

Validación de un algoritmo de procesamiento de imágenes Red Green Blue (RGB), para la estimación de proteína cruda en gramíneas vs la tecnología de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS)

Validation of an algorithm for processing Red Green Blue (RGB) images for the estimation of crude protein in grasses vs Near Infrared Reflectance Spectroscopy technology (NIRS)

Oscar Ospina R.¹, Héctor Anzola Vásquez², Olber Ayala Duarte²,
Andrea Baracaldo Martínez²

RESUMEN

El presente trabajo estuvo orientado a evaluar la precisión del algoritmo de análisis de imágenes Red, Green, Blue (RGB), incluido en el software TaurusWebs®, que permite calcular el porcentaje de proteína cruda de la materia seca (%PC) de las gramíneas a partir de imágenes de las praderas tomadas por un dron acoplado con cámaras RGB. Se compararon las mediciones del %PC calculadas por el algoritmo frente a un referente, Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS), del laboratorio de Corpoica (Agrosavia), calibrado para gramíneas. Se tomaron 42 muestras para NIRS, 18 de gramíneas de trópico alto en Cundinamarca: kikuyo, *Pennisetum clandestinum*; falsa poa, *Holcus lanatus*; 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 del NIRS se compararon contra las evaluaciones hechas con el algoritmo de las imágenes de las gramíneas provenientes del mismo potrero donde se tomaron las muestras. Los resultados fueron comparados usando las pruebas no paramétricas de correlación de Kendall, $\rho=0.83$ y de Kruskal Wallis. No se encontraron diferencias entre el resultado del %PC de las gramíneas medida por NIRS vs el %PC medida por el algoritmo de análisis de imágenes RGB. En conclusión, la información generada con el algoritmo se puede utilizar para trabajos de análisis del %PC en gramíneas.

Palabras clave: algoritmo, proteína cruda, dron, RGB, NIRS

¹Key words: algorithm, crude protein, drone, RGB, NIRS

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

² Fundación Universitaria Agraria de Colombia –UNIAGRARIA, Colombia

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

Recibido: 19 de marzo de 2019

Aceptado para publicación: 7 de marzo de 2019

Publicado: 22 de junio de 2020

ABSTRACT

The present work study aimed at evaluating the accuracy of the computerized algorithm included in the TaurusWebs[®] software, which allows to calculate the percent of crude protein (% CP) in the dry matter of grasses, from images of grasslands taken by a drone with Red Green Blue – RGB- cameras. The %PC measurements calculated by the algorithm were compared to a reference, Near Infrared Reflectance Spectroscopy (NIRS), from the Corpoica (Agrosavia) Laboratory calibrated for grasses. Forty-two samples were taken for NIRS, 18 of high tropic grasses in Cundinamarca: kikuyo, *Pennisetum clandestinum*; false poa, *Holcus lanatus*; Brazilian grass, *Phalaris arundinacea* and 24 from the low tropics in Tolima, Colombia: pangola, *Digitaria decumbens*; pará, *Brachiaria mutica*; Bermuda, *Cynodon dactylon* and coloswana, *Bothriochloa pertusa*. The results of the NIRS were compared against the evaluations made with the algorithm to the images of the grasses, coming from the pasture where the samples were taken. The results were compared using nonparametric statistics, the Kendall correlation test and Spearman, $\rho=0.83$ and the Kruskal Wallis test. No differences were found between the result of the %PC of grasses measured by NIRS vs. the %PC measured by the RGB image analysis algorithm. In conclusion, the information generated with the algorithm can be used for analysis jobs of the %PC in grasses.

Key words: algorithm, crude protein, drone, RGB, NIRS

INTRODUCCIÓN

Se entiende por algoritmo a un conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permiten hacer un cálculo y hallar la solución de un tipo de problema. La aplicación de este concepto a la estimación del porcentaje de proteína cruda (%PC) de la base forrajera sería una alternativa que permitiría su uso de manera masiva y económica para el análisis y la toma de decisiones sobre las praderas, las rotaciones, la composición de la dieta, la fertilización, el control de plagas, el riego, el efecto del clima y, en general, el mejoramiento del componente forrajero y su desempeño en las ganaderías (Ceballos *et al.*, 2002; Ospina, 2007).

Se define al %PC como la cantidad de nitrógeno expresado como proporción de proteína en un kilogramo de materia seca de un alimento (Elizondo, 2008). De manera general, entre mayor %PC tenga un alimento mejor calidad tendrá y mayor será la expectativa

del potencial de producción. Por otro lado, un exceso de %PC es perjudicial para el desempeño y la salud del animal (Galvis y Correa, 2002; Wattiaux y Karg, 2004). Los actuales sistemas de medición del valor del %PC de los forrajes basados en métodos de química húmeda resultan ser costosos y en muchas ocasiones poco confiables, por factores que van desde la representatividad de la toma de la muestra, hasta la demora en la entrega de resultados y la precisión de los análisis de los laboratorios (Llanos, 2014). Poder dar una solución a estos limitantes implica el explorar alternativas tecnológicas, como el análisis algorítmico de imágenes RGB y sus posibilidades.

El formato RGB es un modelo de color basado en la síntesis aditiva. Con este sistema es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios, que son utilizados por las cámaras digitales RGB y que se pueden almacenar en una imagen en formato *.jpg (Joint Photographic Experts Group), de bajo costo,

confiable y ampliamente usado por los celulares, computadoras y drones (Gervautz y Purgathofer, 1988; Ibraheem *et al.*, 2012).

La tecnología del algoritmo de análisis de imágenes RGB para el cálculo del %PC consiste en un proceso estadístico y matemático, realizado a las imágenes de las praderas (tomadas por un dron con cámara), que identifica las longitudes de onda capturadas por la fotosíntesis de los pastos. A partir de estas, se calcula la energía solar que ingresa a la planta y se estima el %PC que la gramínea lograría sintetizar; resultados que serían comparables con los generados por metodologías como la tecnología de espectroscopía del infrarrojo cercano – NIRS (Molano *et al.*, 2016).

El NIRS se basa en la quimiométrica, que se desarrolló a partir de la combinación de elementos de las matemáticas, la espectroscopía, la estadística, los modelos matemáticos y los sistemas de información. La tecnología relaciona la composición nutricional de los alimentos orgánicos con cambios energéticos en la región de la óptica correspondiente a la luz infrarroja (Serena *et al.*, 2004; Vásquez *et al.*, 2004; Elif, 2016), técnica que a nivel internacional tiene amplia aceptación (Molano *et al.*, 2016).

Los primeros reportes correspondientes a esta técnica fueron publicados por Garrido *et al.* (1996), y desde entonces se ha venido utilizando para analizar forrajes para animales (Givens *et al.*, 1999; Cozzolino, 2000; Cozzolino *et al.*, 2001, 2003; Serena *et al.*, 2004; Vásquez y Mayorga, 2005; García y Cozzolino, 2006, Molano *et al.*, 2016; Elif *et al.*, 2016; Klein *et al.*, 2016). Uno de los primeros trabajos de investigación realizados por Corpoica en Colombia empleando la metodología NIRS permitió determinar el porcentaje de PC de la gramínea tropical Guinea *Panicum maximum*, procedentes de los valles de los ríos Cesar y del Sinú, Colombia (Vásquez *et al.*, 2004). Posteriormente, la misma corporación publicó en 2018 las curvas de calibración de NIRS para gramíneas,

leguminosas y otros forrajes, en las condiciones de Colombia, frente a los análisis químicos tradicionales, demostrando que NIRS permite determinar en forma segura la composición nutricional de la materia seca, proteína cruda, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, lignina detergente ácido y cenizas, entre otros (Ariza *et al.*, 2018).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la precisión del cálculo del %PC del algoritmo de análisis de las imágenes RGB, incluido en el software TaurusWebs®, frente al %PC calculado por NIRS en gramíneas de trópico bajo y trópico alto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en los municipios de Alvarado, Tolima, a 450 msnm (Trópico bajo) y Chocontá, Cundinamarca, a 2900 msnm (Trópico alto) en Colombia. En el caso de trópico bajo se identificaron cuatro potreros en una finca, donde cada potrero presentaba una de las gramíneas: pangola (*Digitaria decumbens*), pará (*Brachiaria mutica*), bermuda (*Cynodon dactylon*) y colosuana (*Bothriochloa pertusa*); En el trópico alto se identificaron tres potreros en una finca, donde cada potrero presentaba una de las gramíneas: kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), falsa poa (*Holcus lanatus*) y pasto brasilero (*Phalaris arundinacea*), respectivamente. De cada potrero se tomaron al azar dos muestras por gramínea (14 muestras), las cuales se homogenizaron y dividieron en tres partes, haciendo un total de 42 submuestras.

Las submuestras se secaron y enviaron al laboratorio de Corpoica (Agrosavia), Tibaitatá, Colombia, para análisis del %PC mediante NIRS, calibrado para gramíneas. Con respecto al análisis algorítmico, a cada uno de los 14 sitios muestreados para NIRS se le tomó una foto con un Dron DJI Spark® equipado con cámara RGB de 12 megapíxeles, sin filtros, en posición perpendicular al suelo, a un promedio de 30 m de altura.

Cuadro 1. Presentación de los rangos obtenidos de los %PC de 24 muestras medidas con NIRS y del algoritmo de análisis de imágenes RGB por especie y localidad

Gramínea	Trópico	Rango %PC NIRS	Promedio %PC NIRS	Rango %PC algoritmo	Promedio %PC algoritmo
Bermuda	Bajo	10.60 - 11.20	10.9	8.52 - 11.34	10.63
Brasileño	Alto	19.66 - 21.36	20.51	18.47 - 20.84	20.37
Colosuaña	Bajo	6.66 - 7.96	7.31	6.67 - 7.99	7.20
Falsa poa	Alto	7.37 - 8.21	7.79	6.18 - 7.83	6.81
Kikuyo	Alto	15.12 - 15.58	15.35	12.84 - 15.39	15.19
Pangola	Bajo	9.88 - 10.61	10.24	9.58 - 12.70	10.46
Pará	Bajo	8.09 - 9.55	8.82	8.63 - 10.98	9.07

Posteriormente cuatro investigadores de manera simultánea, en una tabla de Excel, frente a cada uno de los 42 resultados de NIRS, registró el dato de %PC calculada con el algoritmo en la imagen correspondiente a la muestra, produciendo un total de 168 comparaciones (42 resultados por 4 investigadores).

Los datos recolectados del %PC calculado con el método NIRS y el calculado con el algoritmo de análisis de imágenes RGB se tabularon para efectuar el análisis estadístico. Se corrieron las correlaciones de Kendall, Spearman y la prueba de Kruskal Wallis con el software Stata® v. 11.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro uno se presentan los resultados del %PC de NIRS y del algoritmo en rangos y promedios, con 24 muestras para cada gramínea, para un total de 168 evaluaciones.

Las pruebas de normalidad hechas a los datos indicaron una distribución no paramétrica. Se procedió a aplicar las pruebas estadísticas con los siguientes resultados: correlación de Kendall ($p < 0.05$) y Spearman

($p < 0.05$), con una asociación de $\rho = 0.83$ y Kruskal Wallis ($p > 0.05$), lo que indica que los datos no son diferentes y que hay una alta correlación entre los datos de %PC medido por NIRS vs. las del algoritmo de análisis de imágenes RGB (Figura 1). Esto indica que los resultados del %PC de NIRS son iguales a los obtenidos por el algoritmo de análisis de imágenes RGB.

Con respecto a metodologías utilizadas para el cálculo de la proteína mediante RGB, en primera instancia se tiene el estudio de Mata-Donjuan *et al.* (2014), quienes reportan el uso de cámaras RGB para determinar la concentración de nitrógeno en las plantas. Esta técnica calcula el nitrógeno de la planta a partir de la banda roja y azul del RGB, pero tuvieron inconvenientes asociados al color del suelo, presencia de aceites, pigmentos y la estructura de las hojas de las plantas, que aumentan la variabilidad de la respuesta. Comparando esta tecnología con la del algoritmo de análisis de imágenes RGB del presente estudio, se tiene que los inconvenientes reportados fueron superados por la presente tecnología al calcular la proteína, no a partir de la luz que se refleja, sino a la luz absorbida por el cloroplasto, disminuyendo los sesgos y calculando con mayor precisión el %PC en la materia seca.

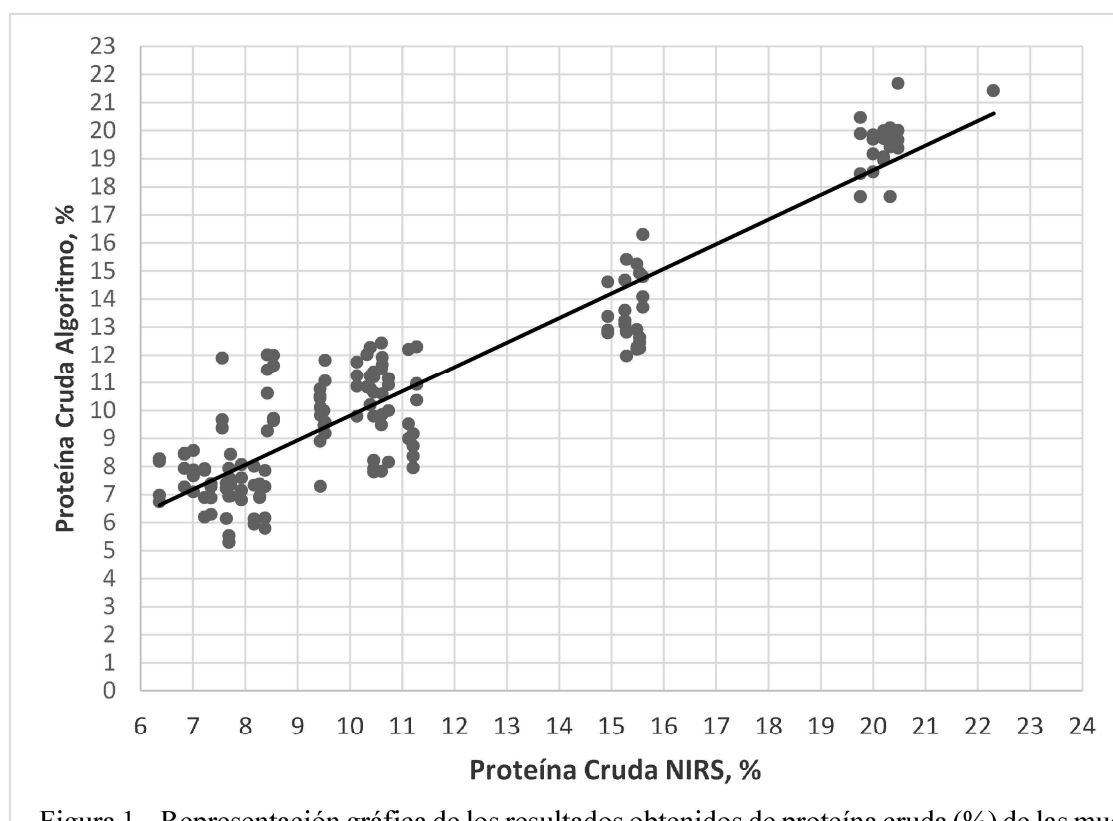


Figura 1. Representación gráfica de los resultados obtenidos de proteína cruda (%) de las muestras medidas con NIRS versus el algoritmo de análisis de RGB

Por otro lado, a nivel de campo, Minolta® desarrolló una tecnología que usa fotodiodos que captan la luz led infrarroja para medir la concentración de clorofila y a partir de estas unidades determinar si el nivel de nitrógeno es adecuado o no, en las hojas de las plantas (Medellín *et al.*, 2016). El algoritmo de análisis de imágenes RGB, a diferencia del método de los fotodiodos, calcula directamente el %PC por kilogramo de materia seca en las gramíneas, para ser utilizado en análisis nutricional a las dietas en rumiantes.

El presente estudio corresponde al primer reporte de cálculo del %PC, basado en la luz capturada por los cloroplastos de la planta, medida por un algoritmo de análisis de imágenes RGB, en gramíneas.

CONCLUSIONES

Se encontró una alta correlación entre el resultado de proteína cruda (%) de las gramíneas medidas por NIRS vs proteína cruda (%) medidas por el algoritmo; por tanto, se comprobó que se puede utilizar el algoritmo de análisis de imágenes RGB para cuantificar el porcentaje de proteína cruda en pastos de trópico bajo y trópico alto, independientemente de la gramínea analizada.

LITERATURA CITADA

1. *Ariza-Nieto C, Mayorga OL, 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
2. **Ceballos A, Gómez P, Vélez M, Villa N, López L. 2002.** Variación de los indicadores bioquímicos del balance de energía según el estado productivo en bovinos lecheros de Manizales. Colombia. *Rev Colomb Cienc Pec* 15: 13-25.
 3. **Cozzolino D. 2000.** Uso de la espectroscopia de reflectancia en Infrarrojo cercano (NIRS) en el análisis de alimentos para animales. *Agrociencia* 6: 25-32.
 4. **Cozzolino D, Fassio A, Fernández E. 2003.** Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano para el análisis de calidad de ensilaje de maíz. *Agr Tec* 63: 387-393. doi: 10.4067/S0365-28072003000400007
 5. **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.
 6. **Elif J, Cherney H, Siroisc P, Kubinecc D, Cherney D. 2016.** Botanical composition prediction of alfalfa-grass mixtures using NIRS: developing a robust calibration. *Crop Sci* 56: 3361-3366. doi: 10.2135/cropsci2016.04.0232
 7. **Elizondo JA. 2008.** Requerimientos nutricionales de cabras lecheras. II. Proteína metabolizable. *Agron Mesoam* 19: 123-130.
 8. **Galvis RD, Correa HJ. 2002.** Interacciones entre el metabolismo y la reproducción en la vaca lechera: ¿Es la actividad gluconeogénica el eslabón perdido? *Rev Colomb Cienc Pec* 15: 36-50.
 9. **García J, Cozzolino D. 2006.** Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIR) para predecir la composición química de forrajes en modelos de calibración amplia. *Agric Tec* 66: 41-47.
 10. **Garrido A, Gómez C, Guerrero JR, Fernández P. 1996.** Avances en nutrición y alimentación animal. En: XII Curso de Especialización FEDNA. Madrid: FEDNA. p 275-303.
 11. **Gervautz M, Purgathofer W. 1988.** A simple method for color quantization: octree quantization. In: *New trends in computer graphics*. Elsevier. p 219-231.
 12. **Givens DI, Deaville ER. 1999.** The current and future role of near infrared reflectance spectroscopy in animal nutrition. *Aust J Agr Res* 50: 1131-1145. doi: 10.1071/AR98014
 13. **Ibraheem N, Hasan M, Khan R, Mishra P. 2012.** Understanding color models: a review. *J Sci Technol* 2: 265-275.
 14. **Klein JP, Charles H, Alomar D. 2016.** Prediction of crude protein and neutral detergent fibre concentration in residues of *in situ* ruminal degradation of pasture samples by near-infrared spectroscopy (NIRS). *Anim Prod Sci* 56: 1504-1511. doi: 10.1071/AN14822
 15. **Laredo M, Cuesta A. 1988.** Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 83 p.
 16. **Llanos A. 2014.** Metodología para la implementación de la Norma ISO IEC 17025 en el Laboratorio de Nutrición Animal y Bromatología perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Epoch. Tesis de Ingeniero Industrial. Riobamba. Ecuador: Escuela superior Politécnica de Chimborazo. 58 p.
 17. **Mata GF, Mercado A, Rico E. 2014.** RGB imaging for the determination of the nitrogen content in plants. In: *Plant Image Analysis: Fundamentals and Applications*. p 88-96.
 18. **Medellín L, Roza A, Trujillo M. 2016.** Ensayo preliminar sobre la utilización de un medidor portátil de clorofila para estimar el nitrógeno foliar en orégano (*Origanum vulgare* L). *Rev Fac Ciencias Básicas* 7: 150-165.
 19. **Molano ML, Cortés L, 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.

20. **Ospina OF. 2007.** Interrelación entre nutrición y reproducción. Análisis y experiencias de campo. *Rev Med Vet* 13: 39-47.
21. **Serena FR, Scheffer SM, Dürr JW, Appelt JV, Bortolini F, Aubert FA. 2004.** Predicção da composição química de bermudas (*Cynodon* spp) pela espectroscopia de reflectancia no infravermelho proximal. *Rev Bras Zootecn* 33: 838-842. doi: 10.1590/S1516-35982004000400003
22. **Stata Software V 11.2 ®. 2018.** Stata Corp. LLC. College Station, Texas. [Internet]. Disponible en: <https://www.stata.com/>
23. **Vásquez DR, Abadía B, Arreaza L. 2004.** Aplicación de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. *Corpoica* 5: 49-55.
24. **Vásquez DR, Mayorga OL. 2005.** Uso de la espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo cercano (NIRS) para la cuantificación rápida y precisa de triptófano en maíces colombianos. *Corpoica* 6: 48-51.
25. **Wattiaux MA., Karg KL 2004.** Protein level for alfalfa and corn silage-based diets: I. Lactational response and milk urea nitrogen. *J Dairy Sci* 87: 3480-3481. Doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73483-9