

Validación de la estimación porcentual de K, P, Ca, Mg y S en la materia seca de gramíneas calculadas mediante un algoritmo de análisis de imágenes rojo, verde y azul (RGB)

Validation of the percentage estimate of K, P, Ca, Mg, and S in grass dry matter calculated using a red, green and blue (RGB) image analysis algorithm

Oscar Fernando Ospina Rivera¹, Andrea Baracaldo Martínez^{2,5*}, Héctor José Anzola Vasquez², Olber Arturo Ayala Duarte², Heissa Bernal³, Luis Miguel Acosta Urrego⁴, John Alexander Moreno Sandoval⁴, Andrés Mogollón Reina⁴, Nasly Bibiana Ospina Rivera¹, Aura María Ospina Rivera¹

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue comparar los resultados obtenidos mediante el algoritmo de análisis de imágenes RGB - 2ARGB[®]- desarrollado para el cálculo de macrominerales, frente a los obtenidos con la técnica de espectroscopía de inducción de plasma de argón -EIP-. En la prueba se midió el contenido de cinco macrominerales, calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S) en la materia seca de siete especies de gramíneas tropicales en tres pisos térmicos en Colombia. Para la estimación de los macrominerales a través del algoritmo se empleó un dron Dji Mavic Mini 1 con cámara 2.7 K, HD-RGB, usada como sensor remoto a 20 m de altura. Se tomaron imágenes de las mismas parcelas que se analizaron con la técnica estándar de EIP del laboratorio de Agrosavia Tibaitatá, Colombia. La prueba

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

² Grupo de Investigación Ciencias Animales, Facultad de Ciencias Agrarias, Uniagraria, Bogotá, Colombia

³ Universidad del Tolima, Ibagué, Tolima, Colombia

⁴ Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia

⁵ Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico CIDT-UNIAGRARIA, Madrid, Cundinamarca, Colombia

* Autor para correspondencia: Andrea Baracaldo Martínez; baracaldo.andrea@uniagraria.edu.co

Recibido: 13 de marzo de 2023

Aceptado para publicación: 4 de abril de 2024

Publicado: 28 de junio de 2024

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

estadística de comparación de medianas de Wilcoxon no encontró diferencias entre los dos métodos al determinar la concentración porcentual de los macrominerales Ca, P, K, Mg y S en la materia seca de las gramíneas.

Palabras clave: macrominerales, algoritmo, dron, gramíneas, RGB

ABSTRACT

The aim of this work was to compare the results obtained using the RGB image analysis algorithm -2ARGB®- developed for the calculation of macro minerals, compared to those obtained with the argon plasma induction spectroscopy technique -EIP-. In the test, the content of five macro minerals, calcium (Ca), phosphorus (P), potassium (K), magnesium (Mg) and sulfur (S) was measured in the dry matter of seven species of tropical grasses in three thermal levels in Colombia. To estimate the macro minerals through the algorithm, a Dji Mavic Mini 1 drone with a 2.7 K, HD-RGB camera was used as a remote sensor at a height of 20 m. Images were taken of the same plots that were analyzed with the standard EIP technique from the Agrosavia Tibaitatá laboratory, Colombia. The Wilcoxon median comparison statistical test found no differences between the two methods when determining the percentage concentration of the macro minerals Ca, P, K, Mg and S in the dry matter of the grasses.

Key words: macro minerals, algorithm, drone, grasses, RGB

INTRODUCCIÓN

La proporción de los macrominerales (Ca, P, Mg, S y K) en la materia seca y su biodisponibilidad en los forrajes presenta una variabilidad natural asociada a factores como el tipo de suelo, nivel de fertilización, época del año, humedad edáfica, germoplasma, edad de pastoreo entre otros (Shepeleva *et al.*, 2019; Dudek *et al.*, 2020). Para determinar una apropiada oferta mineral al ganado y una adecuada fertilización de las praderas, es necesario hacer análisis foliares minerales de manera regular, que permitan cuantificar los macrominerales en la materia seca.

En la mayoría de las gramíneas minerales como Ca y P se encuentran en cantidades insuficientes para llenar los requerimientos nutricionales de los bovinos, en especial en vacas lactantes, mientras que el K rara vez es deficiente (NRC, 2001). El requeri-

miento de Ca es de 0.3-0.81%, de P de 0.25-0.45%, de K de 0.6-2.0%, de Mg de 0.25-0.35% y de S de 0.20% de la materia seca para bovinos en pastoreo (NRC, 2001). En el Cuadro 1 se presenta los contenidos de macrominerales de algunas gramíneas comúnmente utilizadas en pastoreo en el trópico colombiano y latinoamericano.

Los métodos de análisis de laboratorio para determinar los macrominerales en alimentos y gramíneas son muy variados, siendo los más utilizados la colorimetría, la fluorimetría y la espectroscopía (AOAC, 2012; Mello *et al.*, 2012; Chaparro *et al.*, 2016). De esta última se encuentra la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS), espectroscopía de absorción atómica (EAA), espectroscopía de emisión atómica (EEA) y espectroscopía emisión de plasma inductivamente acoplado (EIP). Así, el NIRS utiliza la radiación infrarroja sobre la muestra a analizar, no requiere de tratamientos químicos y

Cuadro 1. Composición mineral en materia seca de algunas gramíneas en el trópico latinoamericano

Gramínea	Ca (%)	P (%)	Mg (%)	K (%)	S (%)
Kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>)	0.51	0.32	0.35	3.02	0.37
Estrella africana (<i>Cynodon nlemfuensis</i>)	0.33	0.22	0.20	1.42	0.22
Colosuana (<i>Bothriochloa pertusa</i>)	0.48	0.23	0.23	1.99	0.18
Angleton (<i>Dychanthium aristatum</i>)	0.25	0.20	0.17	1.71	0.21
<i>Brachiaria decumbens</i>	0.24	0.22	0.19	1.92	0.16
Raigrás (<i>Lolium perenne</i>)	0.55	0.36	0.26	3.3	0.29
Rango	0.24-0.55	0.20-0.36	0.17-0.35	1.42-3.30	0.16-0.37

Fuente: Agrosavia (2022); Jack *et al.* (2021) y Villalobos y Sánchez (2018)

se considera un método no destructivo (Serrano *et al.*, 2021). Parrini *et al.* (2019), entre otros investigadores, han empleado NIRS para predecir la composición nutricional de gramíneas empleadas para alimentar vacas lecheras. Es un método rápido, de bajo nivel de contaminación de aguas y se han empleado con mucho éxito para el análisis bromatológico, incluyendo los macro y micro minerales (Ariza-Nieto *et al.*, 2018), aunque la NRC hace la observación que no es confiable para minerales (NRC, 2001). Por otro lado, Berzaghi *et al.* (2018) reportan en una nota especializada la metodología que efectúa la cuantificación de minerales por medio de la emisión de la fluorescencia de rayos X que emite una energía dispersiva, que es simple, directa, y no destruye las muestras de los forrajes.

La EEA mide la luz emitida por los átomos excitados y permite hacer análisis cualitativo y cuantitativo de varios elementos a la vez. La EAA mide la línea de luz típica absorbida por los átomos pudiendo hacer el análisis cuantitativo de un solo elemento a la vez. La EIP utiliza plasma de argón, permite una evaluación de metales y no metales con alta precisión (Gomis, 2008a,b), es una técnica ampliamente usada y recomendada para análisis de minerales en gramíneas (Santos, 2012) en vacas, cabras y camellos (Elhardallou y El-Naggar, 2016).

Las técnicas tradicionales para medición de macrominerales, basadas generalmente en espectroscopía, exigen laboratorios con instalaciones y equipos especializados, personal calificado e insumos para procesamiento, lo que las vuelve costosas y en muchas oportunidades demoradas, alejando su utilización para la toma de decisiones por parte de los productores, profesionales e investigadores (Molano *et al.*, 2016; Bezada *et al.*, 2017).

Como alternativa tecnológica aplicando una herramienta de la era digital, se ha desarrollado un algoritmo matemático, que analiza las imágenes RGB (Red, Green, Blue) tomadas mediante un dron con cámara HD a las praderas, que identifica las longitudes de onda capturadas por la fotosíntesis en los cloroplastos, y que mediante modelación de la bioquímica se calcula la energía neta de lactancia, proteína cruda, fibra en detergente neutro (Ospina *et al.*, 2020a,b; Ospina *et al.*, 2021). Una variante de esta tecnología ha avanzado en la correlación de la frecuencia de onda en el espectro RGB capturada por los cloroplastos y la estimación de concentración de minerales en la MS de las gramíneas, que podría ser utilizada para la determinación de la composición mineral foliar presentes en las praderas bajo pastoreo que se pretende evaluar en el presente trabajo.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la precisión en el cálculo de los porcentajes en la materia seca de gramíneas de los macrominerales K, Ca, P, Mg y S del algoritmo de análisis de imágenes RGB (2ARGB®), usando como referencia el análisis de laboratorio hecho a partir de espectroscopía de emisión de plasma inductivamente acoplado (EIP) del laboratorio de Agrosavia, Tibaitatá (Mosquera, Colombia).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en alianza con tres grupos de investigación, según su área de influencia: Uniagraria para trópico alto (TA), Universidad de Cundinamarca para trópico medio (TM) y la Universidad del Tolima para trópico bajo (TB).

- En TA se tomaron muestras del pasto raigrás (*Lolium spp*) y kikuyo (*Cenchrus clandestinum*) en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Uniagraria – CIDT – , ubicado en el municipio de Madrid, Cundinamarca a 2587 msnm, con temperatura promedio de 15 °C.
- En TM se tomaron muestras de los pastos braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*) en el Centro de Investigación Agropecuario Granja La Esperanza de la Universidad de Cundinamarca, ubicada en el municipio de Fusagasugá, Cundinamarca a 1765 msnm, con temperatura promedio de 21 °C.
- En TB se tomaron muestras de los pastos Angleton climacuna (*Dichanthium annulatum*), pangola (*Digitaria decumbens*) en el área de la Granja La Reforma de la Universidad del Tolima, ubicada en el municipio de Armero-Guayabal, Tolima, a 285 msnm, con temperatura promedio de 29 °C.

En total se muestrearon siete tipos de gramíneas en época de lluvias. Para la toma de las muestras en cada sitio se demarcaron de una a tres parcelas por gramínea con un marco en tela de 2 x 2 m, que se dividió dejando a la vista cuatro cuadrantes de a 1 m². La edad de las pasturas osciló entre los 30 a 40 días de rebrote. Las parcelas se identificaron con una letra en una tabla plástica fácilmente legible para la toma de fotos aéreas. De cada cuadrante se tomaron dos muestras: una, «física» para ser enviada al laboratorio para el análisis de macrominerales mediante EIP y la otra, «una Imagen digital RGB» para el análisis mediante el algoritmo 2ARGB®.

Para el caso de las muestras físicas se tomaron ocho de pangola (*Digitaria decumbens*), ocho de colosuana (*Bothriochloa pertusa*), cuatro de Angleton climacuna (*Dichanthium annulatum*), ocho de estrella africana (*Cynodon nlemfuensis*), ocho de braquiaria (*Brachiaria decumbens*), ocho de raigrás (*Lolium spp*) y 12 de Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*), para un total de 60 muestras. Cada grupo de investigación en su respectiva universidad usando un protocolo estandarizado, de cada cuadrante de 1 m² tomó la muestra con tijera de jardín, pesó 250 g de forraje verde, embolsó teniendo cuidado de no mezclar entre cuadrantes, marcó y envió la gramínea correspondiente a la prueba de espectroscopía de inducción de plasma al laboratorio de Agrosavia Tibaitatá. La muestra no fue deshidratada para su envío.

Para el caso de la muestra por imagen digital se empleó un dron Dji Mavic Mini 1, con cámara 2.7 K, HD-RGB a 20 m de altura. En cada universidad, los investigadores verificaron la calibración de la cámara del dron según la recomendación del fabricante, y tomaron las imágenes de las parcelas antes del corte con tijera. Se tomaron imágenes digitales de los 60 cuadrantes de muestra para posteriormente ser procesadas con el algoritmo de análisis de imágenes 2ARGB®, del software TaurusWebs®.

Para el análisis de las imágenes con el algoritmo y con el objetivo de disminuir el sesgo involuntario que pudiese generar algún investigador por destreza en el manejo del ratón del computador, o agudeza en la visión al procesar las imágenes, se procedió a organizar un grupo de 11 analistas, que en simultáneo cada uno desde su computadora, procesó los 60 cuadrantes dando un total de 660 mediciones digitales.

Los datos obtenidos en el laboratorio mediante la prueba de EIP y los calculados por el algoritmo (2ARGB®), se llevaron a una tabla de apareamiento, usando como punto de conexión la identificación de los cuadrantes. Cada medición hecha por los investigadores con el algoritmo se pareó con el correspondiente resultado proveniente del laboratorio. Se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión, se identificaron *outliers* con la prueba de *box plot*, que al analizar en su mayoría correspondieron a errores de digitación o de destreza en el uso del ratón al seleccionar las imágenes a procesar siendo eliminados: Finalmente se corrió una prueba de análisis de varianza (ANOVA) Bonferroni para identificar y descartar sesgos que pudiesen ser generados por los investigadores y así garantizar que estos no afectarían las mediciones. Se descartaron alrededor del 10% de las mediciones hechas por

los investigadores. Se evaluaron los supuestos estadísticos y se aplicó la prueba de hipótesis de Wilcoxon para comparación de medianas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 presenta los datos de los macrominerales en la materia seca de gramíneas, obtenidos mediante EIP y el algoritmo 2ARGB®. Los promedios calculados de porcentaje de macrominerales en la materia seca son similares entre las dos técnicas, los intervalos de confianza al 95% se traslapan en sus rangos y al comparar las medianas mediante la prueba de Wilcoxon, los datos del K, Ca, P, Mg y S son iguales.

Al comparar los resultados por cada mineral del Cuadro 2 contra los rangos por cada mineral del Cuadro 1 se observa que los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo reportado por la literatura para las gramíneas (Villalobos *et al.*, 2018; Jack *et al.*, 2021; Agrosavia, 2022). Por otro lado, como se puede apreciar en la Figura 1, los promedios de macrominerales en la materia seca de las gramíneas medidos por la técnica EIP vs algoritmo 2ARGB son visualmente similares.

Cuadro 2. Porcentaje de macrominerales en la materia seca de gramíneas tropicales determinado mediante la técnica de espectroscopia de inducción de plasma (EIP) y calculados por el algoritmo 2ARGB®

Mineral	N.º casos EIP	N.º casos algoritmo	Promedio EIP % MS	Promedio algoritmo % MS	Intervalo de confianza 95% EIP	Intervalo de confianza 95 % Algoritmo	P valor ¹
K	499	499	2.32	2.32	2.214 - 2.427	2.240 - 2.401	p<0.05
Ca	499	499	0.36	0.37	0.358 - 0.371	0.368 - 0.378	p<0.05
P	655	655	0.29	0.28	0.280 - 0.300	0.271 - 0.283	p<0.05
Mg	280	280	0.18	0.17	0.174 - 0.186	0.169 - 0.178	p<0.05
S	507	507	0.16	0.16	0.15 - 0.16	0.15 - 0.16	p<0.05

¹ Prueba de Willkoxon

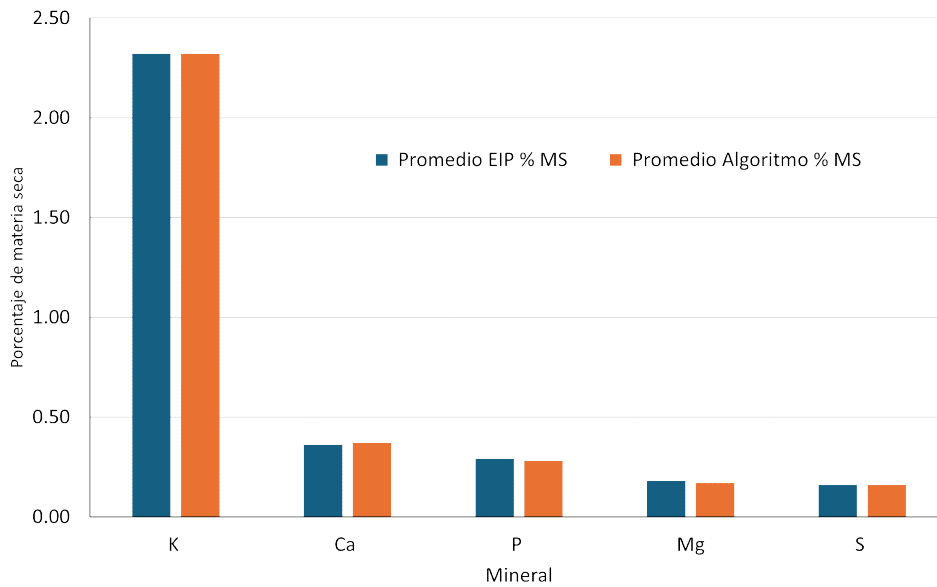


Figura 1. Composición porcentual de macrominerales en la materia seca de gramíneas determinado mediante la técnica de espectroscopía de inducción de plasma (EIP) y calculados por el algoritmo 2ARGB®

Cuadro 3. Porcentaje de macrominerales en la materia seca por gramínea determinado mediante la técnica de espectroscopía de inducción de plasma (EIP) y calculados por el algoritmo 2ARGB®

Pasto	n	Potasio, % Ms		Fosforo, % Ms		Magnesio, % Ms		Calcio, % Ms		Azufre, % Ms	
		Algoritmo	Químico	Algoritmo	Químico	Algoritmo	Químico	Algoritmo	Químico	Algoritmo	Químico
Angleton climacuna	44	1.91	1.49	0.26	0.25	0.17	0.14	0.39	0.26	0.15	0.12
<i>Brachiaria decumbens</i>	88	2.06	1.55	0.27	0.18	0.17	0.25	0.38	0.40	0.16	0.11
Colosuana	87	1.41	1.30	0.23	0.17	0.15	0.15	0.44	0.38	0.12	0.11
Estrella africana	86	2.37	1.85	0.29	0.34	0.18	0.15	0.36	0.38	0.18	0.19
Kikuyo	132	2.87	3.36	0.32	0.30	0.19	0.23	0.34	0.30	0.21	0.21
Pangola	83	1.20	1.18	0.21	0.27	0.14	0.13	0.46	0.46	0.11	0.11
Ray grass	88	3.72	4.51	0.37	0.37	0.19	0.17	0.32	0.35	0.27	0.33
Promedio		2.32	2.32	0.28	0.29	0.18	0.17	0.37	0.36	0.16	0.16

Así mismo, en el Cuadro 3 se presentan los datos de los macrominerales por gramínea. Para el caso del kikuyo, los valores de los macrominerales obtenidos se encuentran dentro de los rangos reportados por el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, que emplea metodologías de química tradicional (Correa *et al.*, 2008).

Para el ray Grass, Villalobos *et al.* (2018) en Costa Rica reportaron contenidos similares de P, K, Mg y S con diferencias en el nivel de Ca que está por encima de lo encontrado en el presente estudio. Para *Brachiaria decumbens* y estrella africana, Miranda y Osorio (2012) reportaron para P, K, Ca, Mg y S valores similares a los presentados en el Cuadro 3. La base de datos

Alimento (Agrosavia, 2022) reporta un rango de valores similares a los encontrados en el presente estudio para las gramíneas Colosuana, Angleton Climacuna y Pangola, en P, K, Ca, Mg y S.

Las técnicas algoritmo 2ARGB® y EIP están generando resultados similares en cuanto a porcentaje de macrominerales en la materia seca y, los valores que se encuentran están dentro del rango reportado en la literatura para las gramíneas en estudio. La ventaja del algoritmo está en que una persona con un dron relativamente económico y el algoritmo podría hacer el análisis de macrominerales de una pradera, o inclusive de toda una finca, en tiempo real a bajo costo. La desventaja es que al trabajar a partir de la fotosíntesis se necesita que la planta esté viva para que el algoritmo pueda hacer los cálculos. En casos que la planta está muerta (grano de maíz o ensilaje de pasto) y, por lo tanto, no hacen fotosíntesis, no se podría calcular la composición de macrominerales en la materia seca.

CONCLUSIONES

- No hay diferencias en la estimación del contenido porcentual de los macrominerales Ca, P, K, Mg y S en la materia seca de las gramíneas obtenidos con el algoritmo 2ARGB® frente a los obtenidos por la técnica estándar espectroscopía de inducción de plasma de argón (EIP).
- Los contenidos de macrominerales por gramínea obtenidos por el algoritmo 2ARGB® resultan estar dentro de los rangos reportados por la literatura.
- El uso de la tecnología del algoritmo 2ARGB®, permite que los productores y profesionales del sector pecuario cuenten con herramientas digitales para el análisis foliar mineral de los macrominerales de las praderas y para la toma de decisiones en tiempo real frente a la suplementación mineral del ganado y la fertilización de las praderas.

LITERATURA CITADA

1. **Agrosavia. 2022.** Colombia Alimento. [Internet]. Disponible en: <http://alimento.agrosavia.co/Estadisticas/ReporteAnalisis>
2. **[AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 2012.** Official methods and analysis to the 19th ed. Gaithersburg, USA: AOAC.
3. **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
4. **Berzaghi P, Lotto A, Mancinelli M, Benozzo F 2018.** Technical note: Rapid mineral determination in forages by X-ray fluorescence. *J Dairy Sci* 101: 9967-9970. doi: 10.3168/jds.2018-14740
5. **Bezada S, Arbaiza T, Carcelén F, San Martín F, López C, Rojas J, Rivadeneira V, et al.** Predicción de la composición química y fibra detergente neutro de rye grass italiano (*Lolium multiflorum* Lam) mediante espectroscopía de reflectancia en infrarrojo cercano (NIRS). *Rev Inv Vet Perú* 28: 538-548. doi: 10.15381/rivp.v28i3.13357
6. **Chaparro AL, García JJ, Cardona Y, Bustamante JJ, Peláez M. 2016.** Desarrollo y validación de un método ambientalmente amigable para determinación de metales pesados en pastos. *Rev. Cienc Agr* 33: 3-15. doi: 10.22267/rcia.163302.48
7. **Correa HJ, Pabón ML, Carulla JE. 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 Develop* 20(4). [Internet]. Disponible en: <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd20/4/corra20059.htm>

8. **Dudek T, Wolański P, Rogut K. 2020.** The content of macro-and micro minerals in the sward of different types of semi-natural meadows of temperate climate in SE Poland. *Agronomy* 10: 273. doi: 10.3390/agronomy10020273
9. **Elhardallou SB, El-Naggar AY. 2016.** Determination of micro minerals in milk from farm and pasture-reared cow, goat and camel; using inductively coupled plasma-optical emission spectrometry.- *Orient J Chem* 32: 341-347. doi: 10.13005/ojc/320138
10. **Gomis Yagües V. 2008a.** Tema 3. Cromatografía de gases. Técnicas Instrumentales en el análisis industrial. [Internet]. Disponible en: : <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8247/4/T3gascromat.pdf?iframe=true&width=95%&height=95%>
11. **Gomis Yagües V. 2008b.** Tema 7. Espectroscopía de emisión y absorción atómica. Técnicas instrumentales en el análisis industrial. [Internet]. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/8252/4/T7Abasorc.pdf>
12. **Jack H, Burke JL, Cranston L, Morel PCH, Knights M. 2021.** The mineral content of some tropical forages commonly used in small ruminant production systems in the Caribbean-Part 2. *Trop Agr* 97: 49-56.
13. **Jiménez Heinert ME, Grijalva Endara A de las M, Ponce Solórzano HX. 2020.** Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). *Recimundo* 4: 4-12. doi: 10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.4-12
14. **Mello PA, Pereira JS, Mesko MF, Barin JS, Flores EM. 2012.** Sample preparation methods for subsequent determination of metals and non-metals in crude oil - a review. *Anal Chim Acta* 746: 15-36. doi: 10.1016/j.aca.2012.-08.009
15. **Miranda JL, Osorio JL. 2012.** Análisis de gramíneas tropicales y simulación de producción potencial de leche. Tesis de Ingeniería Agrónoma. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. 26 p.
16. **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
17. **[NRC] National Research Council. 2001.** Nutrient requirements of dairy cattle. 7th Rev. Washington DC, USA: NRC. doi:10.17226/9825
18. **Ospina O, Anzola Vásquez H, Ayala Duarte O, Baracaldo-Martínez A. 2020a.** Validación de un algoritmo de procesamiento de imágenes Red Green Blue (RGB), para la estimación de proteína cruda en gramíneas vs la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIRS). *Rev Inv Vet Perú* 31: e17940. doi: 10.15381/ripev.v31i2.17940
19. **Ospina O, Anzola H, Ayala O, Baracaldo A, Arévalo J, Lozada P, Benavides I, et al. 2020b.** Producción de leche real vs la calculada a partir de la ENL estimada por el algoritmo de análisis de imágenes red-green-blue de gramíneas. *Cienc Rural* 5: e20200551. doi: 10.1590/0103-8478cr20200551
20. **Ospina O, Anzola H, Ayala O, Baracaldo A, Lozada P. 2021.** Comparación de la fibra detergente neutra en gramíneas, calculada mediante algoritmo de análisis de imágenes rojo, verde y azul vs. espectroscopia del infrarrojo cercano. *Rev Inv Vet Perú* 32: e17498. doi: 10.15381/rivep.v32i1.17498
21. **Parrini S, Acciaioli A, Franci, O, Pugliese C, Bozzi, R. 2019.** Near infrared spectroscopy technology for prediction of chemical composition of natural fresh pastures. *J Appl Anim Res* 47: 514-520. doi: 10.1080/09712119.-2019.1675669

22. **Santos ÉJD, Baika LM, Herrmann AB, Kulik S, Sato CS, Santos ABD, Curtius AJ. 2012.** Fast assessment of mineral constituents in grass by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Braz Arch Biol Technol* 55: 457-464. doi:10.1590/S1516-89132012-000300017
23. **Serrano J, Shahdian S, Carapau Â, Rato A. 2021.** E. Near-infrared spectroscopy (NIRS) and optical sensors for estimating protein and fiber in dryland mediterranean pastures. *AgriEngineering* 3: 73-91. doi: 10.3390/agriengineering-3010005
24. **Shepeleva LF, Cherepinskaya AN, Rabtsevich ES, Kolesnichenko LG. 2019.** Yearly dynamics in the elemental composition of the floodplain meadow phytocenoses herbage. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 232. doi: 10.1088/1755-1315/232/1/012022
25. **Villalobos-Villalobos L, Sánchez J. 2018.** Contenido macro y micromineral del pasto ryegrass (*Lolium* spp) en la zona alta de Cartago, Costa Rica. *Nutr Anim Trop* 12: 1-19. doi: 10.15517/nat.v12i2.34927