



ESTIMACIÓN DE LA BIOMASA EN UNA PRADERA DE KIKUYO MEDIANTE EL USO DE SENSORES REMOTOS

ESTIMATION OF BIOMASS IN A PRAIRIE OF KIKUYU GRASS USING REMOTE SENSORS

Álvaro A. Bernal¹

Amanda Acero-Camelo²

Alex Fernando Gutiérrez³

¹ MSc, docente Universidad de Cundinamarca, Facatativá, Cundinamarca, Colombia.
aalfonsobernal@ucundinamarca.edu.co

² PhD, profesora asociada Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
raaceroc@unal.edu.co

³ Zootecnista, asistente técnico Cooperativa Colanta, Funza, Cundinamarca, Colombia.
alexgh@colanta.com.co

Citación: Bernal, Á., Acero-Camelo, A. y Gutiérrez, A. (2024). Estimación de la biomasa en una pradera de Kikuyo mediante el uso de sensores remotos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 15(1), 175-190. <https://doi.org/10.22490/21456453.6657>

RESUMEN

Contextualización: la medición directa de la biomasa en las pasturas es el método más confiable, sin embargo, es un método destructivo y dispendioso.

Vacío de conocimiento: recientemente se han investigado técnicas con el uso de sensores remotos para estimar características fisiológicas y morfológicas en cultivos a partir de sus propiedades ópticas, y llegar a estimaciones de biomasa; de manera que, resulta valioso evaluar estas técnicas en forrajes perennes como el kikuyo (*Cenchrus clandestinus*).

Propósito: el objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología para estimar biomasa en praderas a partir de sus características espectrales y morfológicas, utilizando diferentes fuentes de información remota.

Metodología: se empleó una franja de pastoreo de 1870 m², subdividida en 27 subparcelas, en donde se realizaron mediciones directas de biomasa y altura sin disturbar (ASD); se tomaron fotografías aéreas con un UAS, y se seleccionó una imagen del satélite Sentinel 2B que capturó la escena del lugar de estudio coincidente con la fecha de vuelo del UAS y las medidas de campo; por medio de técnicas de fotogrametría aérea, se calculó un

modelo digital de elevación (DEM, por su sigla en inglés) utilizado para estimar la altura de la pastura; a partir de la ortofotografía se calculó el índice de vegetación rojo, verde, azul (RGBVI), y con la imagen del satélite se determinó el índice de diferencia de vegetación normalizado (NDVI); se correlacionó la altura medida en campo con la altura estimada mediante el DEM, usando el coeficiente de Pearson, y se correlacionó la biomasa medida en campo con los índices NDVI, RGBVI y la altura estimada mediante modelos de regresión lineal.

Resultados y conclusiones: se encontró una correlación fuerte (0,64) entre la altura medida directamente y la altura calculada mediante el DEM. La correlación entre NDVI y la biomasa fue baja ($R^2=0,13$), y no se encontró relación con el índice RGBVI ($R^2=0,02$). Entre la altura estimada mediante el DEM y la biomasa se encontró una relación media ($R^2=0,42$), la cual indica que esta es una metodología promisoriosa capaz de sustituir los métodos destructivos y de brindar información más precisa en tiempo y espacio.

Palabras clave: *Cenchrus clandestinus*, drone, fitomasa, manejo de praderas, pastoreo de precisión

ABSTRACT

Contextualization: Direct measurement of biomass in pastures is the most reliable method; however, it is a destructive and wasteful method.

Knowledge gap: Recently, techniques using remote sensing to estimate physiological and morphological characteristics in crops have been investigated from their optical properties and reach biomass estimates. It is valuable to evaluate these techniques in perennial forages such as Kikuyu grass (*Cenchrus clandestinus*).

Purpose: This work aimed to develop a methodology to estimate biomass in prairies based on their spectral and morphological characteristics using different sources of remote information.

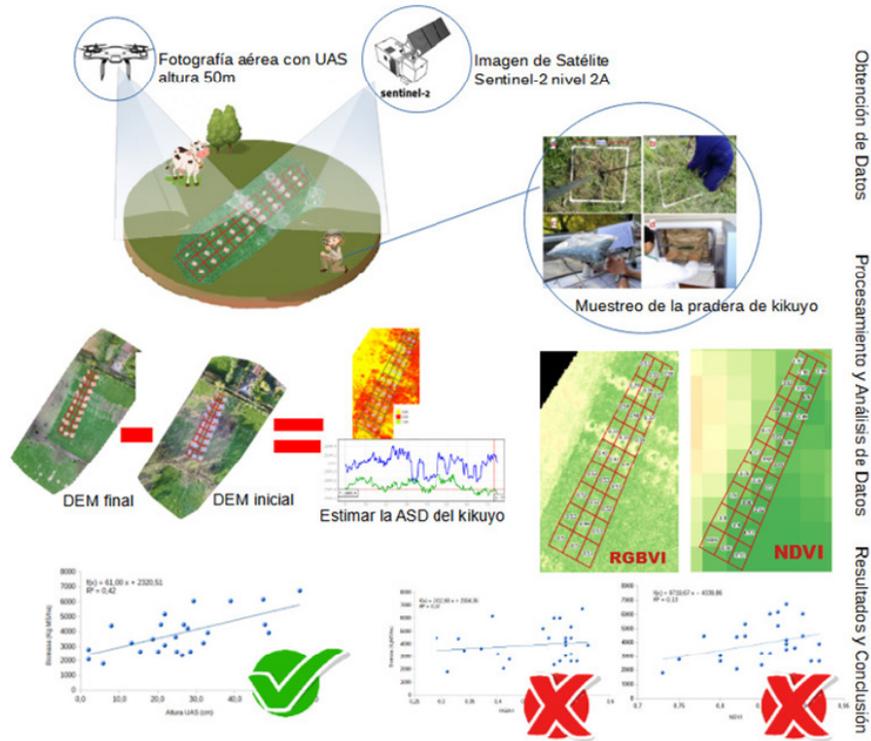
Methodology: A grazing strip of 1870 m² was used, subdivided into 27 subplots, where direct measurements of biomass and undisturbed height (ASD, for its Spanish acronym) were carried out. Aerial photographs were taken with a UAS. A Sentinel 2B satellite image that captured the scene of the study site coinciding with the UAS flight date and the field measurements was selected. A digital elevation model (DEM) was calculated using aerial photogrammetry techniques, which

was used to estimate pasture height. The Red-Green-Blue Vegetation Index (RGB-VI) was calculated from the orthophotography, and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was determined from the satellite image. The height measured in the field was correlated with the estimated height by DEM using the Pearson correlation coefficient. The biomass measured in the field was correlated with the NDVI, RGBVI, and the estimated height through linear regression models.

Results and conclusions: A strong correlation (0.64) was found between the directly measured height and the height calculated using the DEM. However, the correlation between NDVI and biomass was low ($R^2=0.13$), and no relationship was found with the RGBVI index ($R^2=0.02$). An average relationship ($R^2=0.42$) was found between the height estimated by DEM and the biomass, indicating that this is a promising methodology to replace destructive methods and to provide more accurate information in time and space.

Keywords: *Cenchrus clandestinus*, drone, phytomass, prairies management, precision grazing

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1. INTRODUCCIÓN

La producción de leche en Colombia para 2021 fue de 7821 millones de litros (Fedegan, 2021), con una producción promedio por vaca de 6,3 L/d (DANE, 2020). En Colombia, la producción de leche está basada en sistemas en pastoreo, y para el caso del trópico de altura, la especie forrajera predominante es el pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinus* Hoschst ex Chiov) (Carulla y Ortega, 2016). Conocer la biomasa disponible por unidad de área es un aspecto fundamental para tomar decisiones acertadas en los sistemas de pastoreo (López-Guerrero *et al.*, 2011; Murphy *et al.*,

1995), dado que permite controlar la oferta de forraje para los animales y realizar un adecuado manejo de la cuerda eléctrica para asignar las franjas a pastorear. Otra decisión que se puede tomar considerando la biomasa disponible, es el momento de dejar como rezago un potrero y destinarlo a la conservación de forrajes (Canseco *et al.*, 2007). Por otra parte, es posible estimar el consumo de los animales a partir de la medición de la biomasa disponible antes y después del ingreso de los mismos al área de pastoreo (Lantinga *et al.*, 2004).

Una de las dificultades que presenta la estimación de la biomasa disponible es la heterogeneidad de la pradera, la cual es causada por la variación en la tasa de crecimiento del forraje. La tasa de crecimiento se ve influenciada por factores como la composición botánica, la calidad y estructura del suelo, la fertilización y la disponibilidad de agua (Lantinga *et al.*, 2004). Adicionalmente, la disponibilidad de biomasa en una pradera es dinámica (Canseco *et al.*, 2007), pues las tasas de crecimiento cambian en respuesta a las condiciones ambientales, como la temperatura y la precipitación, que son variables durante el año. Estos aspectos hacen que conocer la verdadera disponibilidad de forraje no sea una tarea fácil.

Una alternativa viable es la utilización de sensoramiento remoto que dinamice y precise la cuantificación de la biomasa disponible (de Alckmin, *et al.*, 2021; Dusseux *et al.*, 2014), permitiendo realizar una planeación a mediano y largo plazo del pastoreo, lo cual contribuiría a una mayor rentabilidad de las fincas ganaderas.

El uso de sensores remotos para la estimación de biomasa en diferentes tipos de cultivos y forrajes es cada vez más común, principalmente por su capacidad para hacer estimaciones en áreas de gran tamaño

o difícil acceso sin que se requieran mediciones destructivas en campo (Michez *et al.*, 2020). Actualmente se utilizan imágenes multispectrales de satélites pasivos, aunque tienen ciertas limitaciones debido a la interferencia de la atmósfera; otra fuente de información remota que ha cobrado popularidad en la última década es el monitoreo con sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS, por su sigla en inglés), dotados con sensores de alta resolución (Rueda *et al.*, 2015). Trabajos como el de González (2019), muestran el potencial de usar imágenes aéreas de alta resolución para la medición de características de las plantas como la altura y la estimación de la biomasa en cultivos, también se han evaluado algunos índices a partir de imágenes ópticas en color rojo, verde y azul (RGB, por su sigla en inglés) y estimación de la biomasa a partir de su correlación con la altura de la planta medida por medio de modelos de elevación digital (Bending *et al.*, 2015; Possoch *et al.*, 2016, Corti *et al.*, 2022).

El objetivo de este trabajo fue desarrollar una metodología para la estimación de la biomasa disponible en praderas de kikuyo a partir de sus características espectrales o morfológicas obtenidas mediante el uso de sensores remotos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en una finca ubicada en el municipio de Facatativá (4°50'00"N; 72°22'50"O), departamento

de Cundinamarca, Colombia, a una altitud promedio de 2595 m.s.n.m., con temperatura media anual entre 12 y 16°C, y

un régimen hídrico bimodal caracterizado por dos épocas secas y dos de lluvias (IDEAM, 2015).

Medición directa de la altura sin disturbar de la pradera y muestreo de la biomasa

En el área de estudio se seleccionó una franja transversal con un área de 1870 m², la cual fue dividida en veintisiete subparcelas de 10 m de largo y un ancho variable entre 4 y 7 m, obteniendo un área media de 53.8 m² (Figura 1); en cada subparcela se tomó al azar un punto y con una varilla graduada se midió la ASD que fue tomada como la representativa para la subparcela; una vez medidas las alturas se clasificaron en tres estratos: bajo, medio y alto.

De acuerdo a la altura definida para cada estrato se llevó un cuadro de muestreo de

0.25 m², se arrojó al azar en dos de las subparcelas que cumplan el criterio de la altura para cada estrato, y se cosechó el forraje contenido en el cuadro a una altura de corte de 10 cm; el forraje cosechado se pesó y las muestras fueron llevadas a laboratorio y secadas en horno de ventilación forzada a 60°C por 48 horas para la determinación de la materia seca (AOAC, 2006).

Con los datos obtenidos se calculó la biomasa disponible expresada en kilogramos de materia seca por hectárea; se realizaron muestreos durante tres ciclos de pastoreo, comprendidos entre el 21 de agosto y el 3 de diciembre de 2019; en cada ciclo se hizo un muestreo inicial dos o tres días después del pastoreo, un muestreo intermedio y un muestreo final antes del ingreso de los animales.

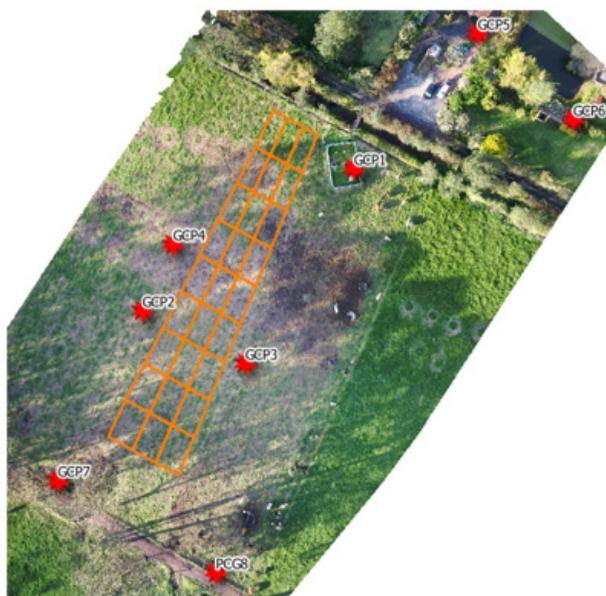


Figura 1. Ortofotografía del área de estudio y la delimitación de las subparcelas. Fuente: autores.

Adquisición de imágenes

Se descargó una imagen Sentinel 2 nivel 2A sensada el día 5 de diciembre de 2019 desde la plataforma Copernicus Open Access Hub de la Agencia Espacial Europea, la cual fue apropiada para comparar con los datos del muestreo del 3 de diciembre de 2019.

Para obtener las imágenes RGB se tomaron fotografías aéreas con un UAS con cámara abordo en posición cenital. La resolución de las fotografías fue de 4000 x 3000, 12 megapíxeles efectivos y fueron almacenadas en formato JPG. Se realizaron dos vuelos: el primero fue el 5 de noviembre de 2019, dos días después de haber sido pastoreada la franja estudiada; y el segundo, el 3 de diciembre de 2019, dos días antes del ingreso de los animales al nuevo ciclo de pastoreo. Los vuelos se hicieron a 50 metros de altura, definida como la altura mínima segura debido a la presencia de árboles. Se establecieron ocho puntos de control reconocidos en las fotografías y georeferenciados.

Análisis de la información

Información capturada por UAS

Las imágenes obtenidas mediante el UAS fueron filtradas para separar las que cubrían el área muestreada y que mantuvieran un solape de más de 80%. Se generó un ortofotomapa en formato tiff con el software Open Drone Map (Opendrone-map.org, 2021), el cual arrojó como producto una ortofotografía y un DMS para

cada vuelo; en el primer vuelo se obtuvo el DSM con la altura inicial del terreno más el residual del pastoreo; y en el segundo vuelo se obtuvo el DSM incluyendo la altura de la pastura al momento de cosecha o ingreso al nuevo ciclo de pastoreo. Dado que las alturas obtenidas se encuentran en metros sobre el nivel del mar, se calculó la diferencia entre la altura del DSM del segundo vuelo menos la altura del DSM del primer vuelo, estimando de esta manera la altura de crecimiento de la pastura durante el período evaluado.

Con la ortofotografía en formato tiff obtenida del segundo vuelo realizado por el UAS se separaron las bandas, obteniendo cuatro bandas. Banda 1 correspondiente al canal rojo, banda 2 correspondiente al canal verde, banda 3 correspondiente al canal azul y banda 4 correspondiente al canal Alpha del brillo de la imagen; y con estas, se generó la capa del índice RGBVI, usando la ecuación desarrollada por Bendig *et al.* en 2015 (Ecuación 1). Para este procedimiento se utilizó el software QGIS (QGIS.org, 2021).

$$RGBVI = \frac{G^2 - (B * R)}{G^2 + (B * R)} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Información proveniente del satélite

Se utilizaron las bandas del rojo (Banda 4) y el infrarrojo cercano (Banda 8) para generar el NDVI. Se cortaron las imágenes de las diferentes bandas para el área de estudio con el software QGIS y el plugin Semi-Automatic Classification. Con di-

chas imágenes se generó la capa de NDVI y se calculó un índice promedio para cada subparcela, el cual permitió hacer el análisis de correlación de los índices con la biomasa.

Análisis estadístico de los datos

Se generaron ecuaciones para la estimación de la biomasa a partir de la altura sin disturbar, medida por el método directo con los datos de los tres ciclos de mediciones y ecuaciones específicas para cada ciclo, considerando que hubo diferencias en el comportamiento de la precipitación. El primer ciclo correspondió a la época de

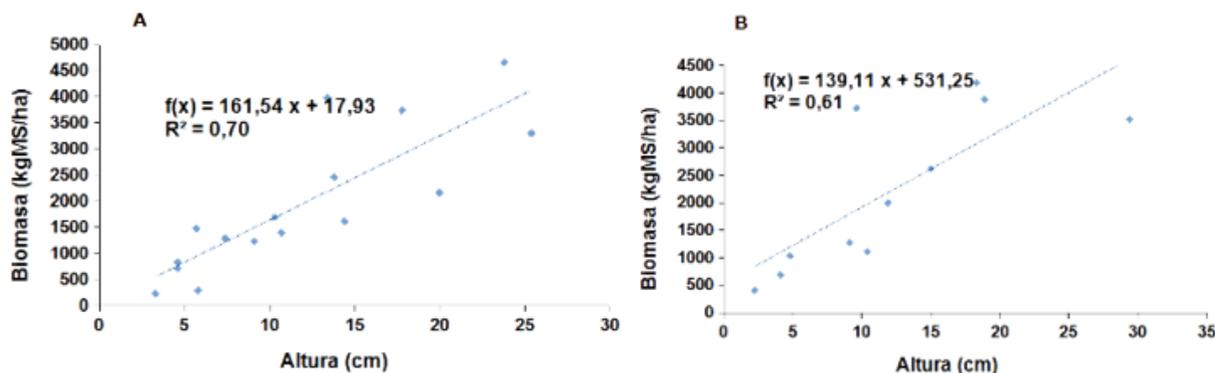
baja precipitación, el segundo ciclo a transición de época seca a lluvias y el tercer ciclo a la época de lluvias. Aplicando la ecuación generada con los datos de todos los muestreos se determinó la biomasa para cada subparcela.

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para determinar si existía relación entre la altura medida con método directo y la altura estimada por el DEM; también, se hizo un análisis de regresión lineal simple entre el NDVI, el RGBVI y la altura estimada por el DEM versus la biomasa definida para cada subparcela.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que existe una relación lineal entre la ASD y la biomasa para las praderas de kikuyo en época seca ($r^2=0,7$), época de transición ($r^2=0,6$), época de lluvias ($r^2=0,8$) y con el modelo general que contenía la información de los tres ciclos

($r^2=0,7$) (Figura 2). Estos resultados confirman que la ASD es un buen predictor de la biomasa en el pasto kikuyo dentro de las alturas manejadas en pastoreo, como había sido reportado en trabajos previos (Acero, 2019).



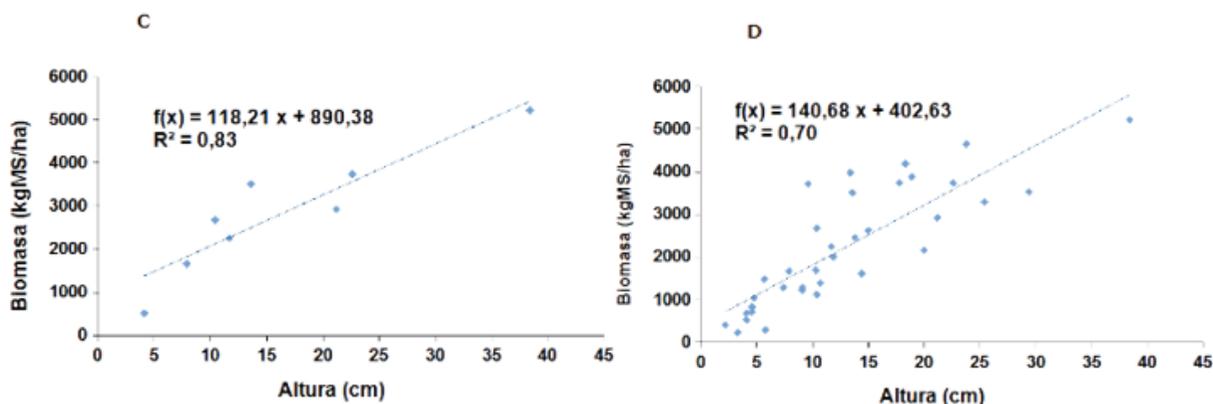


Figura 2. Relación entre la ASD y la biomasa en praderas de kikuyo para época seca(A), transición (B) y lluvias (C) y con la información de los tres ciclos de mediciones (D).

Fuente: autores.

El análisis de correlación de Pearson mostró que existe una relación significativa ($p < 0.001$) entre la ASD de la pradera de kikuyo medida por el método directo y la altura estimada por el DEM, obteniéndose un coeficiente de 0.64, lo cual coincide con los resultados encontrados por Corti *et al.*, (2022) ($r^2 = 0,8$) en diferentes cultivos que incluían gramíneas y por Maimaitijag *et al.*, (2019) en cultivos de soya ($r^2 = 0.89$). Este resultado muestra la viabilidad de uso de los DEM para estimar ASD en pasturas.

Los modelos de regresión generados entre la altura estimada a partir del DEM y la biomasa obtenida a partir de la ecuación para época de lluvias, que corresponde al ciclo en que se tomaron las imágenes y la ecuación general, fueron significativos ($p > 0.01$) y similares, con un coeficiente de determinación medio de 0.42 (Figura 3). Dos aspectos que pudieron afectar esta

correlación fueron la composición botánica y la altura baja de la pradera. Además, las praderas muestreadas tenían presencia de especies diferentes al kikuyo como *Rumex crispus* y *Lolium sp.*, las cuales no fueron tenidas en cuenta en las mediciones realizadas por el método directo, sin embargo, el análisis a través del DEM sí las incluyó. Por otra parte, Possoch *et al.* (2016) evaluaron la correlación entre la altura comprimida medida con plato medidor y la altura estimada con DEM, reportando que en alturas bajas se acumula error, y que requiere generar factores de ajuste. La diferencia con otros trabajos que han encontrado coeficientes de determinación más altos, como Possoch *et al.* (2016) ($r^2 = 0.6$) y Bending, *et al.*, (2015) ($r^2 = 0.85$), pudo deberse al número de parcelas utilizadas en dichos estudios, el cual fue superior a cien. A pesar de los aspectos discutidos previamente, los cuales deben analizarse y generar posibles criterios

de ajuste, la predicción de la biomasa en las pasturas de kikuyo a partir de la ASD estimada mediante DEM es una metodo-

logía promisoría como alternativa al método directo, que puede brindar información más precisa en tiempo y espacio.

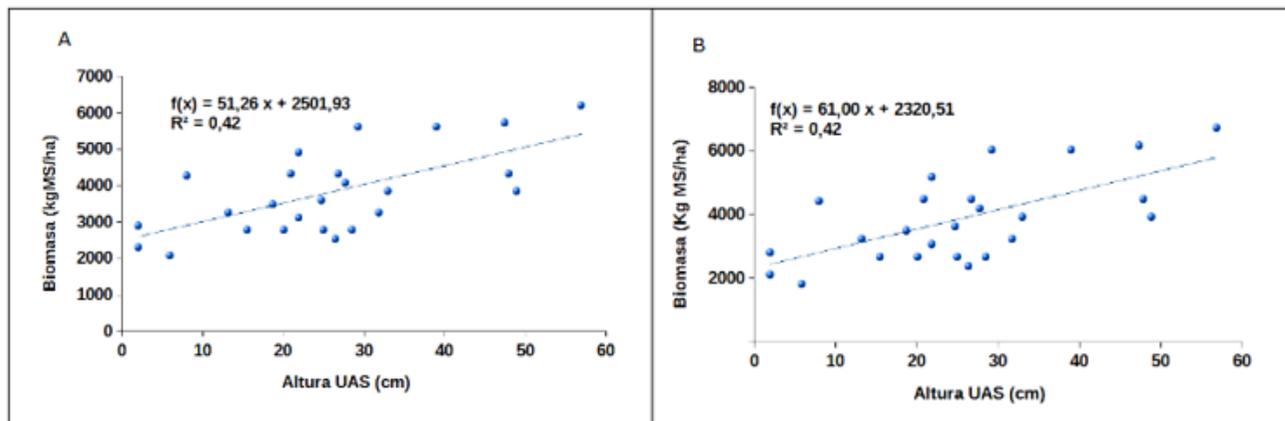


Figura 3. Relación entre la ASD calculada a partir del DEM y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). Fuente: autores.

Se encontró una relación baja ($r^2=0,13$) entre el índice NDVI y la biomasa del kikuyo obtenida a partir de la ecuación de la época de lluvias, al igual que con la ecuación general (Figura 4). Los valores obtenidos para el NDVI a partir de las imágenes satelitales estuvieron entre 0.73 y 0.92, lo cual coincide con lo encontrado por Posada-Asprilla *et al.* (2019) en kikuyo, quienes obtuvieron valores para este índice entre 0.63 y 0.89 utilizando una cámara con sensor multiespectral. Aunque en trabajos previos se ha encontrado una relación lineal entre el índice NDVI y la biomasa en diferentes cultivos (de Alckmin *et al.*, 2021; Bending *et al.*, 2015), en este trabajo no se encontró una relación lineal fuerte, obteniendo un coeficiente de determinación de 0.13. Bending *et al.*

(2015) encontraron en cultivos de cebada una correlación entre el NDVI y la biomasa baja ($r^2=0.4$), atribuyendo el resultado a un posible efecto de saturación. Por su parte, Alckmin *et al.* (2021) encontraron para la relación entre el NDVI y la biomasa en raigrás un coeficiente de determinación de 0.48. Posada-Asprilla *et al.* (2019) reportaron una alta correlación entre el NDVI y la biomasa expresada como forraje verde (g/m^2) en kikuyo, usando un modelo que consideró el NDVI como una función suavizada, logrando un coeficiente de determinación de 0.993. Un aspecto que pudo influir en la baja correlación entre el NDVI y la biomasa en este trabajo es la menor resolución espacial de las imágenes satelitales comparada con fuentes como las cámaras multiespectra-

les y los espectroradiómetros. Algunos autores (Easdale *et al.*, 2019) no recomiendan el uso de imágenes de satélite para el análisis en áreas de parche de vegetación

o especie, en las cuales estarían clasificadas las parcelas de este estudio, debido a su baja resolución espacial.

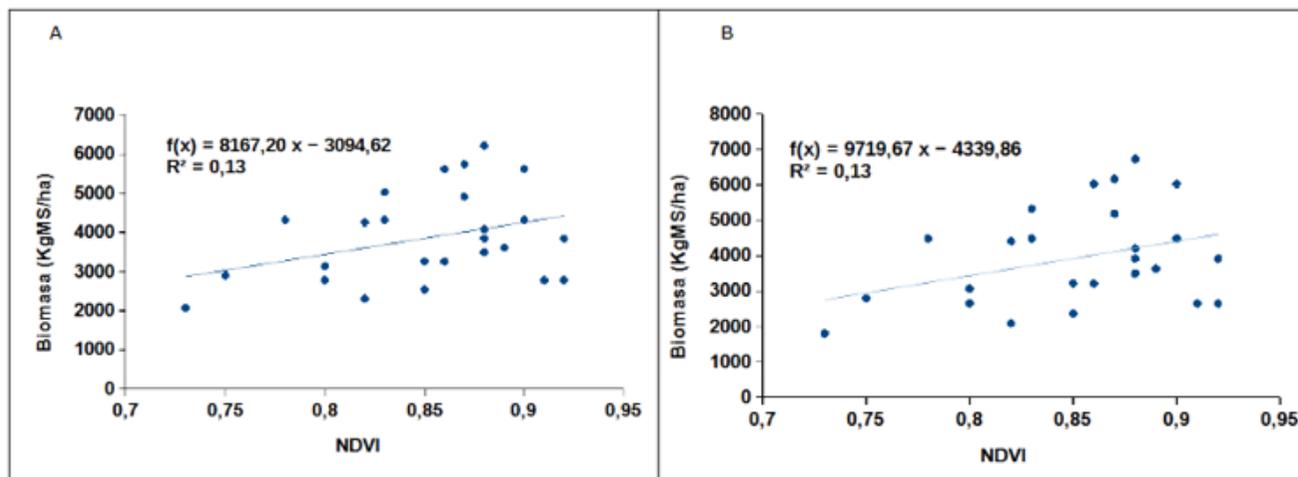


Figura 4. Modelo de regresión entre el NDVI y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). Fuente: autores.

No se encontró una relación entre el índice RGBVI y la biomasa del kikuyo determinada a partir de la ecuación de la época de lluvias, ni con la ecuación general ($r^2=0.02$) (Figura 5). Esto coincide con los resultados reportados por Possoch *et al.* (2016), quienes obtuvieron un coeficiente de determinación de 0.0012 entre el índice RGBVI calculado a partir de la ortofoto y la biomasa, y un resultado de 0.0877 entre el índice RGBVI obtenido a partir de mediciones hiperespectrales tomadas con un espectrómetro manual y la biomasa. Por su parte, Bending *et al.* (2015) encontraron una correlación que consideraron baja entre la biomasa en cultivos de cebada y el índice RGBVI, con un coeficiente de determinación de 0.47, sin embargo, los autores mencionan que este resultado debe

tomarse con cuidado por el bajo conjunto de datos utilizados para la calibración y validación del modelo. Más recientemente Lussem *et al.*, (2018) no encontraron relación ($r^2=0.00$) entre el índice RGBVI obtenido a partir de una ortofoto generada con imágenes UAS y la biomasa en praderas con un total de 156 datos. Estos resultados indican que, bajo las condiciones de este estudio y teniendo en cuenta los resultados contrastantes entre los diferentes trabajos previos, los índices de vegetación evaluados no son predictores fuertes de la biomasa, en especial el RGBVI, a pesar de tener una alta resolución espacial; razón por la cual, deben realizarse más estudios en el caso de las praderas para considerar su aplicación con fines prácticos.

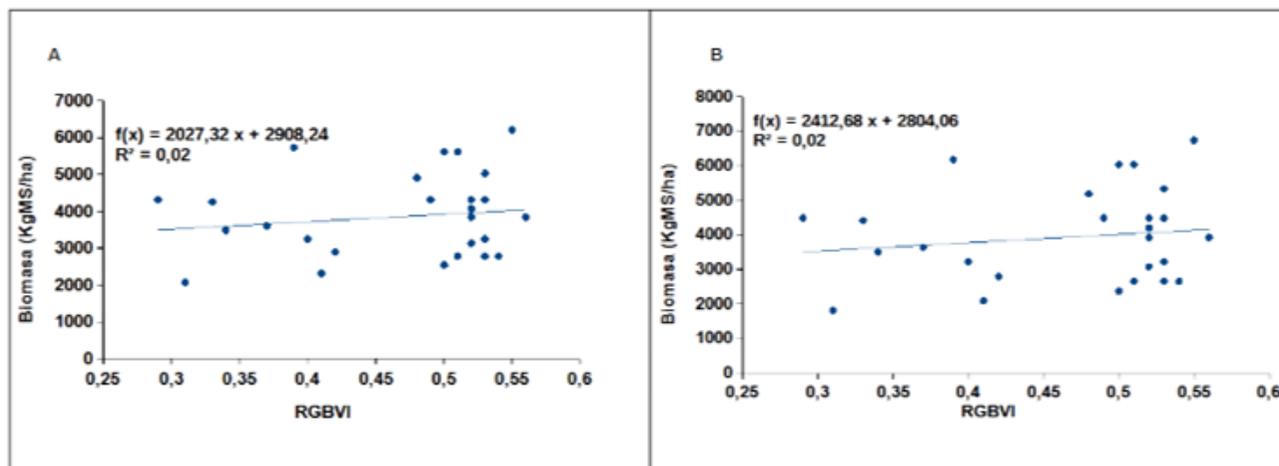


Figura 5. Modelo de regresión entre el RGBVI y la biomasa en praderas de kikuyo estimada con la ecuación de época de lluvias (A) y con la ecuación general (B). Fuente: autores.

El efecto de saturación de los índices para determinar la biomasa de las praderas merece ser estudiado, dado que como se mencionó anteriormente, algunos autores

lo han reportado, y para el caso de praderas muy densas como el kikuyo podría ser una limitante, especialmente al final del período de descanso de la pastura.

4. CONCLUSIONES

Las nuevas tecnologías en geomática como la fotogrametría y el sensoramiento remoto constituyen un apoyo importante a la agricultura de precisión, permitiendo mejorar el manejo de los sistemas de pastoreo. La estimación de la biomasa en los cultivos a partir de la altura determinada por modelos de elevación digital resulta ser una metodología promisoriosa, confiable para sustituir los métodos destructivos y brindar información más precisa en tiempo y espacio. En el caso de este estudio, esta fue la metodología que mostró mejor resultado para la estimación de la biomasa.

No se encontró relación fuerte entre el índice de vegetación NDVI y la biomasa medida en campo, y no hubo relación entre el índice de vegetación RGBVI y la biomasa bajo las condiciones de este experimento; sin embargo, trabajos realizados por otros autores muestran resultados diversos en algunos casos con relaciones medias y altas entre los índices y la biomasa, y en otros con relaciones muy bajas o inexistentes, lo cual indica que es necesario seguir investigando sobre el uso de estos índices con la finalidad de estimar la biomasa en pasturas.

El uso de imágenes de satélite de uso libre como las Sentinel 2 para la determinación de índices de vegetación como el NDVI en áreas de parche de vegetación o especie como las parcelas medidas en este trabajo,

no entregó buenos resultados debido a su menor resolución espacial y a la dificultad de encontrar mayor cantidad de imágenes en el período de estudio a causa de la interferencia por presencia de nubes.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Álvaro A. Bernal: metodología, investigación, análisis de imágenes y datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Amanda Acero-Camelo:** meto-

dología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original. **Alex Fernando Gutiérrez:** metodología, investigación, conceptualización.

AGRADECIMIENTOS

A la Hacienda Megaleche y a su gerente Ricardo Camacho por la disponibilidad del espacio para el desarrollo del estudio; al laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia de la Universidad Nacional de

Colombia, Bogotá; al laboratorio de suelos de la Universidad de Cundinamarca extensión Facatativá por el apoyo en el secado de muestras de forraje; y al departamento de asistencia técnica de la planta UHT Colanta, Funza.

LITERATURA CITADA

Acero C., R.A. (2019). *Aspectos ambientales y de manejo que determinan el crecimiento del kikuyo (Cenchrus clandestinus Hochst. exChiov. Morrone) en la Provincia de Ubaté*. [Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Colombia] <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75536>

Association of Official Analytical Chemists. [AOAC]. (2006). *Official Methods*

of Analysis of AOAC International. [18 ed. Chapter 4: Animal Feed]. WENDT THIEX NJ.

Bendig, J., Yu, K., Aasen, H., Bolten, A., Bennertz, S., Broscheit, J., Gnyp, M.L. and Bareth, G. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*,

- 39, 79-87. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
- Canseco, C., Demanet, R., Balocchi, O., Parga, J., Anwandter, V., Abarzúa, A., Teuber, N., y Lopetegui, J. (2007). Determinación de la disponibilidad de materia seca de praderas en pastoreo. En: *Manejo del pastoreo*. Proyecto FIA. Osorno.
- Carulla, J.E. y Ortega, E. (2015). Sistemas de producción lechera en Colombia: retos y oportunidades. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 24(2), 83 -87.
- Corti, M., Cavalli, D., Cabassi, G., Bechini, L., Pricca, N., Paolo, D., Marinoni, L., Vigoni, A., Degano, L., and, Gallina, P. (2022). Improved estimation of herbaceous crop aboveground biomass using UAV-derived crop height combined with vegetation indices. *Precision Agriculture*, 24, 587–606. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09960-w>
- de Alckmin, G.T., Kooistra, L., Rawnsley, R., and Lucieer, A. (2021). Comparing methods to estimate perennial ryegrass biomass: Canopy height and spectral vegetation indices. *Precision Agriculture*, 22(1), 205-225. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09737-z>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. [DANE]. (2020). *Boletín técnico. Encuesta Nacional Agropecuaria 2019*. Autor. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/2019/boletin_ena_2019.pdf.
- Dusseux, P., Corpetti, T., Hubert-Moy, L. and Corgne, S. (2014). Combined use of multi-temporal optical and radar satellite images for grassland monitoring. *Remote Sensing*, 6(7), 6163-6182.
- Easdale, M.H., Umaña, F., Raffo, F., Fariña, C., y Bruzzone, O. (2019). Evaluación de pastizales patagónicos con imágenes de satélites y de vehículos aéreos no tripulados. *Ecología Austral*, 29(3), 306-314. <https://doi.org/10.25260/EA.19.29.3.0.791>.
- Federación Colombiana de Ganaderos. [Fedegan]. (2021). *Producción de leche y sacrificio bovino en Colombia*. Autor. <https://www.fedegan.org.co/estadisticas/general>
- González, P.L. (2019). *Plant height and biomass estimations on wheat using high-resolution aerial imagery in an experimental field in Sonora, Mexico*. [Tesis de maestría]. UniGIS-Universidad de Salzburg https://issuu.com/unigis_latina/docs/104798
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. [IDEAM]. (2015). *Atlas Climático de Colombia-Interactivo* [Volumen 1]. Ministerio de Medio Ambiente. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>
- Lantinga, E.A., Neuteboom, E.A., Meijs, J.A.C. (2004). Sward Methods in: *Herbage intake handbook*. British Grassland Society (BGS). 23-52p.
- López-Guerrero, I., Fontenot, J.P. y García-Peniche, TB. (2011). Comparaciones

- entre cuatro métodos de estimación de biomasa en praderas de festuca alta. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 2(2), 209-220.
- Lussem, U., Bolten, A., Gnyp, M. L., Jasper, J. and Bareth, G. (2018). Evaluation of RGB-based vegetation indices from UAV imagery to estimate forage yield in grassland. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci*, 42(3), 1215-1219. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1215-2018>
- Maimaitijiang, M., Sagan, V., Sidike, P., Maimaitiyiming, M., Hartling, S., Peterson, K.T., Maw, M.J., Shakoob, N., Mockler, T. y Fritschi, F.B. (2019). Vegetation index weighted canopy volume model (CVMVI) for soybean biomass estimation from unmanned aerial system-based RGB imagery. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 151, 27-41. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.03.003>
- Michez, A., Lejeune, P., Knoden, D., Cremer, S., Decamps, C. y Bindelle, J. (2020). Can Low-Cost Unmanned Aerial Systems Describe the Forage Quality Heterogeneity? Insight from a Timothy Pasture Case Study in Southern Belgium. *Remote Sens.*, 12, 1650. <https://doi.org/10.3390/rs12101650>
- Murphy, W. M., Silman J. P. y Mena-Barreto A. D. (1995). A comparison of quadrat, capacitance meter, HFRO sward stick, and rising plate for estimating herbage mass in a smooth-stalked, meadow grass-dominant white clover sward. *Grass Forage Science*, 50, 452-455. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1995.tb02340.x>
- Opendronemap.org. (2021). *Open Drone Map*. <https://www.opendronemap.org/>
- Posada-Asprilla W., Medina-Sierra M. y Cerón-Muñoz M. (2019). Estimación de la calidad y cantidad de pasto kikuyo (*Cenchrus clandestinum* (Hochst. ex Chiov.) Morrone) usando imágenes multiespectrales. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(1), e1195. <https://dx.doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1195>
- Possoch M., Bieker S., Hoffmeister D., Bolten A, Schellberg J. and Bareth G. (2016). *Multi-temporal crop surface models combined with the RGB vegetation index from UAV-based images for forage monitoring in grassland*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12-19 July 2016, Prague, Czech Republic.
- QGIS.org. (2021). *QGIS Geographic Information System*. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Rueda C., F., Peñaranda M., L.A., Velásquez V., W.L., y Diaz B., S.A. (2015). Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). *Revista Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 16(1), 25-40.



■ **Conflicto de intereses**
*Los autores declaran no tener
ningún conflicto de intereses.*



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons
Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.