Error Típico) sino también la eficiencia en la obtención de las variables independientes y la simplicidad de cada modelo.

RESULTADOS

En prácticamente todas las muestras el cultivo se encontraba en estado vegetativo. El promedio de la altura, medida mediante la señal láser, fue de 10,68 cm y entre 1,1 y 3,8 cm tras el corte. Las mediciones de los controles promediaron 1361,1 kg M.S./ha. Para las variables ambientales obtenidas a partir de la estación meteorológica automática en la propia finca se contó sólo con 48 registros con datos climáticos por una avería en las instalaciones.

Modelos de predicción a partir de variables con efecto significativo sobre la materia seca

En los principales análisis de varianza y covarianza no se detectó un efecto significativo del tipo de pradera, por lo que los datos obtenidos con las distintas mezclas pratenses fueron tratados en su conjunto. En la tabla 1 se detallan los tres modelos más destacados que se obtuvieron mediante el herbómetro de capacitancia con este criterio de inclusión de variables. Respecto a los modelos B y C, durante el desarrollo de los análisis estadísticos, se detectó que la humedad relativa (HR) por sí misma no tenía efecto sobre la materia seca pero sí sobre la lectura de la capacitancia antes de cortar el cultivo (CMRA). Detectado este efecto significativo, se elaboró un modelo de regresión con una R^2 de 0,179 relacionando CMRA y HR y se generó una nueva variable, la CMRA calculada (CMRACAL), $CMRACAL = 2952,757 + (HR \times 46,028)$. A partir de esta nueva variable se determinó el residuo de la CMRA, $RESCMRA = CMRA - CMRACAL$, que se utilizó como variable estimativa de la parte de la lectura del herbómetro no explicada por la humedad relativa. Esta nueva variable generada permitió elaborar dos de los dos mejores modelos de regresión alcanzados.

Tabla 1. Descriptiva de los modelos obtenidos a partir de variables con efecto significativo sobre la variable dependiente principal.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² corregida	Número de muestras	Error típico de estimación
A	MS/ha = -288,840 + CMR A x 0,315	0,579	0,573	67	317,1
B	MS/ha = 337,453 + (RESCMRA x 0,274) + (HR x 19,546)	0,657	0,638	38	313,3
C	MS/ha = -1148,791 + (RESCMRA x 0,303) + (HR x 20,962) + (HUMCULT x 62,128)	0,720	0,696	38	287,2

MS/ha: Materia seca en kg por hectárea; CMRA: Lectura de capacitancia con el cultivo en pie; HR: % de Humedad relativa ambiental; CMRACAL= 2952,757 + (HR x 46,028); RESCMRA= CMRA - CMRACAL; HUMCULT: % agua del cultivo.

Modelos de predicción a partir de variables elegidas mediante el método de pasos sucesivos

Destacaron dos modelos, uno para el cultivo de raigrás inglés, raigrás híbrido y trébol blanco (modelo D) y otro para el cultivo de raigrás italiano y trébol violeta (modelo E). En ambos modelos intervino también la variable RESCMRA, junto con la velocidad del viento y la humedad relativa (tabla 2).

Tabla 2. Descriptiva de los modelos obtenidos por el método de la regresión por pasos sucesivos.

Modelo	Ecuación	R ²	R ² corregida	Número de muestras	Error típico de estimación
D	MS/ha = -1230,334 + (RESCMRA x 0,290) + (HR x 37,856) + VELVIEN x 31,932	0,798	0,743	38	214,8
E	MS/ha = 3435,033 + (RESCMRA X 0,203) - (7,706 x HR) - (74,937 x VELVIEN)	0,764	0,727	38	267,6

MS/ha: Materia seca en kg por hectárea; CMRA: Lectura de capacitancia con el cultivo en pie; HR: Humedad relativa ambiental; CMRACAL= 2952,757 + (HR x 46,028); RESCMRA= CMRA - CMRACAL; HUMCULT: % agua del cultivo; VELVIEN: Velocidad del viento a 2 metros de altura en km/h

Comparación de métodos indirectos de estimación de la materia seca vegetal presente

La medición de altura por láser no intervino en ninguno de los mejores modelos obtenidos, ni como variable única ni en combinación con la medida por capacitancia. La altura láser presentó un efecto significativo respecto a la materia seca presente pero, en el modelo con la altura láser como única variable independiente sólo se consiguió una R² de 0,280. Los modelos elaborados a partir de la CMRA muestran mucho mejores ajustes.

DISCUSIÓN

Con un herbómetro por capacitancia y lecturas simples de CMR, Schellberg *et al.* (2004) en praderas de composición botánica no descrita, obtuvo una R² de 0,465 con

una población de 44 muestras y una R² de 0,769 con una población de 288 muestras. Realizando lecturas antes y después del corte con una población de 72 muestras obtuvo una R² superior (0,869). Los resultados obtenidos por Serrano *et al.* (2008), con el mismo tipo de herbómetro, mostraron R² entre 0,67 y 0,87 en cultivos de praderas mixtas con mezclas de *Trifolium sp.*, *Lolium sp.* y *Ornithopus sativus*, 0,89 para praderas de raigrás italiano y lluejo (*Lolium rigidum*), y entre 0,27 y 0,59 en praderas de *Trifolium subterraneum* con poblaciones de muy pocas muestras (entre 6 y 12). López-Guerrero (2011), en praderas de festuca alta (*Festuca arundinacea*), obtuvo coeficientes de determinación de 0,54 y 0,70 en dos años consecutivos, con 120 muestras. Los modelos de López-Guerrero (2011) únicamente utilizaban la variable CMR, pero su tamaño muestral era considerablemente superior al de este trabajo.

Si comparamos el método de la capacitancia con otros métodos no destructivos, O'Donovan *et al.* (2002), obtuvieron en un pradera de *Lolium perenne*, *Poa pratensis* y *Agrostis stolonifera*, una R² de 0,76 para el método de capacitancia, una R² de 0,87 para el método de la regla graduada y un valor de 0,88 para el método del medidor de placa. Albizu *et al.* (2002), obtuvieron diferentes resultados según el tipo de pradera y la localización, con coeficientes de determinación que oscilaron entre 0,739 y 0,763 para el método de la altura mediante regla graduada y entre 0,821 y 0,828 con el medidor de placa. O'Riordan (2000), en praderas de raigrás, alcanzó una R² de 0,865 con una población de 939 muestras mediante la medición de la altura, aunque los resultados oscilaron entre años. Kunnemeyer *et al.* (2001), en praderas de raigrás, determinaron una R² de 0,7 con una población de 73 muestras utilizando un reflectómetro.

Los mejores modelos conseguidos en el presente trabajo, respecto al tamaño muestral, alcanzan coeficientes de determinación no discordantes a los recogidos en la bibliografía. Se desprende que, debido a la gran variabilidad existente en los condicionantes iniciales de los estudios y en la forma de realizar los muestreos, la comparación metodológica es dificultosa y los resultados que arrojan los distintos métodos son diversos. No obstante en los trabajos comparativos de métodos de medición no destructiva no se han encontrado diferencias tan grandes entre métodos de medición de altura y capacitancia como los encontrados en este trabajo.

CONCLUSIONES

La búsqueda de modelos de regresión para estimar la materia seca presente ha concluido con la selección de cinco modelos relacionados con la capacitancia. Salvo en el primer modelo, en todos ellos intervienen variables ambientales que precisarían de una estación meteorológica cercana que recogiera datos de forma instantánea y continuada. A pesar de que el herbómetro por capacitancia está dotado de sistemas de control para no realizar medidas en condiciones ambientales no adecuadas, se ha observado que la humedad relativa participa en muchos de los modelos de predicción por capacitancia.

La inclusión de las variables destructivas altura tras el corte y capacitancia tras el corte, no aparecen en los modelos mejor ajustados. En la ampliación de futuras poblaciones muestrales se prescindirá de estas mediciones post-corte. La medición de la altura del cultivo por medio de láser tampoco conduce a los mejores modelos, ni siquiera en combinación con medidas de capacitancia, a pesar de relacionarse significativamente con la materia seca presente.

Es difícil hacer una comparativa de los resultados obtenidos con el herbómetro de capacitancia respecto a los resultados encontrados por otros autores. Los ensayos y la toma de datos son bastante diferentes en su concepción.

AGRADECIMIENTOS

A Don Francisco Javier Mendizabal Múgica (Doctor Ingeniero Agrónomo), por escuchar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBIZU I., BESGA G., GARBISU C., MENDARTE S., AMEZAGA I., MIJANGOS I. Y ONAIN-DIA M. (2002) Comparación de la altura y unidades del medidor de placa como estimadores de la biomasa en los pastos de montaña del área de Gorbeia (Bizkaia). *Pastos*, **32** (2), 161-190.
- DANELON J.L., DAPUENTE C.G., JAURENA G., CANTET R., SAUCEDE M. C. (2001) Efficiency of capacitance an height of canopy (height with disk) for herbage mass estimation. *Revista de agronomía de la facultad de agronomía (Universidad de Buenos Aires)*, **21**(3), 213-219.
- KUNNEMEYER R., SCHAARE, P.N. Y HANNA, M.M. (2001) A simple reflectometer for on-farm pasture assessment. *Electronics in Agriculture*, **31**(2), 125-36.
- LOPEZ-GUERRERO I., FONTENO J.P. Y GARCIA-PENICHE T. B. (2011) Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista Mexicana ciencia pecuaria*, **2**(2), 209-220
- MURPHY, W. M., SILMAN, J.P. Y BARRETO, A. D. M. (1995) A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward strick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadowgrass-dominant white clover sward. *Grass and forage science* **50**(4), 452-455.
- O'DONOVAN M., DILLON M., RATH M. Y STAKELUM G. (2002). A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish journal of agriculture and food research* **41**(1), 17-27.
- O'RIORDAN E. G. (2000). Relationship between sward height an herbage dry matter yields. En: Rook A. J. y Penning P. D. (Eds) *Proceedings of British Grassland Society Conference Grazing Management: the principles and practice of grazing for profit and environmental gain, within temperate grassland Systems*. pp. 55-56. Maidenhead, U.K: British Grassland Society.
- PACIULLO D. S. C., AROERIA L. J. M., COSER A. C. Y CARDOSO R. C. (2004) Rising plate meter and plant height to estimate the herbage mass in *Cynodon* ssp. swards. *Ciencia rural* **24** (2), 599-601.
- RENNIE G. M., PUHA M.R., DALLEY D.E., DYNES R.A. Y UPSDELL M.P. (2009). Calibration of the C-DAX Rapid pasturemeter and the rising plate meter for kikuyu-based Northland dairy pastures. En: NZ Grassland Association (ed) *Proceedings of the New Zeland Grassland Association*, **71** pp. 49-55 Mosgiel Dunedin, New Zeland: N Z Grassland Association Inc.
- SANDERSON M.A, ROTZ C.A, FULT S.W. Y RAYBURN E.B. (2001). Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agronomy Journal* **93** (6), 1281-1286.
- SCHELLBERG, J., JEANGROS, B., KESSLER, W., HUGUENIN, O., LOBSIGER, M., MILLAR, N. Y SUTER, D. (2004). Herbage mass estimates with an improved electronic capacitance meter. En A. Lüscher *et al* (Eds) *Land use Systems in grassland dominated regions. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation*, Luzern, Switzerland, **21-24** pp. 787-789. Switzerland: EGF
- SERRANO, J. M., PECA, J. O., PALMA, P. M. Y CARVALHO, M. J. (2008). Calibration of an electronic capacitance meter to pasture estimating in a precision agriculture project. En: European Society of Agriculture Engineers (Ed) *Agricultural and biosystems engineering for a sustainable Word. Internacional Conference on Agricultural Engineering, Hersonissos*, **23-25** p. 199. Bedford, UK
- SPSS Inc. (2009). Statistical Package for the Social Sciences 18.0. SPSS Inc, Chicago: USA.