






## Biomasa forrajera de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* estimada por capacitancia electrónica en condiciones de Bosque Seco Premontano

Forage biomass of *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* estimated by electronic capacitance in Premontane Dry Forest conditions

Massa da forragem de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* estimada por capacitância eletrônica em condições de Floresta Seca Submontana

Ana María Herrera-Angulo<sup>1\*</sup>, Giovanni Duque<sup>2</sup>, Greicy García<sup>3</sup>, Robert Emilio Mora-Luna<sup>1</sup>; Pablo Emilio Herrera<sup>4</sup> y Beatriz Birbe<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>Decanato de Investigación, Universidad Nacional Experimental del Táchira (UNET). Venezuela. Correos electrónicos: (AH) aherrera@unet.edu.ve,  (RM) rmora@unet.edu.ve,  <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería de Producción Animal-UNET. Correo electrónico: giovannye.duque@gmail.com,  <sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Agronómica-UNET. Correo electrónico: greicydelvallegg@gmail.com,  <sup>4</sup>Estación Experimental La Iguana. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez. Venezuela. Correo electrónico: phaltamirensense@gmail.com .

### Resumen

Con la finalidad de calibrar el medidor de capacitancia electrónica (muestreo no destructivo, MND) a partir del muestreo destructivo (MDE) pre-pastoreo de biomasa de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* en condiciones de Bosque Seco Premontano (estado Táchira - Venezuela), se realizó un experimento en época de lluvias y sequía. Fue utilizado como MND el Pasture Probe-Jenquip® provisto de cinco lecturas referenciales. En cada época (dos meses por época), se tomaron 30 observaciones por mes para el MDE y 30 para cada lectura del MND. Se realizaron análisis de regresión lineal simple (RLS) y lineal múltiple (RLM), considerando para RLM las variables altura del pasto (AP), cobertura aérea (CA)

Recibido el 23-08-2019 • Aceptado el 18-05-2020.

\*Autor de correspondencia. Correo electrónico: aherrera@unet.edu.ve

y basal, relación verde:seco, variables macroclimáticas (nubosidad, temperatura ambiental, humedad relativa) y humedad en la base de la pastura; estableciendo en todos los casos la relación entre la biomasa del MDE y MND. En RLS, fueron obtenidos  $R^2$  bajos tanto en sequía (0,26 - 0,48;  $p < 0,05$ ) como lluvia (0,05 - 0,13;  $p > 0,05$ ). Con RLM, fueron observados incrementos en el  $R^2$  para ambas épocas, con modelos satisfactorios para sequía ( $R^2 > 0,70$  en cuatro lecturas referenciales;  $p < 0,01$ ). En lluvia, el  $R^2$  fue considerado bajo ( $R^2$  máximo de 0,41) en todas las evaluaciones. La precisión del MND propuesto para estimar biomasa pre-pastoreo de *C. nlemfuensis* durante la sequía incrementa considerando RLM al incluir variables estructurales como AP y CA. En lluvias, la precisión es baja, aun adicionando variables asociadas al clima y la pastura. El contenido de humedad del pasto es determinante para la estimación de biomasa en esta época.

**Palabras clave:** biomasa, métodos de muestreo, plantas forrajeras.

### Abstract

In order to calibrate the electronic capacitance meter (non-destructive sampling, NDS) from the destructive sampling (DS) pre-grazing biomass of *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* in premontane dry forest conditions (Táchira state - Venezuela), an experiment was carried out in the rainy and dry seasons. The Pasture Probe-Jenquip® provided with five reference readings was used as NDS. At each season (two months per season), 30 observations were taken per month for the DS and 30 for each reading of the NDS. Simple linear (SLR) and multiple linear (MLR) regression analyzes were performed, considering for MLR the variables canopy height (CH), aerial and coverage (AC) and basal, green: dead ratio, macroclimatic variables (cloudiness, ambient temperature, relative humidity) and humidity at the base of the pasture; establishing in all cases the relationship between the biomass of the DS and NDS. In SLR, low  $R^2$  were obtained both in drought (0.26 - 0.48;  $p < 0.05$ ) and rainy (0.05 - 0.13;  $p > 0.05$ ) conditions. With MLR, increases in  $R^2$  were observed for both seasons, with satisfactory models for drought ( $R^2 > 0.70$  in four reference readings;  $p < 0.01$ ). In rain,  $R^2$  was considered low (maximum  $R^2$  of 0.41) in all evaluations. The precision of the proposed NDS to estimate pre-grazing biomass of *C. nlemfuensis* during drought increases considering MLR by including structural variables such as CH and AC. In rainfall, the precision is lower, even adding variables associated with the climate and the pasture. The moisture content of the grass is decisive for the estimation of biomass at this time.

**Key words:** biomass, sampling methods, forage plants.

### Resumo

Para calibrar o medidor de capacitância eletrônica (amostragem não destrutiva, MND) da biomassa de pré-pastejo da amostragem destrutiva (MDE)

de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis* em condições de Floresta Seca Premontane (estado de Táchira-Venezuela), um experimento foi realizado nas estações chuvosa e seca. O Pasture Probe-Jenquip® fornecido com cinco leituras de referência foi utilizado como MND. Em cada estação (dois meses por estação), foram realizadas 30 observações por mês para o MDE e 30 para cada leitura do MND. Foram realizadas análises de regressão linear simples (RLS) e linear múltipla (RLM), considerando para o RLM as variáveis altura da grama (AP), cobertura aérea (CA) e relação basal, verde: seca, variáveis macroclimáticas (nebulosidade, temperatura ambiente, umidade relativa) e umidade na base do pasto; estabelecendo em todos os casos a relação entre a biomassa do MDE e MND. Na RLS, foram obtidos baixos  $R^2$  tanto na seca ( $0,26 - 0,48$ ;  $p < 0,05$ ) quanto na chuva ( $0,05 - 0,13$ ;  $p > 0,05$ ). Com o RLM, foram observados aumentos no  $R^2$  nas duas estações, com modelos satisfatórios para a seca ( $R^2 > 0,70$  em quatro leituras de referência;  $p < 0,01$ ). Na chuva, o  $R^2$  foi considerado baixo ( $R^2$  máximo de  $0,41$ ) em todas as avaliações. A precisão do MND proposto para estimar a biomassa pré-pastejo de *C. nlemfuensis* durante a seca aumenta considerando o RLM, incluindo variáveis estruturais como AP e CA. Nas chuvas, a precisão é baixa, adicionando variáveis associadas ao clima e ao pasto. O teor de umidade da grama é decisivo para a estimativa de biomassa neste momento.

**Palavras-chave:** biomassa, métodos de amostragem, plantas forrageiras.

## Introducción

El manejo de pasturas tropicales en sistemas de producción con rumiantes, es una actividad dinámica dependiente de la interacción entre componentes clima-suelo-planta-animal (Agnusdei, 2013; Kallenbach, 2015). Cada ambiente agroecológico ofrece una variedad de condiciones determinantes de la respuesta en producción, composición morfológica y valor nutritivo de la vegetación tanto nativa como introducida, presentes en determinadas áreas de pasturas, como respuesta de adaptación a las variaciones del entorno (Agnusdei, 2013; Andueza *et al.*, 2015).

Esta variabilidad en la cantidad de forraje es prescindible estimarla en diferentes épocas del año, lo que consecuentemente permitirá predecir,

## Introduction

The management of tropical pastures in production systems with ruminants is a dynamic activity dependent on the interaction among climate-soil-plant-animal components (Agnusdei, 2013; Kallenbach, 2015). Each agroecological environment offers a variety of conditions determining the response in production, morphological composition and nutritional value of both native and introduced vegetation, present in certain pasture areas, as a response to adaptation to environmental variations (Agnusdei, 2013; Andueza *et al.*, 2015).

It is essential to estimate this variability in the amount of forage at different times of the year, which consequently will allow predicting, among others, indicators associated

entre otros, indicadores asociados al manejo del pastoreo. Estos indicadores, analizados de forma sistemática, permitirán minimizar los riesgos que conducen a condiciones de degradación del ecosistema pastizal en la unidad de producción (sobre y sub-pastoreo), asociados a decisiones de tiempo de pastoreo y descanso de la pastura y carga animal principalmente (Suzuki *et al.*, 2012).

Esta cantidad de forraje o biomasa presente a través del tiempo, se ha estimado considerando métodos destructivos y no destructivos (Braga *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2016a). Los métodos destructivos o directos se caracterizan por proporcionar una medida más exacta de lo que posee el área de pasturas. Sin embargo, requieren de tiempo e inversión en mano de obra por demandar numerosas muestras para obtener resultados confiables (Castillo *et al.*, 2009; López-Díaz *et al.*, 2011).

Los métodos no destructivos o indirectos (fotografías de satélite, método del disco, estimación por capacitancia electrónica), pueden representar elevado costo inicial, sin embargo son eficientes en el tiempo una vez calibrados con resultados precisos para diferentes especies forrajeras y bajo diferentes condiciones agroecológicas (Andersson *et al.*, 2017; Serrano *et al.*, 2011). Su correcto empleo estará determinado por su calibración (López *et al.*, 2008), la cual puede ser una labor intensa y muy específica del sitio, considerando la variación en la pastura (Rayburn *et al.*, 2007; Kallenbach, 2015).

with grazing management. These indicators, analyzed in a systematic way, will minimize the risks that lead to conditions of degradation of the grassland ecosystem in the production unit (over and under-grazing), associated with decisions on grazing time and rest of the pasture and mainly animal load. (Suzuki *et al.*, 2012).

This amount of forage or biomass present over time has been estimated considering destructive and non-destructive methods (Braga *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2016a). Destructive or direct methods are characterized by providing a more accurate measure of what the pasture area possesses. However, they require time and investment in labor to gather numerous samples for obtaining reliable results (Castillo *et al.*, 2009; López-Díaz *et al.*, 2011).

Non-destructive or indirect methods (satellite photographs, disk method, estimation by electronic capacitance), can represent a high initial cost; however, they are efficient in time once the device is calibrated with precise results for different forage species and under different agro-ecological conditions (Andersson *et al.*, 2017; Serrano *et al.*, 2011). Hence, its correct use will be determined by its calibration (López *et al.*, 2008), which can be an intense and very site-specific work, considering the inherent variation in pasture characteristics (Rayburn *et al.*, 2007; Kallenbach, 2015).

Double-sampling techniques are commonly used by researchers to increase the precision of estimates and minimize the amount of work (Sanderson *et al.*, 2001). Calibration

Técnicas de doble muestreo son comúnmente utilizados por investigadores para aumentar la precisión de las estimaciones y reducir al mínimo la cantidad de trabajo (Sanderson *et al.*, 2001). Así mismo la calibración debe realizarse con frecuencia y en todas las épocas contrastantes del año o ciclo de pastoreo, sin importar el método indirecto de elección (Braga *et al.*, 2009).

El medidor de capacitancia de las pasturas es una técnica bastante difundida y utilizada por productores e investigadores en países de clima templado donde fue desarrollada la tecnología (Serrano *et al.*, 2011; 2016a; 2016b). Sus cálculos de biomasa son basados en el diferencial del potencial dieléctrico entre el aire y el forraje, considerando un área de sensibilidad en la que se encuentra el forraje desde el nivel del suelo hasta una altura determinada (Thomson, 1983; Currie *et al.*, 1987; Herrera y Mora, 2013).

En Venezuela no se ha estudiado la factibilidad de uso de esta tecnología, y su calibración comercial no está ajustada a condiciones de trópico (Castillo *et al.*, 2009). Esto hace posible evaluar la eficiencia de uso del medidor de capacitancia electrónica en diversas condiciones agroecológicas tropicales, en áreas establecidas con aquellas especies forrajeras ampliamente difundidas. El objetivo de este trabajo consistió en calibrar el medidor de capacitancia electrónica a partir del muestreo destructivo pre-pastoreo de biomasa de *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*, en condiciones de Bosque Seco Premontano.

should be carried out frequently and at all contrasting times of the year or grazing cycle, regardless of the indirect method of choice (Braga *et al.*, 2009).

The pasture capacitance meter is a fairly widespread technique used by producers and researchers in temperate countries where the technology was developed (Serrano *et al.*, 2011; 2016a; 2016b). Their biomass calculations are based on the differential of the dielectric potential between the air and the forage, considering an area of sensitivity in which the forage is found from ground level to a certain height (Thomson, 1983; Currie *et al.*, 1987; Herrera and Mora, 2013).

In Venezuela the feasibility of using this technology has not been studied, and its commercial calibration is not adjusted to tropical conditions (Castillo *et al.*, 2009). Therefore, it is possible and necessary to evaluate the efficiency of use of the electronic capacitance meter in diverse tropical agro-ecological conditions, in established areas with widely spread forage species. The objective of this work was to calibrate the electronic capacitance meter from the destructive pre-grazing biomass sampling of *Cynodon nlemfuensis* Vanderyst var. *nlemfuensis*, in Premontane Dry Forest conditions.

## Materials and methods

The trial was carried out in the Varadero Production Unit, located in the Guásimos Municipality, Táchira-Venezuela state, coordinates 80°16'00" - 80°20'00" East and 86°72'00" -

## Materiales y métodos

El ensayo se llevó a cabo en la Unidad de Producción Varadero, ubicada en el Municipio Guásimos, estado Táchira-Venezuela, coordenadas 80°16'00"-80°20'00" Este y 86°72'00" - 86°76'00" Norte, zona caracterizada según Holdridge (1967) como Bosque Seco Premontano, con una altitud alrededor de 1000 msnm, rango de precipitación media anual entre 700 y 1100 mm y temperatura media anual entre 12 y 22 °C (CORPOANDES, 2007).

El período experimental abarcó los meses de Enero a Febrero para la época de sequía, y Mayo a Junio para la época de lluvias; presentando cada una promedios mensuales de precipitación de 19,9 y 231,6 mm, respectivamente (INAMEH, 2014).

Fueron realizados muestreos sistemáticos considerando la variabilidad espacial del forraje, en potreros establecidos con *C. nlemfuensis*, tomando para cada mes 30 muestras de forraje por potrero inmediatamente antes del pastoreo, siguiendo el cronograma para el manejo del pastoreo de 1 día de ocupación y 28 días de descanso. Las muestras fueron tomadas entre las 11:00 y 13:00 h en todos los casos, minimizando las posibles interferencias generadas en las lecturas del medidor de capacitancia electrónica por efecto de la humedad en la pastura a tempranas horas del día (Vickery *et al.*, 1980). Las metodologías empleadas para la estimación de biomasa forrajera correspondieron a: 1) Método no destructivo (MND) y 2) Método destructivo (MDE).

86°76'00" North, an area characterized according to Holdridge (1967) as the Premontane Dry Forest, with an altitude of around 1000 meters above sea level, average annual precipitation range between 700 and 1100 mm and average annual temperature between 12 and 22 °C (CORPOANDES, 2007).

The experimental period included the months of January to February for the dry season, and May to June for the rainy season; each season presenting monthly averages of 19.9 and 231.6 mm of precipitation, respectively (INAMEH, 2014).

Systematic samplings were carried out considering the spatial variability of the forage, in pastures established with *C. nlemfuensis*, taking 30 forage samples per pasture per month immediately before grazing, following the grazing management schedule of 1 day of occupation and 28 days of rest. Samples were taken between 11:00 and 13:00 h in all cases, minimizing the possible interferences generated in the readings of the electronic capacitance meter due to the effect of humidity in the pasture in the early hours of the day (Vickery *et al.*, 1980). The methodologies used to estimate forage biomass corresponded to: 1) Non-destructive method (NDS) and 2) Destructive method (DS).

For the NDS, the electronic capacitance meter Pasture Probe-Jenquip® (figure 1) was used, which works through a portable microprocessor (figure 2) that controls the measurements of electronic capacitance in a given area, with a 15 cm-radius of action and whose reading is supplied in kg DM.ha<sup>-1</sup>



Para el MND se empleó el medidor de capacitancia electrónica Pasture Probe-Jenquip® (figura 1), el cual funciona a través de un microprocesador portátil (figura 2) que controla las mediciones de capacitancia electrónica en un área dada, con un radio de acción de 15 cm y cuya lectura es suministrada en kg MS.ha<sup>-1</sup> (Manual Jenquip, 2003). El equipo está provisto de cinco tipos de lecturas referenciales que realiza de forma no simultánea y que están asociadas a cinco diferentes variaciones estacionales del país de origen (cuadro 1). De esta forma, por cada punto de muestreo se realizaron dos mediciones para cada tipo de lectura referencial preestablecida en el medidor de capacitancia electrónica. se fijaron estacas con el objeto de garantizar realizar las posteriores lecturas en la misma ubicación.

(Jenquip Manual, 2003). The equipment is provided with five types of reference readings which are non-simultaneously performed and that are associated with five different seasonal variations in the country of origin (table 1). Thus, for each sampling point, two measurements were made for each type of reference reading preset on the electronic capacitance meter. Stakes were fixed near each sampling point in order to guarantee subsequent readings at the same location.

After taking information with the NDS and on the same sampling point, the grid technique described by Paladines (1992) was used as DS, using a metal frame with 0.375 m<sup>2</sup>. In each sampling unit, information was recorded regarding the structure of the grassland canopy cover, canopy height, and green:dead ratio subjective



Figura 1. Medidor de capacitancia electrónica Pasture Probe-Jenquip®.

Figure 1. Pasture Probe-Jenquip® Electronic Capacitance Meter.



Figura 2. Microprocesador portátil del medidor de capacitancia electrónica Pasture Probe-Jenquip®.

Figure 2. Pasture Probe-Jenquip® electronic capacitance meter portable microprocessor.

**Cuadro 1. Lecturas de referencia preestablecidas en el medidor de capacitancia electrónica Pasture Probe-Jenquip® y sus respectivas variaciones estacionales.**

**Table 1. Preset reference readings on the Pasture Probe-Jenquip® electronic capacitance meter and their respective seasonal variations.**

Lectura	Variaciones estacionales
1	Invierno – comienzo de primavera
2	Final de primavera – comienzo del verano
3	Mediados del verano
4	Principio del otoño
5	Final del otoño

Fuente: Manual Jenquip, 2003.

Source: Manual Jenquip, 2003.



Posterior a la toma de información con el MND y sobre el mismo punto de muestreo, se empleó como MDE la técnica de la cuadrícula descrita por Paladines (1992), utilizando un marco metálico con 0,375 m<sup>2</sup>. En cada unidad de muestreo fue registrada información en relación a la estructura del pastizal (cobertura aérea, altura y relación verde:seco subjetiva del forraje) antes del corte del material a nivel del suelo. Las muestras fueron deshidratadas (estufa Thelco®, modelo 6M, EUA) a 60°C hasta alcanzar peso constante, para el cálculo de biomasa presente en kg MS.ha<sup>-1</sup> (Paladines, 1992).

#### Variables evaluadas

En cada fecha de muestreo se realizaron lecturas de variables macro climáticas tales como temperatura ambiental y humedad relativa empleando un termo higrómetro digital de bolsillo (TFA® - Modelo HT-30.5007, Alemania) con precisión para temperatura ambiental y humedad relativa de 0,1 °C y 1 %, respectivamente. La nubosidad se determinó de acuerdo al método subjetivo descrito por Retallack (1991), cuya unidad de medida es el octa y está definida de la siguiente manera: 0 = ausencia de nubes, 1 = 1 octa (1/8 del cielo cubierto); 2 = 2 octas (2/8 del cielo cubierto), hasta 8 octas que indica cielo completamente cubierto por nubes.

Fue determinada la humedad en la base de la pastura, de acuerdo a la metodología sugerida por Vickery *et al.* (1980), cuyas escalas son: seco: sin agua; húmedo: sin exceso de agua; y muy húmedo: exceso de agua (inundado).

of forage before cutting the material at ground level. The samples were dehydrated (Thelco® stove, model 6M, USA) at 60 °C until reaching a constant weight, for the calculation of biomass present in kg DM.ha<sup>-1</sup> (Paladines, 1992).

#### Variables under evaluation

On each sampling date, readings of macro climatic variables such as ambient temperature and relative humidity were made using a digital pocket thermo-hygrometer (TFA® - Model HT-30.5007, Germany) with precision for ambient temperature and relative humidity of 0.1 °C and 1 %, respectively. Cloudiness was determined according to the subjective method described by Retallack (1991), whose unit of measurement is octa and is defined as follows: 0 = absence of clouds, 1 = one octa (1/8 of the sky covered); 2 = two octas (2/8 of the sky covered), up to eight octas indicating a sky completely covered by clouds.

The humidity at the base of the pasture was determined, according to the methodology suggested by Vickery *et al.* (1980), whose scales are: dry: without water; wet: without excess water; and very humid: water in excess (flooded).

Aerial coverage (Toledo and Shultze-Kraft, 1982) and canopy height (Chacón *et al.*, 2006) were estimated at each sampling point prior to the use of the DS, where the biomass present by NDS was previously recorded. In the rainy season, the subjective green:dead ratio was additionally considered based on the proportion of senescent and green material observed per sampling

Se estimó en cada época cobertura aérea (Toledo y Shultze-Kraft, 1982) y altura del pasto (Chacón *et al.*, 2006) en cada punto de muestreo previo al empleo del MDE, donde previamente se registró la biomasa presente por MND. En la época de lluvias, fue considerada adicionalmente la relación verde:seco subjetiva en función la proporción del material senescente y verde observada por punto de muestreo. Posteriormente fue estimada esta relación, considerando el peso de cada fracción, según la metodología descrita por Chacón *et al.* (1977).

#### Análisis estadístico

Se generaron ecuaciones de calibración por regresión lineal simple entre la biomasa presente determinada por MDE y estimada por MND; y regresión lineal múltiple considerando las variables estructurales altura del pasto, cobertura aérea y relación verde:seco en cada época de muestreo y para cada lectura de referencia. Este último análisis se duplicó considerando adicionalmente el efecto de variables externas al modelo, las cuales correspondieron a variables macroclimáticas (nubosidad, temperatura ambiental y humedad relativa) registradas y la humedad en la base de la pastura. Para la regresión lineal múltiple, fueron realizados procedimientos para detectar posible multicolinealidad entre las variables explicativas. Aquellas ecuaciones múltiples que no muestran todas las variables antes mencionadas, no presentaron mejora en la estimación al ser estas incluidas, por lo cual no fueron consideradas en el modelo.

point. This ratio was subsequently estimated, considering the weight of each fraction, according to the methodology described by Chacón *et al.* (1977).

#### Statistical analysis

Simple linear regression calibration equations were generated between the present biomass determined by DS and estimated by NDS; and multiple linear regression considering the structural variables canopy height, canopy cover and green:dead ratio in each sampling period and for each reference reading. The latter analysis was duplicated considering additionally the effect of external variables to the model, which corresponded to the recorded macroclimatic variables (cloudiness, environmental temperature and relative humidity) and the humidity in the grassland base. For multiple linear regression, procedures were performed to detect possible multicollinearity between the descriptive variables. Multiple-regression equations that did not show improvement in the estimation when the aforementioned variables were included, were not considered in the model. All statistical analyses were performed using SPSS 15 software.

## Results and discussion

During drought, the simple linear model presented the highest coefficients of determination ( $p < 0.01$ ) for the estimation of forage biomass of *C. nlemfuensis* using the electronic capacitance meter (table 2). This estimate for both the dry and rainy seasons is considered low. According

Todos los análisis estadísticos fueron realizados empleando el software SPSS 15.

**Resultados y discusión**

Durante la sequía el modelo lineal simple presentó los mayores coeficientes de determinación ( $p < 0,01$ ) para la estimación de biomasa forrajera de *C. nlemfuensis* empleando el medidor de capacitancia electrónica (cuadro 2). Esta estimación tanto para la época de sequía como de lluvia, son consideradas bajas. Según Thomson (1983), una predicción satisfactoria de biomasa debe presentar un  $R^2$  superior a 0,70 en cualquier condición agroecológica. Esto sugiere que las características del pasto (variabilidad vertical) y/o la presencia de humedad por efecto de la época de lluvias, pudieron limitar la precisión en la predicción de biomasa realizada por el medidor de capacitancia electrónica.

to Thomson (1983), a satisfactory biomass prediction should have an  $R^2$  greater than 0.70 in any agroecological condition. This suggests that the characteristics of the grass (vertical variability) and / or the presence of humidity due to the rainy season, could limit the precision in the biomass prediction made by the electronic capacitance meter.

In this regard, some authors agree on the need to calibrate the electronic capacitance meter for biomass evaluation in each forage species. In addition, it should be carried out periodically based on variations in the forage structure throughout the year, variability of ecosystems, growth stages of the pasture and types of grazing management (Serrano *et al.*, 2011; 2016a; 2016b).

Regarding the multiple linear regression analysis during the dry season, increases ( $p < 0.01$ ) in the coefficient of determination were

**Cuadro 2. Ecuaciones de regresión lineal simple para biomasa estimada de *Cynodon nlemfuensis*.**

**Table 2. Simple linear regression equations for estimating biomass of *Cynodon nlemfuensis*.**

Lectura	Sequía		Lluvia	
	Modelo de regresión	$R^2$	Modelo de regresión	$R^2$
1	$Y = 2,01592X + 489,517$	0,26 *	$Y = 1,2299X + 1734,1$	0,05 <sup>NS</sup>
2	$Y = 2,28286X - 1432,93$	0,33 *	$Y = 0,0001X + 4364,1$	0,02 <sup>NS</sup>
3	$Y = 2,13737X - 2540,98$	0,37 *	$Y = 14229X - 46465$	0,13 <sup>NS</sup>
4	$Y = 2,28856X - 2396,40$	0,48 *	$Y = 381,51X + 5366,4$	0,05 <sup>NS</sup>
5	$Y = 2,71853X - 2392,47$	0,43 *	$Y = 28,132X + 5372,6$	0,00 <sup>NS</sup>

$R^2$ = Coeficiente de determinación; \*:  $p < 0,01$ ; NS: no significativo.

$R^2$  = coefficient of determination; \*:  $p < 0.01$ ; NS: not significant.

En este sentido algunos autores coinciden en la necesidad de calibrar el medidor de capacitancia electrónica para evaluación de biomasa en cada especie forrajera. Además, realizarla en forma periódica en función de variaciones en la estructura forrajera a lo largo del año, variabilidad de ecosistemas, estados de crecimiento del pasto y tipos de manejo del pastoreo (Serrano *et al.*, 2011; 2016a; 2016b).

observed (table 3), with respect to the results that did not consider the structural characteristics of the pasture.

The biomass estimated by the NDS with four of the types of pre-established readings in the equipment (reference readings 2, 3, 4 and 5), including structural characteristics such as canopy height and canopy cover within the generated model, allowed the increase in  $R^2$  ( $p < 0.01$ )

### Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal múltiple para para biomasa estimada de *Cynodon nlemfuensis* durante la época de sequía.

Table 3. Multiple linear regression equations for estimated biomass of *Cynodon nlemfuensis* during the dry season.

Lectura	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>	P
1	$Y = 1,35098X_1 + 86,3706X_2 - 892,409$	0,43	0,0000
2	$Y = 0,11367X_1 + 92,0391X_2 + 53,9533X_3 - 2626,12$	0,77	0,0000
3	$Y = 0,47377X_1 + 91,6345X_2 + 47,0170X_3 - 3450,19$	0,78	0,0000
4	$Y = 0,80716X_1 + 89,2870X_2 + 38,6691X_3 - 3686,76$	0,79	0,0000
5	$Y = 0,69472X_1 + 91,1565X_2 + 43,9152X_3 - 3421,96$	0,78	0,0000

$X_1$ = MND;  $X_2$ = altura de la pastura;  $X_3$ = cobertura aérea;  $R^2$ = coeficiente de determinación; P= Probabilidad.

$X_1$  = NDS;  $X_2$  = canopy height;  $X_3$  = canopy cover;  $R^2$  = coefficient of determination; P = Probability.

En relación al análisis de regresión lineal múltiple, durante la época seca, fueron observados incrementos ( $p < 0,01$ ) en el coeficiente de determinación (cuadro 3), con respecto a los resultados que no consideraron características estructurales del pasto.

La biomasa estimada por el MND con cuatro de los tipos de lecturas preestablecidas en el equipo (lecturas referenciales 2, 3, 4 y 5), incluyendo características estructurales como altura de la pastura y cobertura aérea dentro del modelo generado,

during drought. In all these cases, the  $R^2$  was greater than 0.70 (table 3). In other words, they can be considered satisfactory models in the forage biomass prediction of star grass.

During the dry season, canopy height and canopy cover presented averages of  $34.7 \pm 8.9$  cm and  $72.4 \pm 19.1\%$ , respectively. These variables are characteristics of the canopy that are easier to measure with little investment of time; and they are also significantly related to the behavior of forage biomass under the

permitieron el incremento del  $R^2$  ( $p < 0,01$ ) durante la sequía. En todos estos casos el  $R^2$  fue superior a 0,70 (cuadro 3). Es decir, pueden ser modelos considerados satisfactorios en la predicción de biomasa forrajera del pasto estrella.

Durante la época de sequía, la altura del pasto y cobertura aérea presentaron medias de  $34,7 \pm 8,9$  cm y  $72,4 \pm 19,1$  %, respectivamente. Estas variables son características del dosel de fácil medición con poca inversión de tiempo; y además de forma significativa están relacionadas con el comportamiento de la biomasa de forraje en las condiciones presentes. La variación en la altura del pasto podría estar relacionada en un 83 - 96 % con la variación de la biomasa presente y la cobertura aérea (Castillo *et al.*, 2009; López-Díaz *et al.*, 2011; Kallenbach, 2015). Este resultado permite afirmar la necesidad de calibrar el uso de estas metodologías de muestreo en función de la estructura del pasto en diferentes épocas del año.

El modelo de regresión lineal múltiple generado con la lectura preestablecida 4 para la época de sequía fue utilizado para estimar la relación lineal entre la biomasa observada y la biomasa predicha (figura 3), generando la ecuación  $Y = 0,9717x - 309,51$  con  $R^2$  de 0,90 ( $p < 0,01$ ). Este grado de asociación entre lo observado y estimado, podrá permitir el uso del modelo para su validación en condiciones tropicales similares tanto de crecimiento como de humedad específicamente para el pasto estrella.

present conditions. The 83-96 % of the variation in canopy height could be related to the variation in present biomass and the canopy coverage (Castillo *et al.*, 2009; López-Díaz *et al.*, 2011; Kallenbach, 2015). This result confirms the need for calibrating the use of these sampling methodologies based on the structure of the pasture at different times of the year.

The multiple linear regression model generated with the preset reading 4 for the dry season was used to estimate the linear relationship between the observed biomass and the predicted biomass (figure 3), generating the equation  $Y = 0.9717x - 309.51$  with  $R^2$  of 0.90 ( $p < 0.01$ ). This degree of association between what is observed and estimated may allow the model to be used for its validation in similar tropical conditions of both growth and humidity specifically for the star grass.

For the rainy season, the prediction equations considering pasture structural characteristics, presented higher determination coefficients than those presented for the simple linear regression at this season (table 4). Consistently, although with a low  $R^2$ , reading 4 is the one with the best association between DS and NDS.

In this case, the improvement in the estimation was observed when including in the regression equations, in addition to canopy height ( $45.9 \pm 7.4$  cm) and canopy cover ( $71.3 \pm 9.7$  %), the variables basal pasture coverage ( $42.4 \pm 13.9$  %) and the subjectively determined green:dead ratio ( $2.4 \pm 1.8$ ) that, in turn, presented a correlation of 0.83 ( $p < 0.01$ ) with the

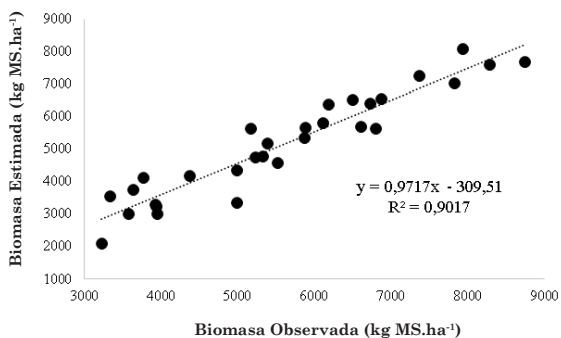


Figura 3. Relación entre la biomasa observada y biomasa estimada a partir del modelo de regresión lineal múltiple de la lectura referencial 4 empleada en época de sequía.

Figure 3. Relationship between observed biomass and estimated biomass from the multiple linear regression model of reference reading 4 used in the dry season.

Para la época de lluvias, las ecuaciones de predicción considerando características estructurales de pastura, presentaron coeficientes de determinación superiores a los presentados para la regresión lineal simple en esta época (cuadro 4). De forma consistente, aunque con bajo  $R^2$ , la lectura 4 es la que presentó mejor asociación entre el MDE y MND.

En este caso, la mejora en la estimación se observó al incluir en las ecuaciones de regresión además de altura de la pastura ( $45,9 \pm 7,4$  cm) y cobertura aérea ( $71,3 \pm 9,7$  %), las variables cobertura basal de la pastura ( $42,4 \pm 13,9$  %) y relación verde:seco subjetiva ( $2,4 \pm 1,8$ ) que presentó correlación de 0,83 ( $p < 0,01$ ) con la relación verde:seco determinada de forma destructiva. Sin embargo, estas ecuaciones no alcanzaron a predecir con un  $R^2$  mínimo de 0,70 considerado como satisfactorio para la estimación de biomasa a partir del medidor de capacitancia electrónica (Thomson, 1983).

destructively determined green:dead ratio. However, these equations failed to predict with a minimum  $R^2$  of 0.70 which is considered to be the satisfactory value for the estimation of biomass from the electronic capacitance meter (Thomson, 1983).

According to Thomson (1983) regardless of the forage species, its moisture content is one of the factors considered critical in the estimation of biomass present with the use of an electronic capacitance meter. That is, water (present in green tissues) has a higher dielectric potential than air and the woody parts of plants, which could generate interference in the dielectric differential calculated by the meter to estimate biomass present.

In this sense, any increase in the moisture content of the grass associated with its growth state, resting time or cutting season will affect the precision in the biomass estimation by the electronic capacitance meter. During drought



**Cuadro 4. Ecuaciones de regresión lineal múltiple para biomasa estimada de *Cynodon nlemfuensis* durante la época de lluvias.**

**Table 4. Multiple linear regression equations to estimate biomass of *Cynodon nlemfuensis* during the rainy season.**

Lectura	Modelo de regresión	R <sup>2</sup>	P
1	$Y = -0,3206X_1 + 52,0742X_2 + 38,2376X_3 - 9,6986X_4 - 1161,77X_5$	0,26	NS
2	$Y = -1,357E-05X_1 + 49,6119X_2 + 37,4373X_3 - 10,1581X_4 - 1079,79X_5$	0,26	NS
3	$Y = 11590,0X_1 + 26,1671X_2 + 39,5590X_3 - 756,357X_5$	0,31	NS
4	$Y = 609,209X_1 + 29,5242X_2 + 56,9325X_3 - 7,1829X_4 - 969,884X_5$	0,36	0,04
5	$Y = -198,988X_1 + 56,6631X_2 + 35,3582X_3 - 10,5868X_4 - 1031,53X_5$	0,27	NS

X<sub>1</sub>= MND; X<sub>2</sub>= Altura de la pastura; X<sub>3</sub>= Cobertura aérea; X<sub>4</sub>= Cobertura basal; X<sub>5</sub>= Relación verde: seco; R<sup>2</sup>= coeficiente de determinación; P= Probabilidad.

X<sub>1</sub> = NDS; X<sub>2</sub>=canopy height; X<sub>3</sub> = canopy cover; X<sub>4</sub> = Basal coverage; X<sub>5</sub> = Green:dry ratio; R<sup>2</sup> = coeficiente of determination; P = Probability.

Según Thomson (1983) independientemente de la especie forrajera, su contenido de humedad es uno de los factores considerados como crítico en la estimación de biomasa presente con el uso de medidor de capacitancia electrónica. Es decir, el agua (presente en tejidos verdes) presenta un mayor potencial dieléctrico que el aire y que partes leñosas de las plantas, lo que podría generar interferencia en el diferencial dieléctrico calculado por el medidor para estimar biomasa presente.

En este sentido, cualquier aumento en el contenido de humedad del pasto asociado a su estado de crecimiento, tiempo de descanso o época de corte afectará la precisión en la estimación de biomasa por el medidor de capacitancia electrónica. Durante la sequía y lluvia, el contenido de humedad promedio del pasto estrella fue  $57,5 \pm 3,5$  y  $64,7 \pm 6,4$  %, respectivamente, incremento que en

and rain, the average moisture content of star grass was  $57.5 \pm 3.5$  and  $64.7 \pm 6.4$  %, respectively, an increase that in rainfall could have influenced the precision of the estimation.

When the effects of external variables were considered in the multiple linear regression model, a slight increase in R<sup>2</sup> (p<0.01) was recorded in reading 4 for the rainy season, particularly when considering the degree of humidity in the pasture base (table 5). Although this R<sup>2</sup> is significant, it is not considered satisfactory to predict forage biomass from the NDS. According to Serrano *et al.* (2019), the electronic capacitance meter is a tool that can allow the producer to instantaneously estimate the biomass, supporting the decision-making process in pasture management during periods of drought. This is not the case during the rainy season, due to the interferences that the humidity conditions generate during the measurements.

las lluvias pudo haber influenciado la precisión en la estimación.

Cuando fueron considerados los efectos de variables externas en el modelo de regresión lineal múltiple, un leve incremento en el  $R^2$  ( $p < 0,01$ ) fue registrado en la lectura 4 para la época de lluvias, principalmente al considerar el grado de humedad en la base de la pastura (cuadro 5). Este  $R^2$  aun cuando es significativo, no es considerado satisfactorio para predecir la biomasa forrajera a partir del MND. Según Serrano *et al.* (2019), el medidor de capacitancia electrónica es una herramienta que puede permitir al productor estimar la biomasa instantánea, para sustentar el proceso de toma de decisiones en el manejo del pasto en períodos de sequía. Esto, debido a las interferencias que las condiciones de humedad generan durante las mediciones.

## Conclusions

The simple linear regression model for estimating the present biomass of *C. nlemfuensis* pre-grazing from the use of the electronic capacitance meter, does not generate accurate information under the conditions of the Premontane Dry Forest.

The precision of the electronic capacitance meter when estimating pre-grazing biomass of *C. nlemfuensis* during drought, increases upon the inclusion of structural variables such as canopy height and aerial cover within the multiple linear model. The reference reading of the capacitance meter identified with number 4 (described as Early Autumn) shows better results for the dry season for this species.

During the rainy season, the accuracy of the electronic capacitance

### Cuadro 5. Coeficientes de determinación para regresión lineal múltiple para biomasa estimada de *Cynodon nlemfuensis* considerando variables climáticas externas al modelo.

Table 5. Determination coefficients for multiple linear regression to estimate biomass of *Cynodon nlemfuensis* climatic variables external to the model.

Lectura	Sequía				Lluvia			
	HB	NUB	HR	TEMP	HB	NUB	HR	TEMP
1	0,43 *	0,61 *	0,64 *	0,64 *	0,31 NS	0,25 NS	0,27 NS	0,25 NS
2	0,77 *	0,77 *	0,78 *	0,77 *	0,31 NS	0,25 NS	0,27 NS	0,25 NS
3	0,78 *	0,78 *	0,78 *	0,78 *	0,36 **	0,33 NS	0,34 NS	0,32 NS
4	0,80 *	0,80 *	0,80 *	0,80 *	0,41 *	0,36 **	0,36 **	0,34 **
5	0,78 *	0,78 *	0,80 *	0,78 *	0,31 **	0,27 NS	0,28 NS	0,26 NS

HB: humedad en la base de la pastura; NUB: nubosidad; HR: humedad relativa; TEMP: temperatura ambiental. \* Significativo ( $p < 0,01$ ); \*\* Significativo ( $p < 0,05$ ); NS: no significativo.

HB: humidity at the base of the pasture; NUB: cloudiness; HR: relative humidity; TEMP: ambient temperature. \* Significant ( $p < 0.01$ ); \*\* Significant ( $p < 0.05$ ); NS: not significant.

## Conclusiones

El modelo de regresión lineal simple para la estimación de biomasa presente de *C. nlemfuensis* pre-pastoreo a partir del uso del medidor de capacitancia electrónica, no genera información precisa en las condiciones de Bosque Seco Premontano.

La precisión del medidor de capacitancia electrónica al estimar biomasa pre-pastoreo de *C. nlemfuensis* durante la sequía, incrementa considerando dentro del modelo lineal múltiple variables estructurales como altura del pasto y cobertura aérea. La lectura referencial del medidor de capacitancia identificada con el número 4 (descrita como Principios de Otoño) presenta mejores resultados en época de sequía para esta especie.

Durante la época de lluvias, la precisión del medidor de capacitancia electrónica es considerada baja, aun adicionando variables asociadas al clima y la pastura. El contenido de humedad del pasto es determinante para la estimación de biomasa en esta época.

El medidor de capacitancia electrónica resulta poco sensible a variaciones dadas por variables ambientales y humedad de la base de la pastura para la estimación de biomasa pre-pastoreo de *C. nlemfuensis* en condiciones de Bosque Seco Premontano.

## Fuente de financiación

Se agradece al Decanato de Investigación de la Universidad Nacional Experimental del Táchira

meter is considered to be low, even with the addition of variables associated with climate and pasture. The moisture content of the grass is decisive for the estimation of biomass at the rainy season.

The electronic capacitance meter is not very sensitive to variations given by environmental variables and the humidity of the pasture base for estimating the pre-grazing biomass of *C. nlemfuensis* in conditions of the Dry Premontane Forest.

## Funding source

We thank the Research Dean of the National Experimental University of Táchira for the financial support in the execution of the project identified as N° 02-007-09.

## End of English Version

por el apoyo económico en la ejecución del proyecto identificado con el N° 02-007-09.

## Literatura Citada

- Agnusdei, M.G. 2013. Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas. Arch. Latinoam. Prod. Anim. 21(1): 63 - 78.
- Andersson, K., M. Trotter, A. Robson, D. Schneider L. Frizell, A. Saint, D. Lamb and C. Blore. 2017. Estimating pasture biomass with active optical sensors. Adv. Anim. Biosc. 8(2): 754-757.
- Andueza, D., A.M. Rodrigues, F. Picard, N. Rossignol, R. Baumont, U. Cecato and A. Farruggia. 2015. Relationships between botanical composition, yield and forage quality of permanent grasslands over the first growth cycle. Grass and Forage Sci. 71(3): 366- 378.

- Braga, G.J., C.G.S. Pedreira, V.R. Herling, P.H.C. Luz, W.A. Marchesin and F.B. Macedo. 2009. Quantifying herbage mass on rotationally stocked palisadegrass pastures using indirect methods. *Sci. Agric.* 66(1): 127 - 131.
- Castillo Gallegos, E., B. Valles de la Mora y J. Jarillo Rodríguez. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Tec. Pecu. Mex.* 47(1): 79-92.
- Chacón. E., A. Baldizán e I. Arriojas. 2006. Metodologías para el estudio de sistemas agrosilvopastoriles (Fundamentos teóricos). p. 1-16. En: Baldizán, A. (Ed.). I Simposio sobre silvopastoreo en Venezuela. Universidad Rómulo Gallegos. Guárico, Venezuela.
- Chacón, E., T. Stobbs and K. Haydock. 1977. Estimation of leaf and stem contents of oesophageal extrusa samples from cattle. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43(1/2): 73-75.
- Corporación de los Andes (CORPOANDES). 2007. Corporación de los Andes Táchira. Disponible en: <http://www.corpoandes.gov.ve/%3Fq%3Dnode/60>. pp. 24-26. Fecha de consulta: abril 2011.
- Currie, P.O., T.O. Hilken and R.S. White. 1987. Evaluation of a single probe capacitance meter for estimating herbage yield. *J. Range Manage.* 40(6): 537-541.
- Herrera, A.M. y R.E. Mora. 2013. Determinación de masa de forraje. p. 273-280. En: Perozo Bravo, A. (Ed.). Manejo de Pastos y Forrajes Tropicales. Cuadernos Científicos Girarz 13. Fundación Girarz. Ediciones Astro-Data S.A. Maracaibo, Venezuela.
- Holdridge L. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica. 206 p.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). Boletín Climatológico enero, febrero, mayo y junio de 2014. Disponible en: <http://www.inameh.gob.ve/web/index.php>. Fecha de consulta: diciembre 2015.
- Kallenbach, R.L. 2015. Describing the dynamic: Measuring and assessing the value of plants in the pasture. *Crop Sci.* 55(6): 2531-2539.
- López-Díaz, J.E., A.I. Roca-Fernández and A. González-Rodríguez. 2011. Measuring herbage mass by non-destructive methods: A review. *J. Agric. Sci. Technol.* 1(7): 303 - 314.
- López, J., A. Gonzáles y O. Vásquez. 2008. Revisión de métodos no destructivos de estimación de biomasa aérea en pastos. p. 315-319. En: Consejería de Agricultura y Pesca (Eds.). Pastos, clave en la gestión de los territorios: Integrando disciplinas. Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Manual Jenquip. 2003. Pasture Probe. User Manual. 44 p.
- Paladines O. 1992. Metodologías de Pastizales. Proyecto de Fomento Ganadero PROFOGAN. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Deutsche Gessellschaft für technische Zusammenarbeit. Serie metodología manual. N° 1: Pastos y forrajes. Convenio Ecuatoriano-Alemán. Quito. Ecuador. 219 p.
- Rayburn, E., J. Lozier, M. Sanderson, B. Smith, W. Shockey, D. Seymore, and S. Fultz. 2007. Alternative methods of estimating forage height and sward capacitance in pastures can be cross calibrated. *Forage and Grazinglands Res.* 5(1):1 - 6.
- Retallack, B.J. 1991. Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV: Meteorología. Segunda Edición. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. 369 p.
- Sanderson M., C. Rotz, S. Fultz and E. Rayburn. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter and pasture ruler. *Agron. J.* 93(6): 1281 - 1286.
- Serrano, J., S. Shahidian, F. Moral and J.M. Silva. 2019. Long-term evaluation of the Grassmaster II probe to estimate productivity of pastures. p. 631-637. In: Stafford, J.V. (Ed.) 12th European Conference on

- Precision Agriculture. Montpellier, France.
- Serrano, J.M., J.R.M Silva and S. Shahidian. 2011. Calibration of a capacitance probe for measurement and mapping of dry matter yield in Mediterranean pastures. *Precision Agric.* 12(6): 860 - 875.
- Serrano, J.M., S. Shahidian and J.R.M Silva. 2016a. Calibration of Grassmaster II to estimate green and dry matter yield in Mediterranean pastures: effect of pasture moisture content. *Crop Pasture Sci.* 67(7): 780 - 791.
- Serrano, J.M., S. Shahidian and J.R.M Silva. 2016b. Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. *Environ. Monit. Assess.* 188(2): 1 - 17.
- Suzuki, Y, H. Okamoto, M. Takahashi, T. Kataoka and Y. Shibata. 2012. Mapping the spatial distribution of botanical composition and herbage mass in pastures using hyperspectral imaging. *Grassland Sci.* 58(1): 1 - 7.
- Thomson, N.A. 1983. Factors influencing the accuracy of herbage mass determinations with a capacitance meter. *New Zeal. J. Exp. Agr.* 11(2): 171 - 176.
- Toledo, J. and R. Shultze-Kraft. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos y forrajes. p. 91-110. En: Toledo, J.M. (Ed.). *Manual para la Evaluación Agronómica. Red internacional de evaluación de pastos y forrajes*, CIAT. Cali, Colombia.
- Vickery P., I. Bennet and G. Nicol. 1980. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass Forage Sci.* 35(3): 247 - 252.