

Comparaciones entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta

Comparison of four biomass estimation methods in Tall Fescue pastures

Isaías López-Guerrero^a, Joseph P. Fontenot^b, Teresa Beatriz García-Peniche^c

RESUMEN

En los experimentos de pastoreo, la masa de forraje es una medida necesaria para calcular otros atributos de la pradera, como son su crecimiento, utilización, y descomposición. El problema es que esa biomasa no se puede medir en estudios a gran escala, sólo se puede estimar usando algún método de muestreo. Cuando se submuestra, el método de corte directo (MD) ha sido aceptado como el más confiable, siempre y cuando se tomen suficientes muestras. Existen, sin embargo, métodos indirectos que pueden ser más fáciles, baratos y rápidos que el MD. En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue comparar el MD con tres métodos indirectos para estimar la masa de forraje: el medidor de pasto por capacitancia (MC), el plato medidor de pastos (PM) y la estimación visual (EV). El experimento fue conducido en seis potreros de festuca alta durante los años 2002 y 2003. Se desarrollaron ecuaciones de calibración para cada método indirecto y en cada fecha de muestreo, usando regresión lineal simple. Los coeficientes de determinación para las ecuaciones de calibración con todos los datos fueron de 0.686, 0.751, y 0.862 para MC, PM, y EV, respectivamente. Se encontraron diferencias ($P < 0.01$) debido a método de muestreo, fecha y su interacción. Los contrastes mostraron que la masa de forraje obtenida por el MD fue sobreestimada ($P < 0.01$) por los tres métodos indirectos.

PALABRAS CLAVE: Festuca alta, Biomasa, Estimación de masa, Plato medidor, Estimación visual, Capacitancia.

ABSTRACT

In grazing experiments, forage mass is a necessary measurement for estimating other grassland attributes such as growth, utilization, and decomposition. The predicament is that forage biomass cannot be measured in large scale grazing trials; it can only be estimated through some sampling technique. When subsampling, the herbage cutting method (HCM) has been accepted as the most reliable, provided an adequate number of samples are taken. There are, however, some indirect methods that may be easier, less expensive, and faster than clipping. For that reason, the purpose of the present study was to compare HCM with three indirect methods for estimating the forage mass: pasture capacitance meter (PCM), pasture plate meter (PPM) and visual estimation (VE). The experiment was carried out on six tall fescue paddocks during the 2002 and 2003 growing seasons. Calibration equations were put together for each indirect method for every sampling date using the simple linear regression technique. Coefficients of determination, for the pooled calibration equations, were 0.686, 0.751, and 0.862 for PCM, PPM, and VE, respectively. Significant differences ($P < 0.01$) were found due to sampling method, date, and their interaction. Contrasts showed that forage mass obtained by HCM was overestimated ($P < 0.01$) by the three indirect methods.

KEY WORDS: Tall Fescue, Biomass, Pasture plate meter, Visual estimation, Capacitance.

La biomasa de la pradera se refiere a la medida instantánea a nivel del suelo del peso total del forraje por unidad de superficie⁽¹⁾. Esta definición

Biomass in grasslands is the measurement at ground level of total forage weight in an area unit performed instantly⁽¹⁾. This definition implies that the only

Recibido el 2 de julio de 2009. Aceptado el 28 de enero de 2010.

^a Red de Pastizales y Recursos Forrajeros, Campo Experimental La Posta, INIFAP- CIR-Golfo Centro. Carr. Libre Veracruz-Córdoba km 22.5, Paso del Toro, Ver. 91700. Tel. + (229) 9347738. lopez.isaias@inifap.gob.mx. Correspondencia al primer autor.

^b Departamento de Ciencia Animal, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.

^c Red de Bovinos, Campo Experimental La Posta INIFAP, CIR-Golfo Centro.

implica que la única forma de conocer la cantidad de materia seca (MS) presente en un sitio determinado y en un momento del tiempo sería cortando, secando y pesando el total del forraje en la pradera sin pérdida de material; una difícil e impráctica tarea en estudios de pastoreo. Sin embargo, debido a la importancia de este atributo para tomar decisiones a nivel de rancho y para poder explicar resultados de experimentos, los administradores de los predios y los investigadores, usualmente tienen que confiar en la bondad de las técnicas de muestreo para estimar la cantidad de forraje presente^(2,3). Cuando se utiliza, el método de corte directo del pasto (MD) provee de un indicador objetivo del rendimiento de forraje, siempre y cuando el número de muestras sea el adecuado. Sin embargo, este método es destructivo y requiere de una elevada inversión en tiempo, trabajo y equipo. En consecuencia, el investigador puede decidirse por cortar un número insuficiente de muestras, resultando en una baja precisión del método^(3,4).

Alternativamente, se han desarrollado varios métodos indirectos para estimar la biomasa de forraje. Algunos de estos incluyen la estimación visual^(5,6,7), la cobertura de suelo por las plantas⁽⁸⁾, el volumen del dosel vegetal⁽⁹⁾, la altura del dosel^(10,11), el uso del cuadro medidor de pasto^(12,13,14), el medidor por capacitancia^(15,16,17), la observación visual^(18,19), y más recientemente, la imagenología espectroscópica⁽²⁰⁾. No obstante, aún hace falta información acerca de la precisión y exactitud con que estos métodos son capaces de estimar la biomasa de forraje de praderas diferentes.

Por lo anterior, el objetivo de este experimento fue comparar las estimaciones de biomasa de forraje obtenidas por medio del método de corte directo (MD) con las estimaciones de tres métodos indirectos: el medidor por capacitancia (MC), el plato medidor (PM), y la estimación visual (EV).

El experimento fue conducido en el Centro de Investigación y extensión Agrícola del Valle de Shenandoah (SVAREC), en Steeles Tavern, Virginia, EUA. El SVAREC se localiza a 37° 56´ N y 79° 13´ O, con suelo Frederick silt loam,

way of knowing the amount of dry matter (DM) present in a specific site and time would be by cutting, drying and weighing all of the forage in a pasture without loss of material. This would be impractical and difficult. However, due to the importance of this attribute for decision making at farm level and for explaining research results, both managers and scientists have to rely on sampling techniques for estimating the amount of available herbage^(2,3). When used, the herbage cutting method (HCM) provides an indicator of forage yield, provided the number of samples is adequate. However, this method is destructive and requires plenty of time, effort and equipment. Moreover, not enough samples may be taken, resulting in lack of accuracy^(3,4).

Alternatively, several indirect methods for estimating forage biomass have been developed. Some of these include visual estimation^(5,6,7), soil coverage⁽⁸⁾, canopy height^(10,11), pasture plate meter^(12,13,14), capacitance meter^(15,16,17), visual rating^(18,19), and more recently, imaging spectroscopy⁽²⁰⁾. However, more information is necessary on accuracy of these methods for estimating forage mass in different kinds of pastures.

Due to this, the purpose of the present study was to compare sward biomass estimates obtained by means of the direct cutting method (HCM) with those obtained through three indirect methods, capacitance meter (PCM), pasture plate meter (PPM) and visual rating (VE).

The experiment took place at the Shenandoah Valley Research and Extension Center (SVAREC), Steeles Tavern, Virginia, USA, located at 37° 56´ N, 79° 13´ W, soils being characterized as Frederick silt loam, mixed mesic, typical paleodult. The predominant specie in the sward was Tall Fescue (*Festuca arundinacea*, Schrab), although other species, as Kentucky Bluegrass (*Poa pratensis*, L.), Orchard grass (*Dactylis glomerata*, L.), Quack grass (*Elytrigia repens* (L.), NVEsky) and some broadleaf weeds were also found in different quantities. Pastures were fertilized with 157-22-45 kg ha⁻¹ N, P, K in 2002 and with 157-00-00 kg ha⁻¹ N, P, K in 2003, respectively. P and K were applied only

mésico mixto, paleudulto típico. El pasto predominante fue festuca alta (*Festuca arundinacea*, Schreb), aunque otras especies, como pasto azul de Kentucky (*Poa pratensis*, L), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*, L), grama del norte [*Elytrigia repens* (L.) Nevski], y algunas malezas de hoja ancha, estaban presentes en proporciones variables. Las pasturas fueron fertilizadas con 157-22-45 kg/ha de N, P, y K en 2002, y con 157-00-00 en 2003, respectivamente. El N fue aplicado en dos fracciones: 67 kg/ha a mediados de abril, y 90 kg/ha a mediados de agosto. El P y el K fueron aplicados sólo en abril de 2002. El forraje de estas praderas se mantuvo sin cortes ni pastoreo desde la segunda aplicación de N hasta el final de la época de crecimiento. Los potreros utilizados en el presente estudio se seleccionaron de entre aquellos usados en un proyecto del sistema vaca-cría en pastoreo intensivo, empleando como criterio de selección de los potreros la apreciación visual de la similitud de su composición botánica. La hipótesis a probar fue que no existían diferencias significativas entre métodos de muestreo para la estimación de la masa de forraje. Con tal fin, los cuatro métodos se aplicaron a seis potreros en ocho fechas de muestreo durante las épocas de crecimiento de 2002 y 2003 (Cuadro 1).

Métodos de estimación de la masa de forraje

Método directo. En cada fecha de muestreo se cortaron cinco franjas de 1.5 m² (0.5 m por 3.0 m) por hectárea, a una altura de 2.5 cm por arriba del nivel del suelo, con una podadora equipada con bolsa colectora. La ubicación de los sitios de muestreo se hizo mediante un procedimiento

Cuadro 1. Fechas de muestreo durante el periodo experimental

2002	2003
June 13 and 14	June 5 and 6
August 8 and 9	July 17 and 18
September 5 and 6	September 25 and 26
October 17 and 18	November 10 and 14

on April 2002. These pastures were kept uncut and without grazing from the second N application up to the end of the growing season. The paddocks used in the present study were chosen among those carrying an intensive cow-calf system project, the selection criterion being a visual estimation of the homogeneity of the swards' botanical composition. The hypothesis to be tested in the present study was that there are no significant differences between sampling methods for estimating sward mass. To this end, the four sampling methods were used in six paddocks on eight sampling dates during the 2002 and 2003 growing seasons (Table 1).

Methods for estimating sward mass

Herbage cutting method. In each sampling date, five 1.5 m² strips (0.5*3.0 m) ha⁻¹ were cut with a grass cutter equipped with a collection bag. Sampling sites were chosen through a systematic zigzag procedure with different number of observations, depending on the paddock area (Table 2), which provided a similar number of samples per hectare in every paddock. Cut forage was immediately placed in a cloth bag and weighed before and after drying in a forced air stove at 65 to 70 °C for 48 h. DM content in samples was estimated through the difference between start and final weight. Dry weight of strips was expressed as kg ha⁻¹ and DM yield was estimated on the average of strips in the same paddock.

Indirect methods. The same paddocks were sampled with each of the three sampling methods. Sampling

Cuadro 2. Identificación de potrero, área, y tamaño de muestra

Table 2. Paddock, paddock area, and sample size

Paddock	Ha/paddock	Strips/paddock	Obs/paddock
K1A	2.459	12	60
K2A	1.912	9	45
H1A	2.459	12	60
H2A	1.912	9	45
B1A	2.459	12	60
B2A	1.912	9	45

sistemático en zigzag, con diferente número de observaciones, dependiendo del área del potrero (Cuadro 2), lo que resultó en un número similar de muestras por hectárea en todos los potreros. La cantidad total de forraje cosechado se colocó inmediatamente en una bolsa de tela que se pesó antes y después de secarse en un horno de aire forzado a 65 - 70 °C por 48 h. El contenido de MS de las muestras se calculó por diferencia entre el peso inicial y el final. El peso seco de las franjas se expresó en kg/ha y la producción de MS se estimó de la media de las franjas dentro de cada potrero.

Métodos indirectos. Los mismos potreros fueron muestreados, en forma independiente, para cada uno de los tres métodos indirectos. El orden de muestreo fue MC, EV y PM. Para el MC, se utilizó el medidor comercial GrassMaster II® (Tru-Test Ltd., Auckland, NZ.), que es una sonda para pastos, fácil de usar (pesa 1.14g), equipado con un procesador electrónico y un indicador que muestra la estimación de masa de forraje para un máximo de 200 potreros y hasta 250 lecturas por potrero. El método se basa en la relación que existe entre capacitancia y la cantidad de MS de una pradera mixta de ballico con trébol blanco, en las condiciones neocelandesas. Por lo tanto, se tiene que desarrollar una ecuación de calibración cada vez que el GrassMaster, o cualquier otra sonda de capacitancia para pastos se utilicen en condiciones diferentes. Para este experimento, el potrero se recorrió en un patrón de zigzag, tomando una lectura cada 15 pasos, hasta obtener 45 ó 60 observaciones, lo cual dependió del tamaño del potrero (Cuadro 2).

Para el PM, se utilizó un cuadro de muestreo manual por caída, que consiste en un cuadro de plástico acrílico de 0.25 m² (0.5 m x 0.5 m) de 880 g de peso, grosor de un cuarto de pulgada, igual a 0.63 cm o 6.3 mm, y con un agujero redondo en el centro, que permite que el cuadro se deslice libremente a lo largo de un tubo de PVC de 125 cm de longitud, que a su vez actúa como una manga para otro tubo interno del mismo material, pero de 175 cm de largo. La sección de este tubo interno que sobrepasa al tubo externo,

order was PCM, VE and PPM. For PCM, a GrassMaster II® (Tru-Test Ltd., Auckland, NZ) commercial meter, a pasture probe, was employed, easy to use (weighs 1.14 kg), equipped with an electronic processor and with an indicator that shows a sward mass estimate for up to 200 paddocks and 250 readings per paddock. This method is based on the relationship between capacitance and dry matter volume in a ryegrass-white clover pasture in New Zealand. Therefore, a calibration equation must be put together every time either the GrassMaster or any other capacitance pasture probe is used in different conditions. In the present study, the experimental paddock was covered following a zigzag pattern, taking a reading every 15 steps until 45 or 60 observations, depending on paddock size, were recorded (Table 2).

For PPM, a manual sampling plate, consisting of an 0.25 m² (0.5 x 0.5 m) acrylic plate, ¼" thick (6.3 mm) with a round hole in the middle, which allows the plate to slide freely on a PVC tube 1.25 m long, that acts as a sheath for another smaller diameter PVC tube 1.75 m long, thus surpassing in length the outer tube. This last tube has an engraved scale in cm, starting at zero where the outer tube ends. Both tubes have a stop in one end, the outer tube to prevent the plate falling off in transport and the inner tube to keep both tubes level. When taking a sample, the plate is let fall from a 50 cm height on the top of the grass canopy, and therefore the plate stays at a certain height, while the inner tube is let slide until it reaches the ground; thus it is possible to measure the height of the sward in the inner tube scale. Forty five (45) to 60 samples were taken in each paddock (Table 2).

For VE the procedure for the comparative yield method described by Haydock and Shaw⁽⁵⁾ was followed, using a five point scale, with some changes. First of all, the paddock was walked over, when sampling for PCM, and variations in sward mass were ascertained. Afterwards, visual rating of DM volume in kg ha⁻¹ were performed every 15 steps following a zigzag pattern in 0.25 m² squares (Table 2).

Once the paddock was sampled through HCM and the three indirect methods, four squares of equal

está graduada con una escala a 1 cm empezando por cero al nivel en donde el tubo externo termina. Ambos tubos tienen topes en uno de sus extremos, el del tubo externo para evitar que el cuadro se caiga al transportarlo y el otro, para mantener la posición del tubo interno al nivel del tubo externo. Cuando se toma una medida, el cuadro se deja caer desde unos 50 cm sobre la altura del dosel vegetal del pasto, el cuadro es retenido por el pasto a una altura determinada, mientras que el tubo interno se desliza hasta tocar la superficie del suelo. Entonces, la altura del dosel vegetal bajo el cuadro, puede ser medida en la escala en lo alto del tubo interior. Las muestras tomadas por potrero variaron de 45 a 60 (Cuadro 2).

Para la EV se siguió el procedimiento descrito para el método del rendimiento comparativo de Haydock y Shaw⁽⁵⁾, con una escala de cinco puntos, con algunas modificaciones. Primero, el potrero se recorrió a pie, cuando se muestreaba con el MC, para reconocer la variación en masa de forraje; después se hicieron apreciaciones visuales de rendimiento de MS en kg/ha cada 15 pasos en cuadrantes de 0.25 m² cuando se caminó el potrero en un patrón de zigzag.

Una vez que el potrero fue muestreado con el MD y los tres métodos indirectos, se escogieron cinco cuadrantes de las mismas dimensiones (0.5 m por 0.5 m) para construir la ecuación de calibración. La condición fue que esos cinco cuadrantes cubrieran la escala de masa de forraje presente en el potrero entero, de manera que la mayoría de las muestras estuvieran dentro de esta escala. Para cada uno de los cuadrantes se tomó una EV (kg/ha), el promedio de cinco lecturas de MC (kg/ha), y una altura con PM (cm) por una sola persona, yendo del método menos, al más destructivo. Después de esto, el forraje dentro del cuadrante se cortó con unas tijeras eléctricas operadas por batería, a 2.5 cm sobre el nivel del suelo y se secó como se explicó para el MD.

Las ecuaciones de calibración para cada método indirecto fueron desarrolladas de los mismos cinco cuadrantes, haciendo una regresión lineal simple con 30 puntos, para cada método indirecto por

size (0.5*0.5m) were chosen for putting together the calibration equation. A required condition was for these squares to represent the sward mass range of the whole paddock, so most of the samples should be within this range. For each square a VE was made in kg ha⁻¹, as well as the average of five PCM readings also in kg ha⁻¹, and canopy height in cm by PPM by only one person, beginning with the least destructive method. After this, forage inside the square was cut with battery operated electric scissors at 2.5 cm from the ground and dried as described for HCM.

Calibration equations for each indirect method were developed from the same five squares, by a 30 point simple regression for each indirect method and each sampling date. The independent variables were sward biomass (DM in kg ha⁻¹), estimated by the observer in VE, readings of sward biomass in PCM and height in cm recorded in PPM. The response variable for all methods was forage mass in kg ha⁻¹ found in the squares. For estimating biomass in each method, the respective linear regression equation was solved for each reading made when sampling the paddock with each indirect method. The readings in the five squares used for putting together the calibration equation were added to the readings of each paddock and then the average of forage mass was estimated.

Accuracy was tested by means of a regression analysis, while precision was assessed by applying ANOVA to results of biomass estimations obtained by way of the four sampling methods. Data were analyzed in accordance with Little *et al.*⁽²¹⁾, using SAS[®] software release 8.2⁽²²⁾. Calibration equations for indirect methods for each sampling date and joint regression equations per year were estimated through the regression procedure. Null hypothesis of regression coefficients for method and date were tested by means of the GLM procedure. ANOVA of forage mass volume estimated through each method was carried out with the mixed procedure to test the null hypothesis of no differences between methods in estimating DM volume. The paddock was considered the experimental unit where treatments (methods) were applied and the model included paddock fixed effect as block and sampling

fecha de muestreo. Las variables independientes fueron la biomasa de forraje (MS en kg/ha) estimada por el observador en el método EV, la lectura de biomasa de forraje en el MC y la altura (cm) registrada para el PM. La variable de respuesta para todos los métodos fue la masa de forraje (kg/ha) presente en los cuadrantes. Para estimar la biomasa por método, la ecuación de regresión lineal respectiva fue resuelta para cada observación tomada al muestrear el potrero con cada método indirecto. Los cinco puntos de los cuadrantes utilizados para construir la ecuación de calibración se añadieron a las observaciones por potrero y se calculó la media aritmética de la masa de forraje.

La exactitud se probó con análisis de regresión, mientras que la precisión fue evaluada aplicando ANOVA a los resultados de estimación de biomasa de los cuatro métodos de muestreo. Los datos se analizaron de acuerdo con Littell *et al.*⁽²¹⁾, con la versión 8.2 del SAS[®]⁽²²⁾. Las ecuaciones de calibración para los métodos indirectos para cada una de las fechas de muestreo, y las ecuaciones de regresión lineal simple conjuntas por año, se calcularon usando el procedimiento de regresión. Las hipótesis de igualdad de los coeficientes de regresión por método y fecha, se probaron con el procedimiento GLM. El ANOVA de la cantidad de biomasa forrajera estimada con cada método, se realizó con el procedimiento mixed para probar la hipótesis nula de no diferencias entre los métodos en estimaciones de rendimiento de MS. El potrero se consideró como unidad experimental a la que se le aplicaron los tratamientos (métodos); el modelo incluyó los efectos fijos de potrero como bloque, método de muestreo como tratamiento, la fecha de muestreo como medida repetida y la interacción de método por fecha. Cuando el ANOVA detectó cualquier diferencia significativa ($P < 0.05$), se aplicaron contrastes lineales para comparar las medias de biomasa estimada con el MD contra la obtenida por cada uno de los métodos indirectos. También, el año 2002 se contrastó con el año 2003.

Todas las ecuaciones de regresión de la masa de forraje estimada con los tres métodos indirectos fueron significativas ($P < 0.01$) como era esperado debido al procedimiento de estandarización de

method as treatment, sampling date as repeat measure and method by date interaction. When ANOVA detected a significant difference ($P < 0.05$), linear contrasts were applied for means comparison of biomass estimated by HCM against those found through each of the indirect sampling methods. Also, year 2002 was contrasted to year 2003.

As expected, owing to the Haydock and Shaw standardization procedure⁽⁵⁾, all the regression equations of forage biomass estimated through the three indirect methods were significant ($P < 0.01$). Except for the August 8th, 2002 sampling, every R^2 was acceptable, ranging between 0.879 and 0.942 for VE, 0.816 and 0.931 for PPM, and from 0.726 to 0.898 for PCM. These R^2 values are better^(11,12,23) or similar to those reported by other authors^(13,24,25). When the regression coefficients were tested for equality, no significant differences between either sampling methods ($P = 0.815$) or dates ($P = 0.379$) were found, which gave rise to regression analyses on pooled data. Pooled calibration equations are shown in Table 3. Regressions for each year are shown because weather conditions at the experimental site were different in both years, 2002 being warm and dry with 883 mm rainfall while in 2003 rainfall was 1,719 mm and the summer was cooler and more humid.

R^2 for PCM in 2003 was better than in 2002. In 2002 the capacitance probe did not work properly, especially in the August 8th sampling ($R^2 = 0.491$), most probably owing to poor contact between capacitance system plates, perhaps due to low moisture in both soil and forage at the sampling sites. PPM and VE showed low R^2 values (0.600 and 0.795, respectively) too, on that same date. These results concur with those reported by other authors^(16,26,27), who advise caution when using PPM when herbage mass is either very low or very tall, if plants have many stems or are trampled.

In the present study, R^2 and residual standard deviation of regressions performed on pooled data are similar to those reported in other studies^(25,28,29), and these values show that precision in indirect methods was better for VE, followed by PPM, and worse for PCM. On the other hand, others^(11,24) and Murphy

Haydock and Shaw⁽⁵⁾. Con la excepción del muestreo del 8 de agosto del 2002, todas las R^2 fueron aceptables, con escalas que van de 0.879 a 0.942 para EV, de 0.816 a 0.931 para PM, y de 0.726 a 0.898 para MC. Estos valores de R^2 son mejores^(11,12,23) o comparables^(13,24,25) con los encontrados por otros autores. Cuando los coeficientes de regresión se probaron para igualdad, no hubo diferencia significativa entre métodos de muestreo ($P=0.815$) o fechas ($P=0.379$), lo cual dio lugar a los análisis de regresión con todos los datos en conjunto. Las ecuaciones de calibración de los datos en conjunto se muestran en el Cuadro 3. Las regresiones por año se presentan porque las condiciones meteorológicas en el sitio experimental fueron muy diferentes. El año 2002 fue cálido y seco, con una precipitación anual total de 883 mm, mientras que 2003 tuvo un verano más fresco y húmedo, con un total de 1,719 mm.

El valor de R^2 para el MC fue mejor en 2003 que en 2002. El funcionamiento inadecuado de la sonda

et al found better R^2 and variation coefficients for PCM than for PPM. Summing up, conclusions in these studies claim that accuracy in double sampling was quite acceptable for estimating herbage biomass for making routine decisions regarding pasture management.

Calibration equations in the present study were better for VE, with the pooled data regression model, for explaining up to 86 % of total variability, showing a 28 % residual standard deviation of the average of herbage mass. The problem with this method is its being strongly subjective and therefore susceptible to observer variability on any pasture attribute⁽³⁰⁾. R^2 values for PPM were found in between those of VE and PCM, being their residual standard deviations among the best found in the present study. When compared to VE, PPM is the most objective for estimating herbage mass. Besides, PPM is quick, inexpensive and easy to use^(25,27,31), hence with great potential, not only for estimating biomass but also for spatial and temporal dynamics studies in grasslands⁽¹⁴⁾.

Cuadro 3. Ecuaciones de calibración de los datos en conjunto de la masa de forraje estimada con el medidor por capacitancia, el plato medidor de pastos y la estimación visual

Table 3. Pooled data calibration equations of estimated herbage mass by means of capacitance meter, pasture plate meter and visual rating

	Regression***				Biomass ^c kg ha ⁻¹	RSD ^d , kg ha ⁻¹
	b ₀	b ₁	EE(b ₁) ^a	R ² adj ^b		
	Capacitance meter, kg ha ⁻¹					
2002	-511.4	1.483	0.125	0.540	2256	1137
2003	66.9	1.605	0.960	0.700	4219	1509
	Pasture plate meter, cm					
2002	-466.302	248.779	14.155	0.721	2256	885
2003	-691.871	305.961	17.395	0.721	4219	1456
	Visual rating, kg ha ⁻¹					
2002	127.415	1.714	0.075	0.814	2256	723
2003	-5.506	1.816	0.071	0.844	4219	1087

*** Every regression was significant ($P<0.01$).

^a Standard Error of the regression coefficient (β_1).

^b Adjusted determination coefficient.

^c Estimated dry matter in cut squares.

^d Residual standard deviation, n = 120.

en el año 2002, especialmente en el muestreo de verano que se realizó el 8 de agosto del 2002 ($R^2=0.491$), se debió probablemente a la falta de contacto entre los platos del sistema de capacitancia, lo cual a su vez probablemente fue afectado por la falta de humedad en el suelo y en el forraje en los sitios de muestreo. También, los métodos de PM y EV tuvieron valores relativamente bajos de R^2 (0.600 y 0.795, respectivamente) para el muestreo del 8 de agosto de 2002. Estos resultados concuerdan con los encontrados por otros^(16,26,27), quienes advirtieron del uso del PM cuando la masa de forraje es demasiado baja o demasiado alta, con plantas con muchos tallos o pisoteadas.

En este estudio, la R^2 y la desviación estándar residual de las regresiones realizadas con los datos en conjunto son similares a las reportadas en la literatura^(25,28,29). En el presente estudio, esos valores muestran que la precisión de los métodos indirectos fue mejor para la EV, seguida por la del PM, con los peores resultados para el MC. En contraste, otros investigadores^(11,24) encontraron mejores R^2 y coeficientes de variación para el MC que para el PM. En conjunto, las conclusiones de esos informes fue que la exactitud del doble muestreo es suficientemente buena para estimar la biomasa de forraje para la toma de decisiones rutinarias de manejo de praderas.

Las ecuaciones de calibración de este estudio fueron mejores para el método de EV, con el modelo de regresión de datos en conjunto, capaz de explicar hasta el 86 % de la variación total y con una desviación estándar residual de 28 % de la media de la masa de forraje. El problema con este método es que es altamente subjetivo y puede haber diferencias individuales en la apreciación visual de cualquier atributo de la pradera⁽³⁰⁾. Los valores de R^2 para el PM se encontraron entre los de EV y MC con sus desviaciones estándares residuales entre las mejores en este estudio. Comparado con EV, el PM es más objetivo para estimar la biomasa de forraje. El PM además es rápido, económico y fácil de usar^(25,27,31), por lo tanto, tiene potencial, no solo para estimar la biomasa, sino también en estudios de dinámica espacial y temporal de los pastizales⁽¹⁴⁾.

The relatively high residual standard deviation values found in the present study could indicate forage mass variability or perhaps could echo variability due to standardization of sampling procedures, because the five sampling squares in each of the six paddocks were chosen on the provision that they represented variability within the pasture. This method⁽⁵⁾ can reduce the number of paired samples needed for calibrating the indirect methods, but could also be source of large standard errors. Usefulness of regression equations using pooled data is due to their being generated from a big sample taken at different times and therefore, include variability due to weather, pasture management, forage mass and plant maturity. If someone would care to use one of these methods for estimating forage mass, without calibrations, in a mature tall fescue pasture under grazing, the recommendation would be to use the 2002 regression if weather was hot and dry and the 2003 regression if weather was cool and humid. If weather is not an issue, then the regression put together for pooled data would be suitable.

ANOVA showed differences due to sampling method ($P<0.01$), sampling date ($P<0.01$) and their interaction ($P<0.01$). Differences between dates were to be expected because paddocks were sampled in the 2002 and 2003 grazing seasons and most probably forage mass suffered changes with time. Pasture biomass dynamics across the study period are shown in Figure 1, where it can be seen that 2003 was better for forage yield than 2002, probably due to better weather conditions. DM averaged 1,558 kg ha⁻¹ in 2002 and 3,559 kg ha⁻¹ in 2003. Actual biomass was greater at the end of the growing season because forage was kept standing, a common practice for fescue pastures in the area this study was performed, and provides an opportunity for testing sampling methods in a wide range of herbage mass.

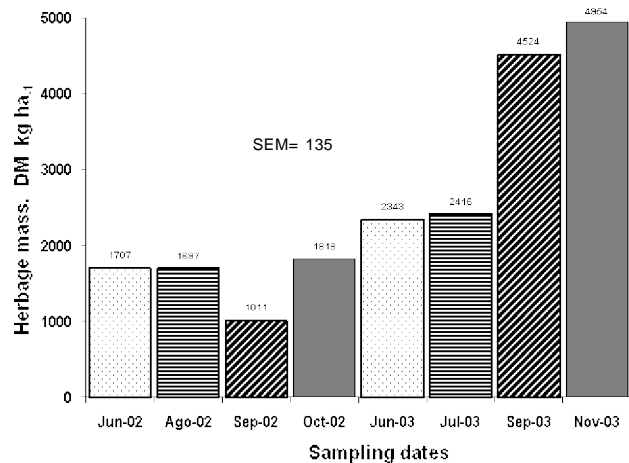
It was expected that the sampling methods showed similar results, but this did not come to pass. Even more, when HCM was used as the reference method, significant differences ($P<0.01$) between this method and each of the three double sampling techniques were found (Table 4). Contrasts between years showed differences ($P<0.01$) for estimating

Los valores relativamente altos de las desviaciones estándares residuales encontrados en este estudio pueden indicar la variación en la masa de forraje encontrada en las praderas, pero puede ser reflejo de la variación debido a la estandarización del procedimiento de muestreo, ya que los cinco cuadrantes colectados dentro de cada uno de los seis potreros se escogieron con la condición de que representaran la variación total dentro de la pradera. Este método⁽⁵⁾ puede reducir el número de muestras apareadas que se tendrían que tomar para calibrar los métodos indirectos, pero también podría ocasionar errores estándares grandes. La utilidad de las ecuaciones de regresión utilizando los datos en conjunto, es que se han generado de una muestra grande tomada en puntos diferentes en el tiempo, y en consecuencia, incluyen las variaciones en cuanto a condiciones climáticas, manejo de praderas, masa de forraje, y madurez de las plantas. Si alguien quisiera utilizar uno de estos métodos para estimar la masa de forraje de una pradera de festuca con pasto maduro en pastoreo, sin hacer calibraciones, la recomendación sería usar la regresión del año 2002 si las condiciones ambientales fueran de clima cálido y seco pero, sería mejor utilizar la regresión desarrollada para el año 2003, si el clima fuera húmedo y fresco. Si las condiciones ambientales no importan, entonces la regresión utilizando los datos en conjunto sería más aconsejable.

El ANOVA mostró diferencias debidas a método de muestreo ($P < 0.01$), fecha de muestreo ($P < 0.01$), y su interacción ($P = 0.01$). La diferencia en fechas era esperada porque los potreros se muestrearon durante las épocas de pastoreo de 2002 y 2003, y es muy probable que la masa de forraje haya cambiado con el tiempo. La dinámica de la biomasa en la pradera durante el período de estudio se muestra en la Figura 1, en la cual se observa que el año 2003 fue mejor que el 2002 con respecto a producción de forraje, probablemente como consecuencia de mejores condiciones climáticas. En 2002, el promedio de MS presente fue de 1,558 kg/ha, mientras que en 2003 fue de 3,559 kg/ha. Segundo, la biomasa presente fue mayor al final de la época de crecimiento porque el forraje se conservó en pie, práctica común con las pasturas de festuca alta en la región de estudio,

Figura 1. Masa de forraje estimada durante el periodo experimental, promedio de todos los métodos

Figure 1. Estimated herbage mass for the experimental period, average of all methods



SEM= standard error of the mean.

biomass too. When ANOVA was performed for each year, differences between principal effects persisted ($P < 0.03$), but their interactions with sampling dates became non significant ($P > 0.07$).

Taking HCM as reference, the present study shows that the indirect methods overestimated forage biomass, differing to what is reported in other studies^(17,28). However, no differences were found between indirect methods ($P > 0.05$). In the present study, total herbage yield of pasture was not obtained, only estimated, because it was impossible to harvest the whole pasture.

Usually, in studies of this type, most researchers accept that HCM affords the most accurate biomass estimate, provided the number of samples is adequate. Therefore, if five 1.5 m² strips ha⁻¹ were an adequate sample size for the present study, indirect methods would not be acceptable. But, if the 26 observations ha⁻¹ (each of them a 0.25 m² square), made through indirect methods were capable of providing a more accurate estimate of available herbage biomass than HCM, then HCM would be doubtful. Both Michalk and Herbert⁽²⁸⁾ in alfalfa pastures and Murphy *et al*⁽¹¹⁾ in ryegrass,

Cuadro 4. Masa de forraje estimada con cuatro métodos durante 2002 y 2003

Table 4. Estimated herbage biomass in 2002 and 2003

Sampling method	2002		2003	
	Herbage biomass (DM kg ha ⁻¹)	Contrast significance ^a	Herbage biomass (DM kg ha ⁻¹)	Contrast significance
Herbage cut	1383	...	2523	...
Capacitance	1551	0.095	3909	< 0.001
Pasture plate meter	1659	0.007	4065	< 0.001
Visual rating	1638	0.013	3740	< 0.001
SEM	69	136		

^a Observed difference for contrasts between herbage cutting method and with each indirect method. SEM= standard error of the mean for each method, n = 24.

lo que provee la oportunidad de probar los métodos con una amplia escala de masa de forraje.

Se esperaba que los métodos de muestreo tuvieran resultados similares en su estimación de la biomasa de forraje, lo cual no fue el caso. Aún más, cuando se utilizó el MD como el método de referencia, hubo diferencias ($P < 0.01$) entre este método y cada una de las tres técnicas de doble muestreo (Cuadro 4). El contraste para años también mostró diferencias ($P < 0.01$) entre 2002 y 2003 en la cantidad de biomasa estimada. Cuando el ANOVA se hizo por año, las diferencias entre los efectos principales persistieron ($P < 0.03$), pero sus interacciones con las fechas de muestreo se hicieron no significativas ($P > 0.07$).

Tomando como referencia al MD, la presente investigación indica que los métodos indirectos sobrestimaron la biomasa de forraje presente, lo cual difirió de lo encontrado en otros estudios^(17,28). Sin embargo, no hubo diferencia entre los métodos indirectos ($P > 0.05$). En este estudio, no se obtuvo la medida del rendimiento total de forraje de los potreros, sino sólo estimaciones, ya que no era posible hacer la cosecha total de forraje presente en toda la pradera.

Generalmente, en este tipo de estudios, la mayoría de los investigadores aceptan que el MD provee la estimación más confiable de biomasa con la condición de que el número de muestras cortadas

tall fescue and ryegrass/clover pastures, prefer to use non destructive methods, but other researchers^(17,29) avow that at present it is impossible to predict with precision dry matter volume in any site with non destructive methods. Meanwhile, we can only conclude that HCM in the present study consistently presented lower estimates than the three double sampling methods tested. Reliability of these methods for estimating real pasture biomass remains to be elucidated in experiments that allow cutting all the herbage in a pasture after applying all the sampling methods.

In the present study, the three indirect sampling methods overestimated biomass in paddocks compared to HCM, therefore, the need to be careful when choosing a sampling method cannot be underestimated, because different estimates can be found for the same herbage harvest when using different methods. Sampling intensity, as well as its size and the shape of the sample, all of them hold important functions when using the herbage cutting method, while the accuracy of the calibration equation and the sample size are key elements when a double sampling method is used.

End of english version

sea el adecuado. Por lo tanto, si cinco franjas de 1.5 m² por hectárea fueran un tamaño de muestra

adecuado para las condiciones de este estudio, entonces, los métodos indirectos no serían aceptables. Pero, si las 26 observaciones (en cuadrantes de 0.25 m²) por hectárea tomadas con los métodos indirectos fueron capaces de proveer de una estimación más exacta de la masa de forraje que el MD, entonces éste sería cuestionable. Michalk and Herbert⁽²⁸⁾, trabajando con pasturas de alfalfa, y Murphy *et al*⁽¹¹⁾, trabajando con pasturas de ryegrass, festuca alta, y ryegrass/trébol, prefieren el uso de técnicas no destructivas, pero otros investigadores^(17,29) afirmaron que en el presente, es imposible hacer predicciones precisas de la producción de MS de un cierto sitio basadas en mediciones no destructivas. Mientras tanto, sólo podemos concluir que el MD en este experimento dio estimaciones consistentemente más bajas que las tres técnicas de doble muestreo. La confiabilidad de estos métodos para estimar la cantidad verdadera de biomasa de la pradera, queda para ser elucidada, en pruebas que permitan cortar el total de forraje luego de haber utilizado los métodos de muestreo.

En conclusión, se encontró que los métodos indirectos sobrestimaron la biomasa de los potreros y por lo tanto, se enfatiza la necesidad de ser cuidadoso al seleccionar el método para estimar la biomasa de las praderas, ya que pueden obtenerse estimaciones diferentes de la misma cosecha de forraje al usar diferente procedimiento. La intensidad de muestreo, así como el tamaño, y la forma del cuadrante tienen papeles importantes cuando se usa el método de corte directo mientras que, la exactitud de la ecuación de calibración y el tamaño de muestra son elementos clave cuando se utiliza alguna técnica de doble muestreo.

LITERATURA CITADA

- Hodgson J. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass Forage Sci* 1979;(34):11-18.
- Wilm HG, Costello DF, Klipple GE. Estimating forage yield by the double-sampling method. *J Am Soc Agr* 1944;(36):194-203.
- Mannetje L't. Measuring biomass of grassland vegetation. *In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Mannetje L't., Jones RM editors. Cambridge, UK: CABI Publishing Univ Press; 2000:151-177.
- Frame J. Herbage mass. *In: Sward measurement handbook*. Hodgson J, Baker RD, Davis A, Laidlaw AS, Leaver JD editors. Br Grassl Soc, Berkshire, UK; 1981:39-67.
- Haydock KP, Shaw NH. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Aust J Exp Agric Anim Hus* 1975;(15):663-670.
- Waite RB. The application of visual estimation procedures for monitoring pasture yield and composition in exclosures and small plots. *Trop Grasslands* 1994;(28):38-42.
- Smith KF, Tasneem M, Kearney GA, Reed KFM, Leonforte A. Evaluation of herbage yield in a forage grass breeding program: comparison of visual rating versus measurement in single-row plots or swards. *Aust J Exp Agric* 2001;(41):1161-1166.
- Anderson DM, Kothmann MM. A two-stage sampling technique for estimating standing crop of herbaceous vegetation. *J Range Manage* 1982;(35):675-677.
- Thorne MS, Skinner QD, Smith MA, Rodgers JD, Laycock WA, Cerecki SA. Evaluation of a technique for measuring canopy volume of shrubs. *J Range Manage* 2002;(55):235-241.
- Hutchinson NJ. Spatial heterogeneity and other sources of variance in sward height as measured by the sonic and HFRO sward stick. *Grass Forage Sci* 1991;(46):277-282.
- Murphy WM, Silman JP, Mena-Barreto AD. A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow grass-dominant white clover sward. *Grass Forage Sci* 1995;(50):452-455.
- Bransby DI, Matches AG, Krause GF. Disk meter for rapid estimation of herbage yield in grazing trials. *Agron J* 1977;(69):393-396.
- Harmony KR, Moore JM, George JR, Brummer EC, Russell JR. Determination of pasture biomass using four indirect methods. *Agron J* 1997;(89):665-672.
- Correll O, Isselstein J, Pavlu V. Studying spatial and temporal dynamics of sward structure at low stocking densities: the use of an extended rising-plate-meter. *Grass Forage Sci* 2003;(58):450-454.
- Vickery PJ, Bennett IL, Nicol GR. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass Forage Sci* 1980;(35):247-252.
- Michell P, Large RV. The estimation of herbage mass of perennial ryegrass swards: a comparative evaluation of a rising-plate meter and a single probe capacitance meter calibrated at and above ground level. *Grass Forage Sci* 1983;(38):295-299.
- Sanderson MA, Rotz CA, Fultz SW, Rayburn EB. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter, and pasture ruler. *Agron J* 2001;(93):1281-1286.
- Laca EA, Demment MW, Winckel J, Kie JG. Comparison of weight estimate and rising-plate meter methods to measure herbage mass of a mountain meadow. *J Range Manage* 1989;(42):71-75.
- Vermeiere LT, Ganguli AC, Gillen RL. A robust model for estimating standing crop across vegetation types. *J Range Manage* 2002;(55):494-497.
- Schut AGT, Ketelaars JH. Assessment of seasonal dry-matter yield and quality of grass swards with imaging spectroscopy. *Grass Forage Sci* 2003;(58):385-396.
- Littell RC, Stroup WW, Freund RJ. *SAS for Linear Models*. 4th ed. SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA. 2002.

22. SAS Institute Inc Software release 8.2 (TS2MO). Licensed to Virginia Polytechnic Institute and State University. Cary, NC. U.S.A. 2001.
23. Rayburn EB, Rayburn SB. A standardized plate meter for estimating pasture mass in on-farm research trials. *Agron J* 1998;(90):238-241.
24. Stockdale CR, Kelly KB. A comparison of a rising-plate meter and an electronic capacitance meter for estimating the yield of pastures grazed by dairy cows. *Grass Forage Sci* 1984;(39):391-394.
25. Griggs TC, Stringer WC. Prediction of alfalfa herbage mass using sward height, ground cover, and disk technique. *Agron J* 1988;(80):204-208.
26. Vartha EW, Matches AG. Use of a weighted-disk measure as an aid in sampling the herbage yield on tall fescue pastures grazed by cattle. *Agron J* 1977;(69):888-890.
27. Douglas JT, Crawford CE. An evaluation of the drop-disc technique for measurements of herbage production in ryegrass for silage. *Grass Forage Sci* 1994;(49):252-255.
28. Michalk DL, PK Herbert. Assessment of four techniques for estimating yield on dryland pastures. *Agron J* 1977;(69):864-868.
29. Gabriels PCJ, Van den Berg JV. Calibration of two techniques for estimating herbage mass. *Grass Forage Sci* 1993;(48):329-335.
30. Aiken GE, Bransby DI. Observer variability for disk meter measurements of forage mass *Agron J* 1993;(84):603-605.
31. Michell, P. Value of a rising-plate meter for estimating herbage mass of grazed perennial ryegrass-white clover swards. *Grass Forage Sci* 1982;37:81-87.