

Comparación de la fibra detergente neutra en gramíneas, calculada mediante algoritmo de análisis de imágenes rojo, verde y azul vs espectroscopia del infrarrojo cercano

Comparison between red, green and blue images and near-infrared spectroscopy methods in the neutral detergent fiber (NDF) analysis

Oscar Ospina R.¹, Héctor Anzola V.^{2,3}, Olber Ayala D.², Andrea Baracaldo M.², Juan Arévalo C.², Pedro Lozada W.²

RESUMEN

El trabajo estuvo orientado a evaluar la precisión del algoritmo de análisis de imágenes *Red, Green, Blue* (RGB) incluido en el software TaurusWebs V2017® para el cálculo del porcentaje de fibra detergente neutra (FDN) en la materia seca de gramíneas, a partir de imágenes de las praderas tomadas por un dron con cámara RGB. Los resultados fueron comparados con los valores de FDN calculados con espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS). Se tomaron 42 muestras para NIRS: 18 de gramíneas de trópico alto en Cundinamarca: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y pasto brasilero (*Phalaris arundinacea*) y 24 de trópico bajo en Tolima, Colombia: pangola (*Digitaria decumbens*), pará (*Brachiaria mutica*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y colosuana (*Bothriochloa pertusa*). Los resultados se compararon contra 180 evaluaciones hechas con el algoritmo de las imágenes de las mismas gramíneas donde se tomaron las muestras para NIRS. Las pruebas de correlación de Kendall y de Spearman fueron significativas ($p < 0.05$), con una asociación de $\rho = 0.81$ para la prueba de hipótesis de Kruskal Wallis ($p > 0.05$). No hubo diferencias significativas en los valores de FDN bajo las dos metodologías y según la prueba de Wilcoxon las medianas de la FDN calculada por NIRS vs. las del algoritmo fueron iguales. En conclusión, la información generada con el algoritmo se puede utilizar para trabajos de análisis del FDN en gramíneas.

Palabras clave: algoritmo, dron, análisis bromatológico, RGB, FDN

¹ Servicios de Análisis de Explotaciones Pecuarias SADEP, Bogotá, Cundinamarca, Colombia

² Facultad de Ciencias Agrarias, Fundación Universitaria Agraria de Colombia – UNIAGRARIA, Bogotá, Colombia

³ E-mail: anzola.hector@uniagraria.edu.co

Recibido: 20 de febrero de 2020

Aceptado para publicación: 10 de septiembre de 2020

Publicado: 23 de febrero de 2021

ABSTRACT

The aim of this study to the evaluate the precision of the Red, Green, Blue (RGB) image analysis algorithm included in the TaurusWebs V2017[®] software for calculating the percentage of neutral detergent fiber (NDF) in the dry matter of grasses, from images of the grasslands taken by a drone with RGB camera. The results were compared with NDF values calculated with near infrared spectroscopy (NIRS). Forty-two samples were taken for NIRS: 18 from grasses from the high tropics in Cundinamarca: kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), velvet grass (*Holcus lanatus*) and reed canarian grass (*Phalaris arundinacea*) and 24 from the lower tropics in Tolima, Colombia: pangola (*Digitaria decumbens*), para (*Brachiaria mutica*), Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) and silver grass (*Bothriochloa pertusa*). The results were compared against 180 evaluations made with the algorithm of the images of the same grasses where the samples were taken for NIRS. The Kendall and Spearman correlation tests were significant ($p < 0.05$), with an association of $\rho = 0.81$ for the Kruskal Wallis hypothesis test ($p > 0.05$). There were no significant differences in NDF values under the two methodologies and according to the Wilcoxon test, the medians of DNF calculated by NIRS vs. those of the algorithm are the same. In conclusion, the information generated with the algorithm can be used for NDF analysis work in grasses.

Key words: algorithm, drone, bromatological analysis, RGB, NDF

INTRODUCCIÓN

En los sistemas de producción bovina en pastoreo los forrajes constituyen la fuente básica de la alimentación, de allí la importancia de determinar su valor nutritivo de una manera rápida, confiable y económica. Los actuales sistemas de medición a partir de química tradicional requieren de personal calificado, implican altos costos de laboratorio y tiempo para el análisis, dificultando la pronta toma de decisiones por parte de los productores, técnicos e investigadores (Molano *et al.*, 2016; Bezada *et al.*, 2017). Una de las herramientas más utilizadas para evaluar la calidad de las praderas es la fibra detergente neutra (FDN), propuesta por Van Soest (Raffrenato *et al.*, 2019), la cual cuantifica mediante técnicas de química húmeda la fibra de las gramíneas, al utilizar detergentes a diferentes valores de pH, que disuelven el contenido celular dejando un residuo fibroso, compuesto por celulosa, hemicelulosa, lignina

y sílice. De manera general entre mayor FDN tenga la gramínea, menor es su calidad y menor es el consumo voluntario por los rumiantes (Van Soest *et al.*, 1991), limitando la producción láctea (Wattiaux y Armentano, 2006).

Para la cuantificación de la FDN se puede utilizar, además, métodos de química seca basados en espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS), los cuales son menos contaminantes y más rápidos (Molano *et al.*, 2016; Bezada *et al.*, 2017; Ariza-Nieto *et al.*, 2018). La tecnología NIRS se basa en la quimiométrica, y relaciona la composición nutricional de los alimentos orgánicos con cambios energéticos en la región de la óptica correspondiente a la luz infrarroja (Cozzolino *et al.*, 2001; Vásquez *et al.*, 2004; Bezada *et al.*, 2017). Es una técnica de amplia aceptación a nivel internacional y resulta ser relativamente económica (Vásquez *et al.*, 2004; Molano *et al.*, 2016).

Los resultados de FDN de las gramíneas reportadas por la base de datos de AlimenTro (2018) de Corpoica (Tibaitatá, Colombia) muestran valores para el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) entre $54.8 \pm 0.6\%$, falsa poa (*Holcus lanatus*) de $59.08 \pm 0.86\%$, colosuana (*Bothriochloa pertusa*) de $64.65 \pm 0.48\%$ y pangola (*Digitaria decumbens*) de $59.8 \pm 0.6\%$, que coinciden con los datos calculados por el algoritmo de análisis de imágenes RGB para las mismas gramíneas (Ariza-Nieto *et al.*, 2018). Además, Ariza-Nieto *et al.* (2018) determinaron las curvas de calibración del NIRS para diversos forrajes de Colombia en términos de materia seca, proteína cruda, cenizas, fibra detergente ácida (FDA), FDN y lignina ácido detergente, con valores de r^2 mayores a 0.9 frente a la química húmeda.

De otra parte, se puede utilizar imágenes de las gramíneas en formato RGB (*Red, Green and Blue*) para identificar las longitudes de onda capturadas por los cloroplastos y, a partir de estas, mediante un algoritmo de análisis de imágenes RGB (Ibraheem *et al.*, 2012), estimar la cantidad de FDN presente en la materia seca de las gramíneas. Recientemente se ha utilizado el formato RGB, para calcular calidad y cantidad de los forrajes en términos de biomasa y nitrógeno (von Bueren *et al.*, 2015; Näsi *et al.*, 2018; de Oliveira *et al.*, 2019). El presente tuvo como objetivo comparar los valores de FDN estimados por el algoritmo de análisis de las imágenes RGB de las gramíneas contra un referente NIRS.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló con gramíneas de los valles interandinos y de la Cordillera de los Andes de Colombia. Se tomaron 42 muestras para análisis de FDN mediante NIRS; de estas, 18 fueron de gramíneas de trópico alto (2900 msnm): kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y pasto brasileiro (*Phalaris arundinacea*) y 24 de trópico bajo (450

msnm): pangola (*Digitaria decumbens*), pará (*Brachiaria mutica*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y colosuana (*Bothriochloa pertusa*). Las muestras se remitieron al laboratorio de Corpoica Tibaitatá, Colombia, para análisis de FDN mediante NIRS.

En cada sitio donde se colectaron las muestras de pastos para el análisis de NIRS se tomaron fotos con un Dron DJI Spark®, con cámara RGB de 12 megapíxeles, sin filtros, entre los 20 y los 40 metros de altura, en posición perpendicular al suelo, para el cálculo de FDN con el análisis algorítmico RGB. Las imágenes fueron procesadas por cinco investigadores, cada uno utilizando una computadora con el algoritmo de análisis de imágenes RGB del software TaurusWebs® (Ospina, 2017), lo que generó cinco resultados algorítmicos por muestra. Al final se eliminaron las imágenes de pobre calidad, quedando un total de 180 análisis de FDN disponibles.

Se evaluaron los porcentajes de FDN calculados con el método NIRS versus los porcentajes calculados con el algoritmo de análisis de imágenes RGB, utilizando el software Stata® v. 11.2 (StataCorp, 2009). Se evaluaron los supuestos estadísticos y se corrieron la prueba de hipótesis de Wilcoxon, las correlaciones de Kendall, Spearman y la regresión de cuantiles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de FDN de las gramíneas estimados por el algoritmo análisis de imágenes RGB y por NIRS, se presentan en la Cuadro 1. En las pruebas de normalidad se encontró una distribución no paramétrica. Se aplicó la prueba de correlación de Kendall ($p < 0.05$) y de la correlación de Spearman ($p < 0.05$) encontrando que los datos no son independientes. El valor $\rho = 0.81$ señaló una alta correlación entre los datos calculados por el algoritmo vs. los calculados

Cuadro 1. Porcentajes de fibra detergente neutra (FDN) medidos por el algoritmo de análisis de imágenes RGB y por espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS)

| | n | FDN (Algoritmo RGB) | | FDN (NIRS) | |
|---|----|---------------------|------|------------|------|
| | | Promedio | DE | Promedio | DE |
| Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>) | 30 | 62.2 | 1.20 | 61.0 | 0.61 |
| Brasilero (<i>Phalaris arundinacea</i>) | 30 | 51.5 | 0.92 | 50.9 | 1.07 |
| Colosuana (<i>Bothriochloa pertusa</i>) | 30 | 64.1 | 1.12 | 63.7 | 1.01 |
| Falsa poa (<i>Holcus lanatus</i>) | 30 | 69.0 | 0.68 | 65.9 | 0.72 |
| Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) | 15 | 58.7 | 1.37 | 58.5 | 0.24 |
| Pangola (<i>Digitaria decumbens</i>) | 15 | 61.0 | 0.97 | 60.3 | 0.17 |
| Para (<i>Brachiaria mutica</i>) | 30 | 60.5 | 1.15 | 62.6 | 0.91 |

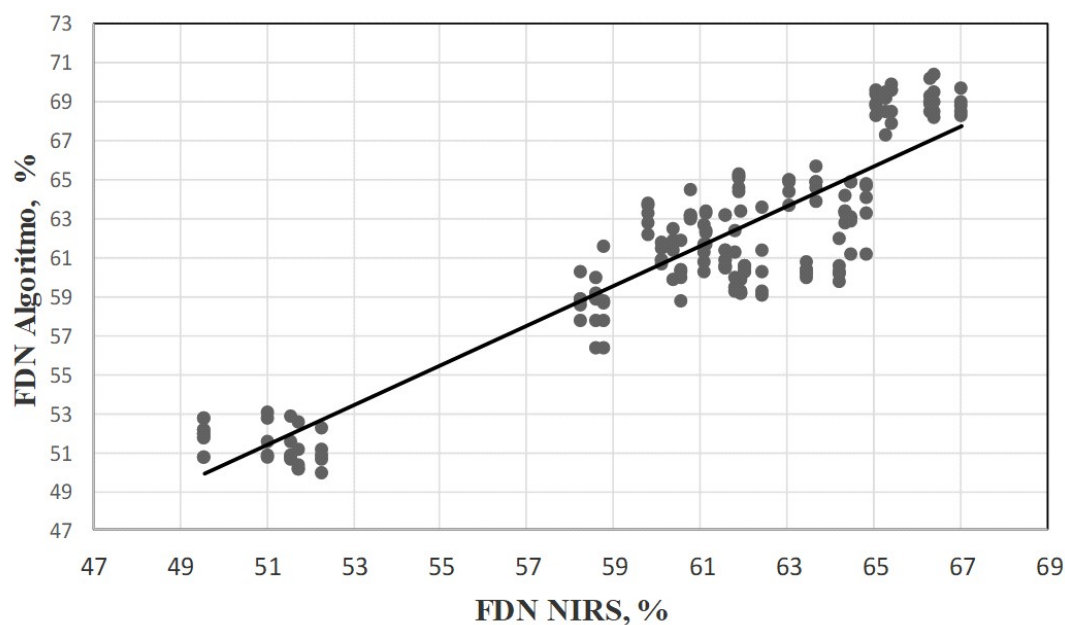


Figura 1. Representación gráfica de los resultados del porcentaje de fibra detergente neutra (FDN) medidos por el algoritmo de análisis de imágenes RGB y por espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS)

por NIRS; asimismo, la prueba de Wilcoxon indica que las medianas son iguales. Al aplicar regresión de cuantiles se tiene que $FDN_{alg} = FDN_{nirs} * 1.098 - 5.144$; con Pseudo $r^2 = 0.56$, que indicó una fuerte asociación entre la FDN calculada por el algoritmo frente a la calculada por NIRS.

En el laboratorio de calidad de forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se realizó una calibración del NIRS para el cálculo del FDN en gramíneas tropicales comparadas contra la técnica de laboratorio de FDN reportadas por Van Soest *et al.* (1991), logrando un coeficiente de correlación de $r > 0.90$, con un tamaño muestral de 156 (Molano *et al.*, 2016). Por otro lado, en el laboratorio de Corpoica, Tibaitatá, se calibraron las ecuaciones para FDN medido con NIRS vs. los análisis químicos convencionales, obteniendo un $r^2 = .95$ en 194 muestras de gramíneas colombianas (Ariza-Nieto *et al.*, 2018). Estos resultados demuestran una calibración del NIRS para FDN con alta precisión y confiabilidad. En este estudio, los datos de FDN para el kikuyo coinciden con otros reportes que indican valores entre 56.2 y 59.1% (Castro, 2008; Correa *et al.*, 2008; Posada-Asprilla *et al.*, 2019).

En la Figura 1 se observa que en la medida que incrementa la FDN cuantificado por NIRS va respondiendo de manera simétrica con la FDN medida por el algoritmo de análisis de imágenes RGB.

En el presente trabajo no se encontraron diferencias entre el algoritmo de análisis de imágenes RGB y el NIRS, entendiendo que este último está calibrado contra análisis de química húmeda; de allí que los resultados del algoritmo de análisis RGB deben ser iguales a los que se obtendrían por la técnica de Van Soest *et al.* (1991).

CONCLUSIONES

- Hay una alta correlación entre los resultados de la fibra detergente neutra (FDN) calculados por espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) y el análisis de imágenes RGB.
- Para la determinación de FDN en gramíneas se puede utilizar la tradicional química húmeda de Van Soest, los análisis del NIRS o el algoritmo de análisis de imágenes RGB con los mismos resultados.

LITERATURA CITADA

1. **AlimenTro. 2018.** Composición química y valor nutricional. Base de datos. Colombia. [Internet]. Disponible en: <http://alimentro.agrosavia.co/Estadisticas/ReporteAnalisis>
2. **Ariza-Nieto C, Mayorga O, Mojica B, Parra D, Afanador-Tellez G. 2018.** Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia. *J Near Infrared Spec* 26: 44-52. doi: 10.1177/0967033517746900
3. **Bezada S, Arbaiza T, Carcelén F, San Martín H, López C, Rojas J, Rivadeneira V. 2017.** Predicción de la composición química y fibra detergente neutro de rye grass italiano (*Lolium multiflorum* Lam) mediante espectroscopia de reflectancia en infrarrojo cercano (NIRS). *Rev Inv Vet Perú* 28: 538-548. doi: 10.15381/rivep.v28i3.13357
4. **Castro E, Mojica E, León JM, Carulla JE, Cárdenas EA, Pabón ML. 2008.** Productividad de pasturas y producción de leche bovina bajo pastoreo de gramínea *Lotus uliginosus* en Mosquera, Cundinamarca. *Rev Med Vet Zootec* 55: 9-21.

5. **Correa H, Pabón M, Carulla J. 2008.** Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoechst Ex Chiov) para la producción de leche en Colombia (una revisión): I. Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal. *Livestock Res Rural Dev* 20(59). [Internet]. Disponible en: <http://www.lrrd.org/lrrd20/4/corra20059.htm>
6. **Cozzolino D, Fassio A, Gimenez A. 2001.** The use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to predict the composition of whole maize plants. *J Sci Food Agr* 81: 142-146. doi: 10.1002/1097-0010(20010101)-81:1<142::AID-JSFA790>3.0.CO;2-I
7. **de Oliveira RA, Näsi R, Niemeläinen O, Nyholm L, Alhonoja K, Kaivosoja J, Teemu NV, et al. 2019.** Assessment of RGB and hyperspectral UAV remote sensing for grass quantity and quality estimation. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spatial Inf Sci* 42: 489-492. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-489-2019
8. **Ibraheem N, Hasan M, Khan R, Mishra P. 2012.** Understanding color models: a review. *J Sci Technol* 2: 265-275.
9. **Molano ML, Cortés ML, Ávila P, Martens SD, Muñoz LS. 2016.** Near infrared spectroscopy (NIRS) calibration equations to predict nutritional quality parameters of tropical forages. *Trop Grasslands* 4: 139-145. doi: 10.17138/TGFT(4)139-145
10. **Näsi R, Viljanen N, Kaivosoja J, Alhonoja K, Hakala T, Markelin L, Honkavaara E. 2018.** Estimating biomass and nitrogen amount of barley and grass using UAV and aircraft based spectral and photogrammetric 3D features. *Remote Sensing* 10: 1082. doi: 10.3390/rs10071082
11. **Ospina O. 2017.** TaurusWebs (V 2017). Bogotá, Colombia: Sadep. [Internet]. Available in: <http://www.tauruswebs.com/-wwwtauruswebs/>
12. **Posada-Asprilla W, Medina-Sierra M, Cerón-Muñoz M. 2019.** Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum* [Hochst. ex Chiov] Morrone) usando imágenes multiespectrales. *Rev UDCA Actualidad y Divulgación Científica* 22. doi: 10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195
13. **Raffrenato E, Nicholson CF, Van Amburgh ME. 2019.** Development of a mathematical model to predict pool sizes and rates of digestion of 2 pools of digestible neutral detergent fiber and an undigested neutral detergent fiber fraction within various forages. *J Dairy Sci* 102: 351-364. doi: 10.3168/jds.2018-15102
14. **Stata. 2009.** Stata: Software for Statistics and Data Science v. 11.2. [Internet]. Available in: www.stata.com
15. **Van Soest P, Robertson J, Lewis B. 1991.** Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci* 74: 3583-3597. doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
16. **von Bueren SK, Burkart A, Hueni A, Rascher U, Tuohy MP, Yule I. 2015.** Deploying four optical UAV-based sensors over grassland: challenges and limitations. *Biogeosciences* 12: 163-175. doi: 10.5194/bg-12-163-2015
17. **Vásquez DR, Abadía B, Arreaza LC. 2004.** Aplicación de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto guinea y del grano de maíz. *Cienc Tecnol Agropec* 5: 49-55. doi: 10.21930/rcta.vol5_num1_art:24
18. **Wattiaux M, Armentano LE. 2006.** Carbohydrate metabolism in dairy cows. [Internet]. Available in: <https://federated.kb.wisc.edu/images/group226/52745/3.CarbohydrateMetabolisminDairy-Cows.pdf>