

Nota Técnica

Uso de sensores remotos en la determinación del forraje disponible de *Urochloa humidicola* cv. Llanero bajo pastoreo en la Altillanura colombiana

Use of remote sensors to determine forage availability in grazed pastures of Urochloa humidicola cv. Llanero in the Colombian Altillanura

RAÚL ALEJANDRO DÍAZ GIRALDO, MAURICIO ÁLVAREZ DE LEÓN Y OTONIEL PÉREZ LÓPEZ.

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). C.I. La Libertad. Villavicencio, Colombia. agrosavia.co

Resumen

La modernización de los sistemas pastoriles basados en pasturas del género *Urochloa* en los Llanos Orientales de Colombia requiere de técnicas que usan sensores remotos desde plataformas satelitales para estimar la oferta de forraje. En el C.I. Carimagua de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) se evaluó una pastura de *Urochloa humidicola* cv. Llanero con imágenes Landsat 8 y Sentinel 2A. Se utilizaron los índices de vegetación NDVI, SAVI, EVI y GNDVI, calculados a partir de las bandas azul, verde, rojo e infrarrojo cercano. Los resultados fueron analizados con el software de estadística R y se compararon con el aforo (= mediciones en campo) del forraje disponible bajo pastoreo en época seca. El aforo fluctuó entre 290 y 656 kg MS/ha y los índices de vegetación fueron, para los sensores Landsat 8 y Sentinel 2A, respectivamente: NDVI = 0.67 (± 0.037) y 0.69 (± 0.061); SAVI = 0.48 (± 0.048) y 0.41 (± 0.046); EVI = 0.70 (± 0.052) y 0.41 (± 0.047); y GNDVI = 0.60 (± 0.028) y 0.70 (± 0.034). La relación entre los índices de vegetación con la oferta de forraje fue lineal directa; para la valoración de los modelos predictivos se usaron los criterios coeficiente de determinación R^2 (0.56–0.72) y el error cuadrático medio (RMSE) (63.95–80.16) de las ecuaciones de regresión. Se concluye que para las condiciones del estudio el EVI (para Landsat 8) y el NDVI (para Sentinel 2A) son índices apropiados para predecir la oferta forrajera del pasto Llanero.

Palabras clave: EVI, imágenes satelitales, índices de vegetación, NDVI.

Abstract

Modernization of pastoral systems based on the use of *Urochloa* species in the Colombian Eastern Llanos need the use of remote sensing techniques from satellite platforms to estimate amount of offered forage. In the Carimagua Research Centre of the Colombian Corporation for Agricultural Research (Agrosavia), an *Urochloa humidicola* cv. Llanero pasture was evaluated using Landsat 8 and Sentinel 2A images. The NDVI, SAVI, EVI y GNDVI vegetation indices were determined by using the blue, green, red and near infrared bands and the results analyzed with the R free software, to relate those indices with forage availability field measures taken during the dry season. Forage availability ranged between 290 and 656 kg DM ha⁻¹ and the vegetation indices for the Landsat 8 and Sentinel 2A sensors were: NDVI = 0.67 (± 0.037) and 0.69 (± 0.061); SAVI = 0.48 (± 0.048) and 0.41 (± 0.046); EVI = 0.70 (± 0.052) and 0.41 (± 0.047); y GNDVI = 0.60 (± 0.028) and 0.70 (± 0.034), respectively. The relationships between vegetation indices and forage availability were linear. The Coefficient of Determination (R^2 = 0.56–0.72) and the Mean Square Error (MSR =63.95–80.16) of the prediction equations were used. In conclusion, under the conditions of the study, the EVI for Landsat 8 and NDVI for Sentinel 2A were considered adequate for estimating forage availability of *Urochloa humidicola* cv. Llanero.

Keywords: EVI, satellite images, NDVI, vegetation indexes.

Correspondencia: Mauricio Álvarez de León, Agrosavia C.I. La Libertad. Km 17 vía a Puerto López. Villavicencio, Meta, Colombia
Correo electrónico: malvarez@agrosavia.co

Introducción

Para el monitoreo de grandes extensiones de tierra donde están incorporados los sistemas ganaderos, se propone el uso de información proveniente de plataformas satelitales (Beaulieu et al. 2007). Con esta información, que es cada vez más detallada en términos de resolución espectral, espacial y temporal, es posible caracterizar la cobertura herbácea y derivar prácticas de manejo de las áreas pastoriles (Beaulieu et al. 2006).

Los índices de vegetación (IV) derivados de imágenes satelitales, como Landsat 8 y Sentinel 2A, son combinaciones algebraicas de varias bandas espectrales, diseñadas para destacar el vigor de la vegetación y sus propiedades (biomasa del dosel, radiación absorbida, contenido de clorofila, entre otros) (Bannari et al. 1995). Los IV más usados en la evaluación de pasturas y praderas son: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*); EVI (*Enhanced Vegetation Index*); y GNDVI (*Green Normalized Difference Vegetation Index*) (Huete 1988; Candiago et al. 2015; Hoffmann 2018).

Para áreas pastoriles se han aplicado estas técnicas de uso de sensores remotos en los Pirineos españoles (Barrachina et al. 2009, 2010); la Pampa argentina (Cristiano 2010; Irisarri et al. 2013); la región Este de Uruguay (Baeza et al. 2011); el departamento de Antioquia en Colombia (Ramírez 2014; Padilla 2017); y el estado de Sao Paulo en Brasil (Cisneros et al. 2020).

Estudios realizados anteriormente en los Llanos del Orinoco en Colombia por Girard y Rippstein (1994), usando radiometría terrestre e imágenes SPOT, y por Serna-Isaza (2001), usando sensores AVHRR de NOAA, el sensor MSS/TM de Landsat 4 y 5 y los sensores HRV a bordo de SPOT 3 y 4, han mostrado el valor de los datos de la teledetección en plataformas satelitales para la cartografía de pasturas mejoradas y sabanas nativas, bajo diferentes manejos. En los llanos del Orinoco en Venezuela, Chacón (2004) realizó mapeos de los ecosistemas de sabana utilizando imágenes multitemporales del satélite NOAA, apoyándose en el conocimiento experto e índice NDVI.

En la región de los llanos de Colombia es limitada la información sobre el uso de sensores remotos para la estimación de la oferta forrajera, pese a que la región es típicamente ganadera con una población bovina de 5.75 millones de cabezas (ICA 2020) y un área estimada en pasturas mejoradas, especialmente del género *Urochloa*, de más de dos millones de hectáreas (Álvarez y Rincón 2010).

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue estimar la oferta de forraje en una pastura de *Urochloa humidicola* cv. Llanero a partir de imágenes multispectrales provenientes de Landsat 8 y Sentinel 2A, en la subregión de la altillanura de los Llanos Orientales de Colombia.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Carimagua de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Agrosavia, ubicado en el municipio de Puerto Gaitán, Meta, en la subregión de la altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia (Figura 1). El promedio anual de las precipitaciones es de 2,000 mm; su distribución es monomodal, correspondiendo la época seca al período noviembre–febrero. Los suelos en el área de estudio son Oxisoles y Ultisoles ácidos, isohipertérmicos (Álvarez y Rincón 2010).

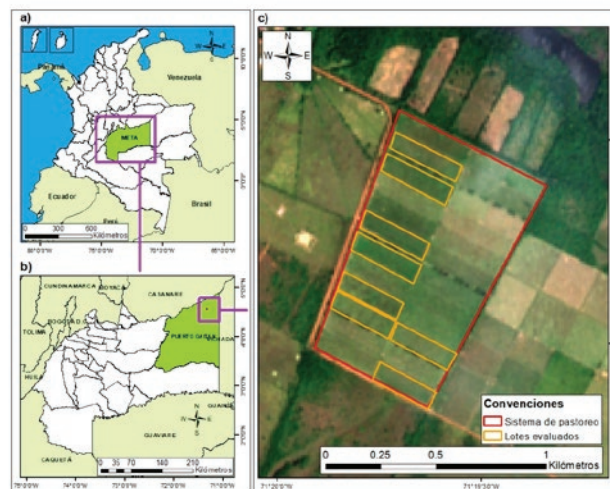


Figura 1. Ubicación del área de pastoreo en el C.I. Carimagua: a) Departamento del Meta en la República de Colombia; b) Municipio de Puerto Gaitán en el Departamento del Meta; c) Área de pastoreo y lotes evaluados.

Los aforos de forraje y las imágenes corresponden al día 8 de diciembre de 2015 (época seca). Las áreas bajo pastoreo por bovinos utilizadas son de pasturas de *Urochloa humidicola* CIAT 6133 cv. Llanero (antes considerado como *Brachiaria dictyoneura*; Rincón et al. 2018) con manejo rotacional. El aforo se realizó en ocho potreros de 2.61 ha (± 0.15) cada uno: En cada potrero (unidad experimental) se tomó en 20 puntos una muestra con un marco de 0.25 m² cortando con hoz a 15 cm de altura, se pesó el forraje verde con una balanza electrónica y se secaron las muestras a una temperatura de 70 °C durante tres días para determinar la materia seca.

Las imágenes Landsat 8 y Sentinel 2A fueron obtenidas del portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (earthexplorer.usgs.gov). Las correcciones atmosféricas y el cálculo de los IV se realizaron con el módulo SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*) y la calculadora ráster en el Software libre Q-GIS. En el Cuadro 1 se presentan los IV y las bandas espectrales utilizados en este trabajo.

Cuadro 1. Fórmulas de cálculo de los índices de vegetación con base en las bandas espectrales utilizadas.

Índice espectral de vegetación	Referencia
$NDVI = (IR - R) / (IR + R)$	Rouse et al. (1974)
$SAVI = 1.5 \times (IR - R) / (IR + R + 0.5)$	Huete (1988)
$EVI = 2.5 \times ((IR - R) / (IR + 6 \times R - 7.5 \times A + 1))$	Jiang et al. (2008)
$GNDVI = (IR - V) / (IR + V)$	Wang et al. (2007)

NDVI = Normalized Difference Vegetation Index; SAVI = Soil Adjusted Vegetation Index; EVI = Enhanced Vegetation Index; GNDVI = Green Normalized Difference Vegetation Index. A = banda espectral del azul; V = banda espectral del verde; R = banda espectral del rojo; IR = banda espectral del infrarrojo cercano.

A partir de las imágenes de Landsat 8 y Sentinel 2A se calcularon los IV según las fórmulas en el Cuadro 1 y se procedió a establecer las ecuaciones de regresión lineal que explican la relación entre el IV y la oferta forrajera para cada una de las imágenes. Una vez obtenidos los modelos que estiman la producción de forraje se determinó cuál es el de mejor ajuste, para lo cual se utilizaron los criterios raíz del error cuadrático medio (*root mean square error*, RMSE) y el R² de las ecuaciones. Adicionalmente se estableció, mediante la prueba t de Student, si había diferencias entre los valores estimados por las ecuaciones de regresión para cada uno de los sensores. Para todos los análisis se usó el software libre R ([R Core Time 2016](http://R-Core-Time)).

Resultados

La oferta de forraje determinada en campo varió entre 290 y 656 kg MS/ha para el día de la evaluación, con un promedio de 501 kg MS/ha. Los valores de los índices que se obtuvieron de las imágenes de Landsat 8 y Sentinel 2A se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Valores medios y dispersión de los índices de vegetación obtenidos de los dos sensores.

Índice	Landsat 8	Sentinel 2A
NDVI	0.67 ± 0.037	0.69 ± 0.061
SAVI	0.48 ± 0.048	0.41 ± 0.046
EVI	0.70 ± 0.052	0.41 ± 0.047
GNDVI	0.60 ± 0.028	0.70 ± 0.034

En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se presentan las rectas de regresión de ajuste lineal entre los IV y la oferta de forraje (biomasa de las pasturas).

Con respecto a los índices obtenidos por Landsat 8, el EVI presentó el valor de R² más alto (0.721) y el RMSE más bajo (63.95) (Cuadro 3), por lo cual con base en los resultados experimentales es razonable inferir que este es el IV de elección para estimar la oferta forrajera. Con relación a los índices calculados a partir de Sentinel 2A, el NDVI es el más apropiado por cuanto alcanza el valor de R² más alto (0.712) y RSME más bajo (64.89) en la estimación de la oferta forrajera (Cuadro 3).

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de la biomasa obtenida para cada sensor.

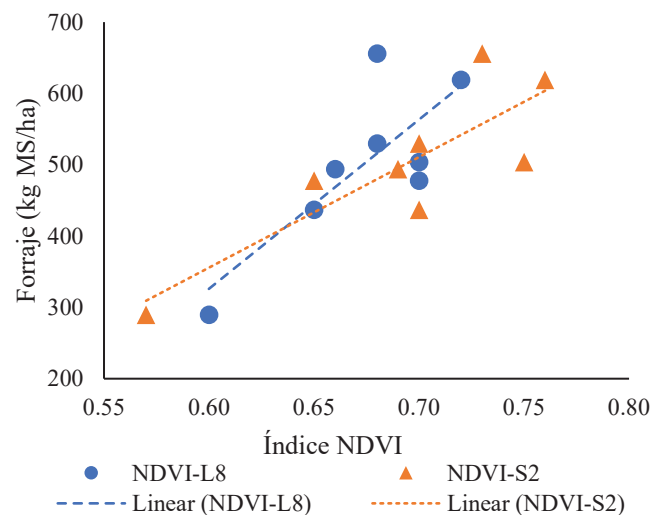


Figura 2. Rectas de regresión de ajuste lineal para el índice NDVI obtenido por los sensores de Landsat 8 (NDVI-L8) y Sentinel 2A (NDVI-S2) y la oferta de forraje.

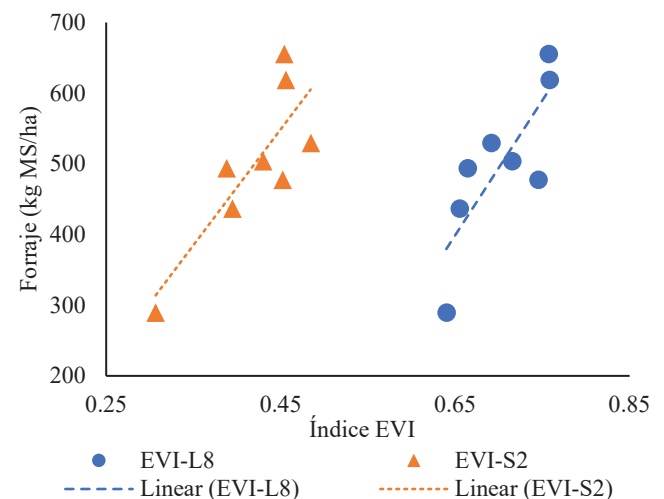


Figura 3. Rectas de regresión de ajuste lineal para el índice EVI obtenido por los sensores de Landsat 8 (EVI-L8) y Sentinel 2A (EVI-S2) y la oferta de forraje.

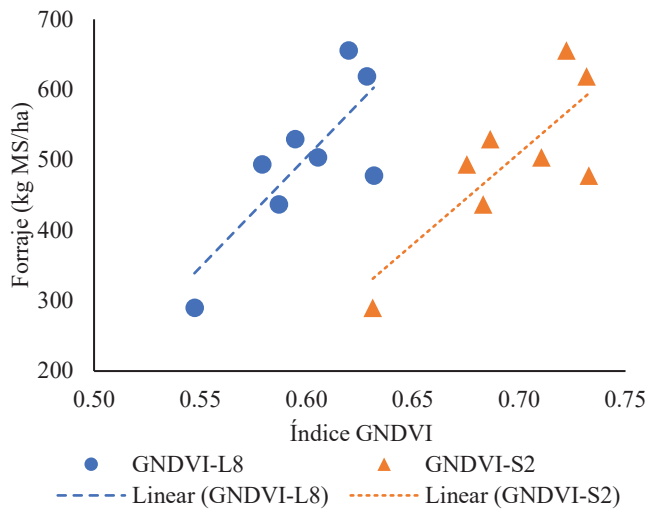


Figura 4. Rectas de regresión de ajuste lineal para el índice GNDVI obtenido por los sensores de Landsat 8 (GNDVI-L8) y Sentinel 2A (GNDVI-S2) y la oferta de forraje.

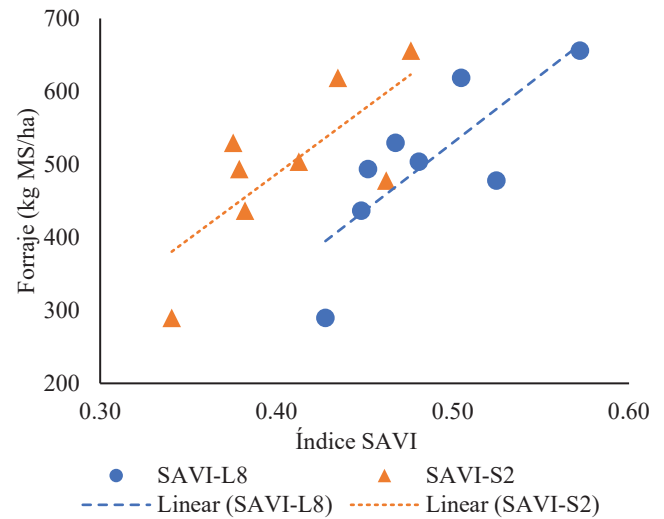


Figura 5. Rectas de regresión de ajuste lineal para el índice SAVI obtenido por los sensores de Landsat 8 (SAVI-L8) y Sentinel 2A (SAVI-S2) y la oferta de forraje.

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión lineal y los criterios de selección R² y RMSE para los sensores e índices utilizados.

Índice	Sensor	Ecuación	R ²	RMSE
NDVI	Landsat 8	$Y = 2,376.5 X - 1,100.2$	0.628	73.84
	Sentinel 2A	$Y = 1,547.7 X - 572.71$	0.712	64.89
EVI	Landsat 8	$Y = 1,912.6 X - 844.28$	0.721	63.95
	Sentinel 2A	$Y = 1,638 X - 187.98$	0.655	71.08
GNDVI	Landsat 8	$Y = 3,131.5 X - 1,375.1$	0.628	73.81
	Sentinel 2A	$Y = 2,596.3 X - 1,307.6$	0.645	72.15
SAVI	Landsat 8	$Y = 1,861 X - 400.93$	0.648	71.83
	Sentinel 2A	$Y = 1,788.2 X - 228.29$	0.561	80.16

RMSE = error cuadrático medio.

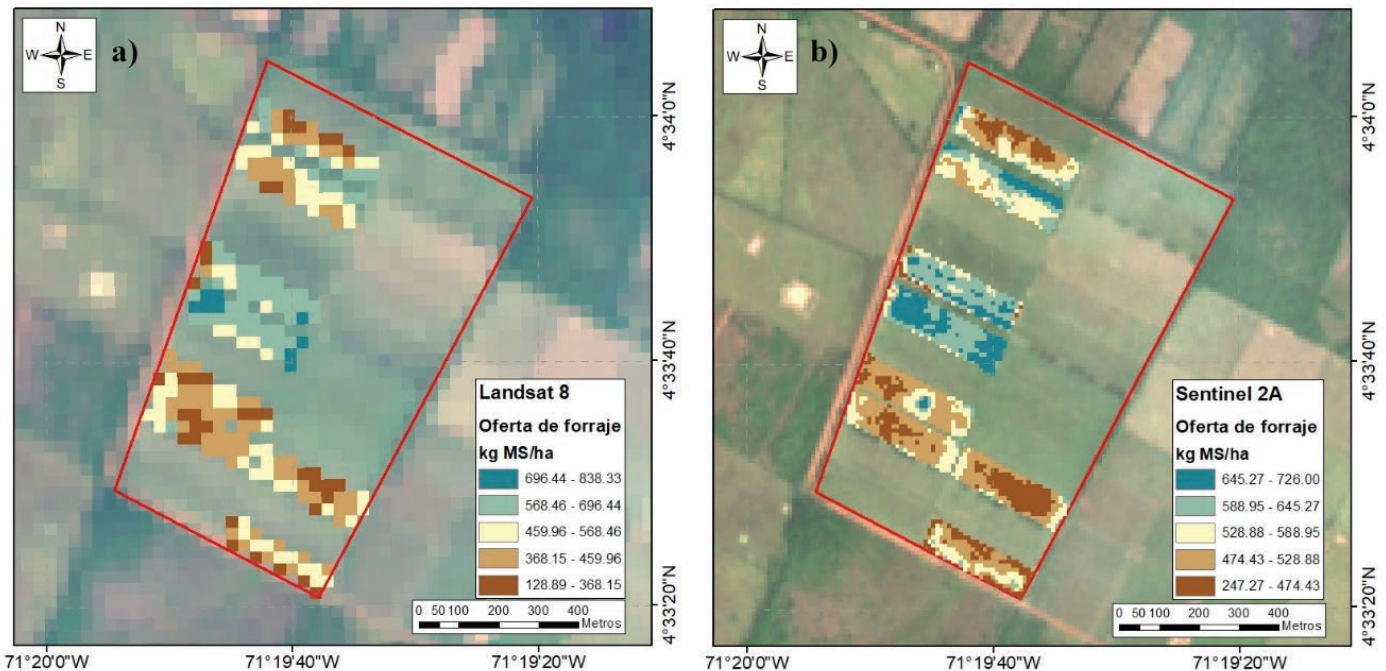


Figura 6. Representación gráfica de la biomasa estimada en el área de estudio. a) oferta de forraje estimada con la ecuación lineal a partir del EVI obtenido con Landsat 8; b) oferta de forraje estimada con la ecuación lineal a partir del NDVI obtenido con Sentinel 2A.

Discusión

La oferta promedio de forraje del pasto Llanero obtenida en esta investigación (501 kg MS/ha) fue inferior a los valores reportados por Pérez et al. (2019) para el mismo pasto, también en época seca y en el C.I. Carimagua (645.7 kg MS/ha con periodos de descanso de 35 a 40 días), Carulla et al. (1991) en el Piedemonte llanero del Meta (669 kg MS/ha) y Pardo y Pérez (2010), también en el Piedemonte llanero (1,365 kg MS/ha para el mismo pasto y 770 kg MS/ha para *Brachiaria humidicola*).

Las diferencias en los valores de biomasa que se observan en la Figura 6 pueden atribuirse a factores como las propiedades del suelo, la microtopografía, la humedad y temperatura las cuales pueden ocurrir aún en áreas relativamente pequeñas (Tamme et al. 2016).

Respecto a los valores de oferta forrajera estimados con base en Landsat 8 y Sentinel 2A para cada uno de los índices, no se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) según la prueba t de Student. Los modelos utilizados muestran su potencial para predecir el aforo de pastizales, pero deben tomarse con precaución sobre todo los obtenidos con Landsat 8, considerando los R^2 entre 0.56 y 0.72 y RMSE entre 63.95 y 80.16, para Landsat 8 y Sentinel 2A, respectivamente.

Mientras que los cuatro índices mostraron relaciones positivas con el aforo de los pastos (Cuadro 3), es necesario reconocer que las observaciones realizadas a partir de Sentinel 2A tiene un mayor detalle respecto a la variabilidad espacial de la oferta forrajera, debido a las características de la resolución espacial en comparación con Landsat 8. Esto permite una mejor estimación de la oferta de forraje, para áreas de estudio ≥ 2 hectáreas, tal como es evidente en la Figura 6.

La estimación de la oferta forrajera del pasto debe ser contextualizada con la magnitud del área a evaluar: Desde luego estudios a una escala mayor (1:2,500) (potrero o predio) exigen sensores cuya resolución espacial corresponda a tamaños de píxeles relativamente pequeños (10 m \times 10 m) como es el caso de Sentinel 2A, mientras que en el caso de trabajo a escala menor (1:50,000; regional, nacional) pueden ser utilizados sensores como Landsat 8 (30 m \times 30 m), con tamaños de píxeles mayores. Para una escala aún menor (1:100,000), Baeza et al. (2011) y Ramírez (2014) han usado exitosamente el sensor MODIS con píxeles de 250 m \times 250 m, para estudios de sabanas tropicales y subtropicales.

Conclusiones

Con la información obtenida a partir de los sensores de Landsat 8 y Sentinel 2A fue posible establecer, en forma preliminar, un modelo de relación lineal directa entre los índices EVI y NDVI con el forraje disponible de *U. humidicola* cv. Llanero bajo pastoreo en la Altillanura colombiana. El uso de Landsat 8 y Sentinel 2A tiene el potencial para convertirse en una herramienta predictiva para el manejo de praderas en sistemas de producción pastoriles de esta región.

Estudios futuros deben considerar la validación de la información de las plataformas satelitales para la gestión de áreas pastoriles mayores, e incorporar en ellos tanto series multitemporales de imágenes asociadas a los ciclos hidrometeorológicos como para otras especies de pastoreo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por el apoyo financiero y al personal administrativo y operativo de los Centros de Investigación Carimagua y La Libertad de Agrosavia, quienes con su apoyo hicieron posible el desarrollo de las actividades del proyecto.

Referencias

(Nota de los editores: Los enlaces se verificaron el 2 de agosto de 2021).

- Álvarez M; Rincón A. 2010. Características agroecológicas de la Orinoquia colombiana. En Rincón A; Jaramillo CA, eds. Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Villavicencio, Colombia. p. 9–26. hdl.handle.net/20.500.12324/12703
- Baeza S; Paruelo J; Ayala W. 2011. Eficiencia en el uso de la radiación y productividad primaria en recursos forrajeros del este de Uruguay. *Agrociencia Uruguay* 15(2):48–59. bit.ly/3jfqhZP
- Bannari A; Morin D; Bonn F; Huete AR. 1995. A review of vegetation indices. *Remote Sensing Reviews*, 13(1-2), 95–120. doi: [10.1080/02757259509532298](https://doi.org/10.1080/02757259509532298)
- Barrachina M; Cristobal J; Tulla AF. 2010. Los recursos ganaderos en los sistemas extensivos de la montaña pirenaica catalana: aproximación al cálculo de la producción de biomasa herbácea mediante el uso de la teledetección. *Serie Geográfica* 16:35–49. hdl.handle.net/10017/14221

- Barrachina M; Cristobal J; Tulla A; Pons X. 2009. Análisis de la producción de biomasa de los prados y pastos de la Vall Fosca (Pirineo Axial-Nogueres). Memorias del XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud, 23–26 de septiembre de 2009. p. 225–228. bit.ly/3A3CPKB
- Beaulieu N; Álvarez M; Dewispeleare G; Rosa R; Sano E; Yamamoto Y. 2007. Potenciales y limitaciones de las imágenes multispectrales de satélite para el monitoreo de pasturas degradadas en las sabanas tropicales. *Innovación y Cambio Tecnológico* 5(5):48–53. hdl.handle.net/20.500.12324/754
- Beaulieu N; Álvarez M; Rincón Á. 2006. Detección de la degradación en pasturas usando series temporales de imágenes multispectrales en los Llanos Orientales de Colombia. Boletín de investigación No. 8. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Villavicencio, Colombia. hdl.handle.net/20.500.12324/1218
- Candiago S; Remondino F; De Giglio M; Dubbini M; Gattelli M. 2015. Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote Sensing* 7(4):4026–4047. doi: [10.3390/rs70404026](https://doi.org/10.3390/rs70404026)
- Carulla JE; Lascano CE; Ward JK. 1991. Selectivity of resident and oophagous fistulated steers grazing *Arachis pintoi* and *Brachiaria dictyoneura* in the Llanos of Colombia. *Tropical Grasslands* 25:317–324. hdl.handle.net/10568/44085
- Chacón-Moreno EJ. 2004. Mapping savanna ecosystems of the Llanos del Orinoco using multitemporal NOAA satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(1):41–53. doi: [10.1016/j.jag.2003.08.003](https://doi.org/10.1016/j.jag.2003.08.003)
- Cisneros A; Fiorio P; Menezes P; Pasqualotto N; Van Wittenberghe S; Bayma G; Nogueira SF. 2020. Mapping productivity and essential biophysical parameters of cultivated tropical grasslands from sentinel-2 imagery. *Agronomy* 10(5):711. doi: [10.3390/agronomy10050711](https://doi.org/10.3390/agronomy10050711)
- Cristiano PM. 2010. Estimación de la productividad primaria mediante el modelo de eficiencias y sensores remotos. Ph.D. Tesis. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. hdl.handle.net/20.500.12123/6206
- Girard C; Rippstein G. 1994. Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. Bulletin - Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection 133: 11–19. agritrop.cirad.fr/387246/
- Hoffmann M; Butenko Y; Traore S. 2018. Evaluation of satellite imagery to increase crop yield in irrigated agriculture. *Agris on-line Papers in Economics and Informatics* 10(3):45–55. doi: [10.22004/ag.econ.281644](https://doi.org/10.22004/ag.econ.281644)
- Huete AR. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment* 25(3):295–309. doi: [10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. 2020. Censo pecuario año 2020. ICA, Bogotá, Colombia. bit.ly/3lonJv9
- Irisarri JGN; Gundel PE; Clavijo MP; Durante M; Sosa P. 2013. Estimación de la PPNA y la capacidad de carga por ambientes mediante información satelital en un establecimiento ganadero en la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal* 33(1):11–20. hdl.handle.net/11336/4255
- Jiang Z; Huete AR; Kamel D; Miura T. 2008. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment* 112(10):3833–3845. doi: [10.1016/j.rse.2008.06.006](https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006)
- Padilla GA. 2017. Estimación de la productividad primaria neta aérea (PPNA) del forraje de pastos para los sistemas de producción ganadera mediante sensores remotos. B.Sc. Tesis. Universidad del Valle, Cali, Colombia. hdl.handle.net/10893/10315
- Pardo O; Pérez O. 2010. Alternativas forrajeras para los llanos orientales de Colombia. En Rincón A; Jaramillo CA, eds. Establecimiento, manejo y utilización de recursos forrajeros en sistemas ganaderos de suelos ácidos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – Corpoica. Villavicencio, Colombia. p. 27–74. hdl.handle.net/20.500.12324/12703
- Pérez O; Bueno GA; Baquero JE; Onofre HG; Cassalett E; Molina AM; Arango MA; Velásquez JG; Rodríguez NS; Moreno LM; Amaya CV; Bernal JH; Correal WA; Pabón DM; Villalobos MA; Velásquez JH; Fuentes JC. 2019. Modelo productivo tecnologías integrales para sistemas de producción de bovinos de cría en la altillanura colombiana. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia), Mosquera, Colombia. hdl.handle.net/20.500.12324/35060
- R Development Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Version 4.0.0 2020-04-24, Arbor Day.
- Ramírez A. 2014. Evaluación del crecimiento de pastos usando índices de vegetación calculados a partir de información satelital. M.Sc. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. repositorio.unal.edu.co/handle/unal/75325
- Rincón A; Flórez H; Ballesteros H; León LM. 2018. Efectos de la fertilización en la productividad de una pastura de *Brachiaria humidicola* cv. Llanero en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 6:158–168. doi: [10.17138/tgft\(6\)158-168](https://doi.org/10.17138/tgft(6)158-168)
- Rouse JW; Haas RH; Schell JA; Deering DW. 1974. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA, Washington, DC, USA. p. 309–317. ntrs.nasa.gov/citations/19740022614
- Serna-Isaza RA. 2001. Teledetección para la cartografía de la vegetación de Sabana. En Rippstein G; Escobar G; Motta F, eds. Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Publicación CIAT No.

322. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 97–110. hdl.handle.net/10568/55153
Tamme R; Gazol A; Price JN; Hiiesalu I; Pärtel M. 2016. Co-occurring grassland species vary in their responses to fine-scale soil heterogeneity. *Journal of Vegetation Science*

27(5):1012–1022. doi: [10.1111/jvs.12431](https://doi.org/10.1111/jvs.12431)
Wang F; Huang J; Tang Y; Wang X. 2007. New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice. *Rice Science* 14(3):195–203. doi: [10.1016/S1672-6308\(07\)60027-4](https://doi.org/10.1016/S1672-6308(07)60027-4)

(Recibido para publicación 28 septiembre 2020; aceptado 27 julio 2021; publicado 30 septiembre 2021)

© 2021



Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales es una revista científica de acceso abierto publicada por el *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT)*, en asocio con la *Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences (CATAS)*. Este trabajo se publica bajo la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).