

## Estimación del área foliar específica en pasto cayman (*Brachiaria* híbrido)

Danny Villegas Rivas\* , Nora Valbuena Torres<sup>2</sup>, Manuel Milla Pino<sup>3</sup> , Yamir Terán<sup>2</sup>,  
Yary Pérez Pérez<sup>4</sup> , Salli Villegas Rivas<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Forestal y Ambiental. Cajamarca, Perú. <sup>2</sup>Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Guanare, Venezuela. <sup>3</sup>Universidad Nacional de Jaén, Facultad de Ingeniería Civil. Cajamarca, Perú. <sup>4</sup>Universidad Politécnica Territorial de Portuguesa “JJ Montilla”, Programa Nacional de Formación Agroalimentaria. Guanare, Venezuela. <sup>5</sup>Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Programa de Ciencias Sociales. Guanare, Venezuela. \*Correo electrónico: danny\_villegas1@yahoo.com

### RESUMEN

Estimar el área foliar es parte fundamental en ensayos con especies forrajeras. En tal sentido, la presente investigación se centró en comparar modelos para estimar el área foliar específica en pasto Cayman (*Brachiaria* híbrido). Para tales fines se llevó a cabo un ensayo durante la época seca con pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman. La estimación del área foliar específica se realizó a través de modelos de regresión lineal (simple, cuadrático, cúbico, múltiple y exponencial) en función del ancho y largo de la hoja. Los resultados mostraron que el mejor modelo para estimar el área foliar específica en este híbrido es el modelo lineal múltiple. Finalmente, la metodología empleada en esta investigación sugiere que, además del coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$ ), los mejores criterios para seleccionar modelos para la estimación del área foliar específica en pasto *B.* híbrido cv. Cayman son el índice de entropía (AIC) y el error estándar residual.

**Palabras clave:** gramíneas forrajeras, regresión lineal múltiple, área foliar, entropía, error estándar residual.

---

## Estimation of the specific leaf area in cayman grass (*Brachiaria* hybrid)

### ABSTRACT

Estimating the leaf area is a fundamental part of trials with forage species. In this sense, the present investigation focused on comparing models to estimate the specific leaf area in Cayman grass (*Brachiaria* híbrido). For such purposes, a trial was carried out during the dry season with *Brachiaria* hybrid cv. Cayman. The estimation of the specific leaf area was made through linear regression models (simple, quadratic, cubic, multiple and exponential) depending on the width and length of the leaf. The results showed that the best model to estimate the specific leaf area in this hybrid is the multiple linear model. Finally, the methodology used in this research suggests that, in addition to the model determination coefficient ( $R^2$ ), the best criteria for selecting models for estimating the specific leaf area in *B.* hybrid cv. Cayman are the entropy index (AIC) and the residual standard error.

**Key words:** forage grasses, multiple linear regression, leaf area, entropy, residual standard error

## INTRODUCCIÓN

En Venezuela, la alimentación del rebaño en las explotaciones bovinas de doble propósito está basada principalmente en el pastoreo de gramíneas (Márquez *et al.* 2007). El conocimiento de la dinámica de crecimiento de una especie forrajera en las diferentes épocas del año, es una metodología útil para una mejor planeación y aprovechamiento del cultivo para obtener los mayores rendimientos y material vegetal de buena calidad nutritiva (Montes *et al.* 2016). Así mismo, para la producción de forraje se han utilizado diversas especies y variedades de hábito de crecimiento rastrero o erecto, entre ellas las del género *Brachiaria*, por lo que resulta de gran interés conocer su dinámica de crecimiento en diferentes condiciones edafoclimáticas, con la finalidad de establecer mecanismos que ayuden a su mejor utilización y manejo (Villegas *et al.* 2019a).

En sistemas de producción animal, especialmente en pastos es necesario tener una visión integral, y esto es posible a través del uso de modelos que permitan describir las complejas dinámicas asociadas al crecimiento de las plantas. En tal sentido, si deseamos medir la bioproduktividad de un ecosistema natural o cultivo agrícola, el componente de interés final es la producción primaria neta o el rendimiento total de las partes aéreas y subterráneas (Beadle 1993). Es por ello que, en las investigaciones en el área agronómica, en cultivos, plantaciones forestales, y en especial en plantas forrajeras es de vital importancia para los investigadores estimar parámetros como biomasa foliar y el área foliar (Villegas *et al.* 2019b).

El área foliar es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón del área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso del nitrógeno (Bulyneck *et al.* 1999). Asimismo, el área foliar se define como la superficie de las hojas de las plantas medidas en el haz o envés; mientras que el área foliar específica se refiere a la cantidad de área de hoja que existe por unidad de peso de la misma (Ruiz 2015). El área foliar se asocia con muchos procesos agronómicos y fisiológicos que incluyen el crecimiento, fotosíntesis, transpiración, fotones entre la percepción y el balance de energía. Además, es uno de los

parámetros más importantes en la evaluación del crecimiento de las plantas.

Existen parámetros vegetales como la biomasa foliar y el área foliar específica (AFE  $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ ), los cuales, son fáciles de medir y están muy correlacionados con la tasa de crecimiento del cultivo (Evans 1972, Poorter y Remkes 1990, Körner 1991, Cornelissen *et al.* 1996). Este tipo de parámetros a menudo han sido pasados por alto, tal es el caso de la AFE, definida como la razón entre el área foliar y el peso de la hoja; es un índice del espesor y densidad de la hoja (Hunt 1990), o bien, es la medida de la foliosidad de la planta con base en el peso seco (Beadle 1988).

Se han desarrollado varios métodos para la determinación del área foliar en diferentes cultivos (Zanchi *et al.* 2009, Chirinos *et al.* 1997, Bianco *et al.* 2005, Martín *et al.* 2006, Pentón *et al.* 2006), donde se pueden utilizar equipos como los planímetros que miden este parámetro, pero su elevado costo no los hace de fácil disponibilidad; por lo tanto, se han evaluado otros métodos como la medición de largo y ancho de las hojas y la aplicación de regresiones (Galindo y Clavijo 2007).

Se han encontrado relaciones sencillas para determinar el área foliar de gramíneas como la obtenida por Solórzano (2008) en sorgo. Kemp (1960) en investigaciones realizadas sobre diferentes tipos de pasturas y otras especies, encontró diferentes ecuaciones de regresión en cuatro variedades de pastos que fueron evaluadas. En tal sentido, el objetivo de este trabajo es estimar el área foliar específica (AFE) mediante modelos de regresión en pasto Cayman (*Brachiaria* híbrido) en época de sequía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en una finca en Portuguesa, Venezuela, ( $8^{\circ}54'49.5072 \text{ N}; 69^{\circ}26'58.5675 \text{ O}$ ), destinada a la explotación bovina de cría y ceba. El clima presentó una precipitación promedio anual de 1.847,3 mm, los meses más lluviosos ocurren durante abril - septiembre y los secos de enero a marzo; la temperatura oscila entre 26 y 30 °C, la zona se caracteriza como Bosque Seco Tropical según Holdridge (1967). La investigación se realizó durante la época seca (enero a abril, 2017). Los suelos presentaron pH 4,6 (fuertemente ácido), materia orgánica; 0,06 % (baja),

fosforo; 8,6 ppm (bajo), potasio; 106 ppm (medio), calcio; 976 ppm (bajo), magnesio; 282 ppm (bajo), y textura arcillo limosa (AL), por lo que presenta características de un suelo ácido infértil. Se escogió un área monoespecífica con pasto *B. híbrido cv. Cayman* con dimensiones de 900 m<sup>2</sup> (30 x 30) con un año de sembrada, el material utilizado fue semilla certificada incrustada comercial de *B. híbrido cv. Cayman*.

El área bajo estudio fue cercada y se controlaron las malezas con herbicidas para hoja ancha durante el estudio. Antes de delimitar las parcelas se uniformizó la pastura con una rotativa a 15 cm del suelo. Posteriormente se dividió en cuatro bloques de 150 m<sup>2</sup> (30 m x 5 m). Antes del corte de uniformidad, se seleccionaron y cortaron 150 hojas al azar de cada área de estudio (Figura 1).



Figura 1. Hojas de *Brachiaria* híbrido cv. Cayman seleccionadas al azar.

A cada hoja se determinó el largo (L) desde la lígula hasta el ápice, la medida se realizó con una regla en centímetros, el ancho (A) se midió del punto medio del largo de la hoja, se utilizó una regla en centímetros (ver Figura 2), y el área foliar se calcó sobre un papel milimetrado la silueta de cada lamina foliar sin causar daño ni destrucción del tejido; posteriormente se midió el área contando directamente los cuadros englobados en el perímetro de la hoja en cm<sup>2</sup> (Schaeffer-Noveli y Cintron 1986). Así mismo, se tomaron los pesos secos de las hojas.

La estimación del área foliar específica (AFE) se realizó a través de modelos de regresión lineal (lineal simple,



Figura 2. Determinación del largo y ancho de las hojas de *Brachiaria* híbrido cv. Cayman.

cuadrático, cúbico, lineal múltiple y exponencial) en función del ancho y largo de la hoja (Cuadro 1).

En ese sentido, Beadle (1993) señala que el AFE (m<sup>2</sup>. kg<sup>-1</sup>) mide la frondosidad de una planta en base al peso seco. Esto puede disminuir sistemáticamente con el tiempo a medida que las hojas maduran, pero aumenta sistemáticamente con la profundidad en el dosel a medida que disminuye la luz disponible

Cuadro 1. Modelos considerados para estimar el área foliar específica (m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>) en pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman en función del largo y ancho de la hoja.

| Modelo          |   |
|-----------------|---|
| Lineal simple   | $AFE = \beta_0 + \beta_1 L$                             |
| Cuadrático      | $AFE = \beta_0 + \beta_1 L + \beta_2 L^2$               |
| Cúbico          | $AFE = \beta_0 + \beta_1 L + \beta_2 L^2 + \beta_3 L^3$ |
| Lineal simple   | $AFE = \beta_0 + \beta_1 A$                             |
| Cuadrático      | $AFE = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 A^2$               |
| Cúbico          | $AFE = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 A^2 + \beta_3 A^3$ |
| Lineal múltiple | $AFE = \beta_0 + \beta_1 L + \beta_2 A$                 |
| Exponencial     | $AFE = \beta_0 e^{\beta_1 * L}$                         |
| Exponencial     | $AFE = \beta_0 e^{\beta_1 * A}$                         |

para el desarrollo de las hojas y la intercepción de la luz. Además de los criterios clásicos de selección de modelos como lo son el coeficiente de ajuste ( $R^2$ ) y el error estándar residual (EER), se empleó el criterio de información de Akaike (AIC), el cual fue propuesto por Akaike (1974), y puede ser caracterizada por una medida de entropía del modelo (González y Landro 2018), y según Gómez *et al.* (2019) permiten la selección de la estructura óptima de covarianza, lo que evidencia un mejor ajuste del modelo.

El criterio de información Akaike (AIC) se define mediante la siguiente función:

$$AIC_{(k)} = -2 \ln L[\hat{\theta}_{(k)}] + 2k$$

Donde  $L[\hat{\theta}_{(k)}]$  es la función de máxima verosimilitud,  $\hat{\theta}_{(k)}$  la estimación máxima verosímil del vector  $\theta$  que contiene los parámetros del modelo y en este caso  $k$  representa el número de parámetros estimados del modelo. En la ecuación que permite determinar el criterio de información AIC, el término  $-2 \ln L[\hat{\theta}_{(k)}]$  es interpretado como una medida de bondad de ajuste, mientras que  $2k$  es una penalización creciente conforme aumenta el número de parámetros

del modelo. Según este criterio, el mejor modelo, es aquel con menor valor de AIC. Este criterio no pretende identificar el modelo verdadero, sino el mejor modelo entre los modelos considerados. Los análisis estadísticos fueron realizados en el entorno de libre acceso R (R Core Team 2020).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 y las Figuras 3, 4 y 5 se observa que el modelo lineal múltiple que considera ambas variables, las cuales reportaron valores promedios para el largo = 24,66 cm y ancho de la hoja = 1,6486 cm, con desviaciones estándar de  $\pm 5,381$  y  $\pm 0,0311$ , respectivamente, fue el que mostró el mejor ajuste ( $R^2 = 9,798 \times 10^{-1}$ ) y el menor error estándar residual (EER =  $1,933 \times 10^{-4}$ ), mientras que, los modelos lineal simple, cuadrático, cúbico y el modelo exponencial (este último solapado sobre los modelos e imposibilitando su clara visualización), que consideran como variables regresoras, bien sea únicamente el largo o el ancho de la hoja mostraron un ajuste inferior entre  $R^2 = 5,904 \times 10^{-1}$  y  $R^2 = 7,49 \times 10^{-1}$ .

Cuadro 2. Comparación de modelos lineales para estimar el área foliar específica ( $m^2 \cdot g^{-1}$ ) en pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman en función del largo y ancho de la hoja.

| Modelo          | Coeficientes            |                          |                         |                         | $R^2$                  | AIC    | Error estándar residual |
|-----------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------|-------------------------|
|                 | $\beta_0$               | $\beta_1$                | $\beta_2$               | $\beta_3$               |                        |        |                         |
| Lineal simple   | $-1,037 \times 10^{-3}$ | $2,102 \times 10^{-4}$   |                         |                         | $7,239 \times 10^{-1}$ | 1220,2 | $7,113 \times 10^{-4}$  |
| Cuadrático      | $-4,578 \times 10^{-4}$ | $1,573 \times 10^{-4}$   | $1,139 \times 10^{-6}$  |                         | $7,246 \times 10^{-1}$ | 1218,4 | $7,139 \times 10^{-4}$  |
| Cúbico          | $-1,460 \times 10^{-3}$ | $3,013 \times 10^{-4}$   | $-5,406 \times 10^{-6}$ | $9,501 \times 10^{-8}$  | $7,248 \times 10^{-1}$ | 1233,8 | $7,172 \times 10^{-4}$  |
| Lineal simple   | $-1,379 \times 10^{-3}$ | $3,34 \times 10^{-3}$    |                         |                         | $6,114 \times 10^{-1}$ | 1184,3 | $8,439 \times 10^{-4}$  |
| Cuadrático      | $-5,147 \times 10^{-3}$ | $8,0494 \times 10^{-3}$  | $-1,414 \times 10^{-3}$ |                         | $6,301 \times 10^{-1}$ | 1216,5 | $8,273 \times 10^{-4}$  |
| Cúbico          | $7,461 \times 10^{-3}$  | $-1,6061 \times 10^{-2}$ | $1,3414 \times 10^{-2}$ | $-2,943 \times 10^{-3}$ | $6,485 \times 10^{-1}$ | 1190,8 | $8,105 \times 10^{-4}$  |
| Lineal múltiple | $-3,682 \times 10^{-3}$ | $1,611 \times 10^{-4}$   | $2,328 \times 10^{-3}$  |                         | $9,798 \times 10^{-1}$ | 1492,8 | $1,933 \times 10^{-4}$  |
| Exponencial     | -7,010239               | $5,9293 \times 10^{-2}$  |                         |                         | $7,49 \times 10^{-1}$  | 49,014 | $1,88 \times 10^{-1}$   |
| Exponencial     | -7,05358                | $9,1231 \times 10^{-1}$  |                         |                         | $5,904 \times 10^{-1}$ | 2,4196 | $2,402 \times 10^{-1}$  |

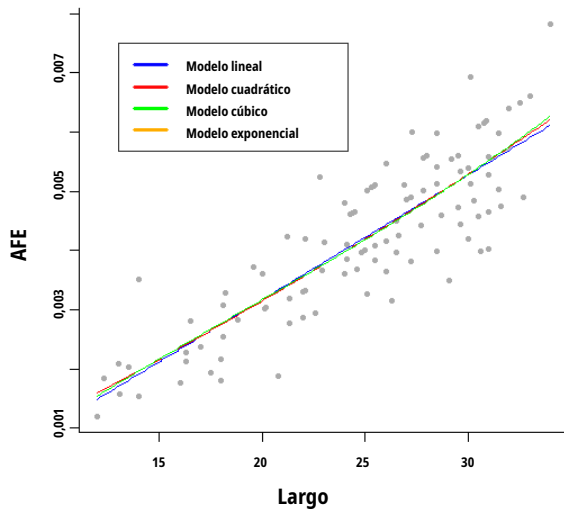


Figura 3. Ajuste de modelos lineales para estimar el área foliar específica ( $m^2.g^{-1}$ ) en pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman.

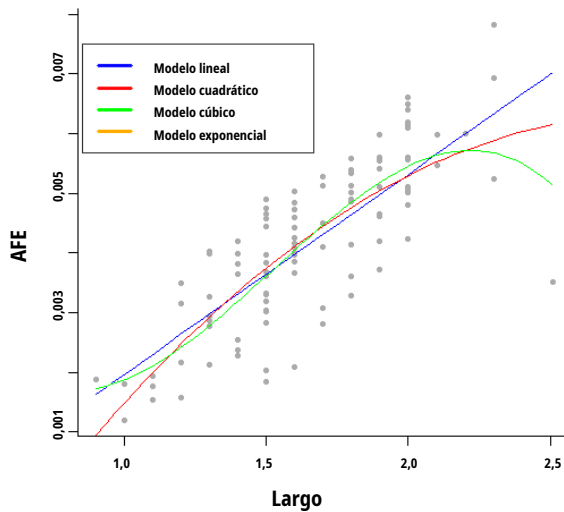


Figura 4. Ajuste de modelos lineales para estimar el área foliar específica ( $m^2.g^{-1}$ ) en pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman en función del ancho de la hoja

No obstante, en relación a la entropía del modelo, representada por el AIC, el modelo exponencial mostró una menor entropía en relación al resto de los modelos considerados, lo que se traduce en estimadores con varianzas más estables. Sin embargo, a la hora de seleccionar el modelo más adecuado para estimar el área foliar específica en pasto *B.*

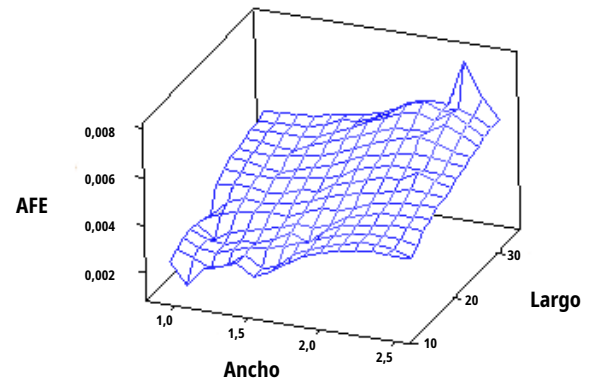


Figura 5. Ajuste de un modelo lineal múltiple para estimar el área foliar específica ( $m^2.g^{-1}$ ) en pasto *Brachiaria* híbrido cv. Cayman en función del largo y ancho de la hoja

híbrido cv. Cayman en función del largo y ancho de la hoja, los criterios que miden la bondad de ajuste del modelo ( $R^2$ ) y el error estándar residual, permiten tener una mejor visión al respecto, con lo cual se puede sugerir que el mejor modelo para estimar el área foliar específica en éste híbrido es el modelo lineal múltiple ( $AFE = \beta_0 + \beta_1 largo + \beta_2 ancho$ ), ya que, además de reportar un coeficiente de determinación elevado, es el modelo que muestra el menor error estándar residual.

El modelo antes señalado presenta evidencias que conducen a pensar que los estimadores del modelo antes referido son de varianza mínima. Estos resultados difieren de los reportados por Bianco et al. (2005), quienes en un ensayo para estimar el área foliar en una especie de *Brachiaria*, sugieren que el mejor modelo para tales fines es el lineal simple. Esto coincide con lo señalado en varios trabajos en pastos, como los realizados por Del Pozo et al. (1998), quienes también encontraron una alta relación entre el área foliar y el largo y ancho de la hoja en el pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis*). No obstante, es importante considerar lo señalado por Banner y Higgs (2017), quienes advierten que, aunque la inferencia a partir de varios modelos nos puede ayudar a reducir la incertidumbre en el modelado ecológico, existe un debate activo sobre sus limitaciones reales y las circunstancias en las cuales se puede aplicar de forma segura. Del mismo modo, Gutiérrez-Cánovas

y Escribano-Ávila (2019) señalan que, en cualquier caso, se debe cuidar en la selección de variables explicativas y modelos, y evitar el uso del AIC como un sistema automático (no supervisado) de selección de modelos.

### CONCLUSIONES

Los parámetros que determinaron el área foliar específica en pasto *B. híbrido* cv. Cayman fueron el largo y ancho de la hoja. Así mismo, el mejor modelo para estimar el área foliar específica (AFE) en éste híbrido fue el modelo lineal múltiple. Por su parte, la metodología empleada en esta investigación sugiere que, además del coeficiente de determinación del modelo ( $R^2$ ), los mejores criterios para seleccionar modelos para la estimación del área foliar específica en pasto *B. híbrido* cv. Cayman son el índice de entropía (AIC) y el error estándar residual.

Finalmente, en virtud de los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda un estudio más exhaustivo que involucre otras variedades de pasto del género *Brachiaria* que permitan verificar la consistencia de los estimadores, así como seguir probando con el modelo exponencial en función del largo de la hoja, ya que aun cuando el ajuste se ubicó muy por debajo del modelo lineal múltiple, éste modelo es el que exhibe los estimadores más estables dentro del grupo de modelos considerados en esta investigación.

### LITERATURA CITADA

- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical identification model. *IEEE Transactions on Automatic Control* 19(6):716-723.
- Banner, KM; Higgs, MD. 2017. Considerations for assessing model averaging of regression coefficients. *Ecological Applications* 27(1):78-93.
- Beadle, CL. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. *In*: Coombs, J; Hall, DO; Long, SP; Scurlock, JMO. (eds.). *Técnicas en fotosíntesis y bioproduktividad*. México, México, Editorial Futura. p.17-21.
- Beadle, CL. 1993. Growth analysis (en línea). *In*: Hall, DO; Scurlock, JMO; Bolhar-Nordenkampf, HR; Leegood, RC; Long, SP. (eds.). *Photosynthesis and Production in a Changing Environment*. Dordrecht. Netherlands. Springer. p.36-46. Consultado 10 sep. 2020. Disponible en: <https://bit.ly/33Rs13Y>
- Bianco, S; Pitelli, R; Bianco, M. 2005. Estimativa da área foliar de *Brachiaria plantaginea* usando dimensões lineares do limbo foliar. *Planta daninha* 23(4):597-601.
- Bulyneck, I; Fiorani, F; Lambers, H. 1999. Control of leaf growth and its role in determining in variation in plant growth rate from an ecological perspective. *Plant Biology* 1(1):13-18.
- Chirinos, DT; Torres, L; Geraud-Pouey, F; Castejón, O; Fernández, RE; Vergara, JA; Mármol, LE. y Chirinos-Torres, D. 1997. Modelos para estimar el área foliar de melón híbrido 'Durango'. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 14:163-171.
- Cornelissen, JHC; Castro-Diez, P; Hunt, R. 1996. Seedling growth, allocation and leaf attributes in a wide range of woody plant species and types. *Journal of Ecology* 84(5):755-765.
- Del Pozo, PP. 1998. Análisis del crecimiento del pasto estrella (*C. nlemfuensis*) bajo condiciones de corte y pastoreo. Tesis Dr. La Habana, Cuba, Instituto de Ciencia Animal. 133 p.
- Evans, GC. 1972. *The quantitative analysis of plant growth*. Oxford, Inglaterra, Blackwell Scientific. 659 p.
- Galindo, JR; Clavijo, J. 2007. Modelos alométricos para estimar el área de los folíolos de arveja (*Pisum sativum* L.). *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 8(1):37-43.
- Gómez, S; Torres, V; Medina, Y; Rodríguez, Y; Sardiñas, Y; Herrera, M; Rodríguez, R. 2019. Aplicación del Modelo Lineal Mixto y Lineal Generalizado Mixto, como alternativas de análisis en experimentos con medidas repetidas. *Cuban Journal of Agricultural Science* 53(1):7-12.
- González, M; Landro, A. 2018. Criterios de información y complejidad estocástica. *Revista de Investigación en Modelos Financieros* 1:21-40.
- Gutiérrez-Cánovas, C; Escribano-Ávila, G. 2019. Inferencia estadística a partir de varios modelos y su utilidad en ecología. *Ecosistemas* 28(1):118-120.

- Holdridge, LR. 1967. Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica. 206 p.
- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis: plant growth analysis for beginners. Londres, Inglaterra, Unwin Hyman. 112 p.
- Kemp, CD. 1960. Methods of estimating the leaf area of grasses from linear measurements. *Annals of Botany* 24(4):491-499.
- Körner, CH. 1991. Some often-overlooked plant characteristics as determinants of plant growth: a reconsideration. *Functional Ecology* 5(2):162-173.
- Márquez, F; Sánchez, J; Urbano, D; Dávila, C. 2007. Evaluación de la frecuencia de corte y tipos de fertilización sobre tres genotipos de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*). Rendimiento y contenido de proteína. *Zootecnia Tropical* 25(4):253-259.
- Martín, GM; Soto, F; Rivera, R; Rentería, M. 2006. Estimación de la superficie foliar de la *Canavalia ensiformis* a partir de las medidas lineales de sus hojas. *Cultivos Tropicales* 27(4):77-80.
- Montes, F; Castro, R; Aguilar, G; Sandoval, S; Solís, M. 2016. Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.). *Revista mexicana de ciencias pecuarias* 7(4):539-552.
- Pentón, G; Torres, N; Martín, G. 2006. Nota técnica: Estimación del área foliar a partir de observaciones morfológicas convencionales en *Morus alba* var. Acorazonada. *Pastos y Forrajes* 29(3):247-253.
- Poorter, H; Remkes, C. 1990. Leaf area ratio and net assimilation rate of 24 wild species differing in relative growth rate. *Oecologia* (83):553-559.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria, R Foundation for Statistical Computing. Disponible en: <https://www.R-project.org/>
- Ruiz, J. 2015. Grupos funcionales de plantas con potencial para la restauración ecológica de manantiales de agua en la microcuenca de la Laguna de Pedro Palo y sus alrededores, Cundinamarca – Colombia. Tesis Maestría. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 123 p.
- Schaeffer-Noveli, Y; Cintron, G. 1986. Guia para estudios de áreas de manguezal: estructura, função e flora. São Paulo, Brasil, Caribbean Ecological Research. 150 p.
- Solórzano, PR. 1988. Determinación de área foliar en sorgo granero (*Sorghum bicolor* L. Moench) a diferentes edades. *Agronomía Tropical* 26(1):39-45.
- Villegas, D; Valbuena, N; Milla, M. 2019a. Evaluación de modelos aplicados a la producción de materia seca de *Brachiaria brizantha* en el período lluvioso. *Revista de Ciencias Agrícolas* 36(1):33-45.
- Villegas, D; Valbuena, N; Milla, M; Terán, Y; Pérez, Y; Villegas, S; Ruiz, W; Paredes, A. 2019b. Comparación de modelos para estimar el área foliar en pasto Cayman (*Brachiaria* híbrido). *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable* 3(2):1-10.
- Zanchi, BF; Waterloo, MJ; Aguiar, LJ; Randow, C; Kruijt, B; Cardoso, FL; Manz, AO. 2009. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. *Acta Amazonica* 39(2):335-348.