

Estimación de dosis de nitrógeno mediante el uso de imágenes multiespectrales y RPAS en el cultivo de maíz forrajero

Nitrogen dose estimation using multispectral imagery and RPAS in forage corn cultivation

Yenifer Moreno-Sepúlveda¹, Enrique Miguel-Valle¹, Ramón Trucíos-Caciano^{1*}, Carlos Miguel Ramos-Cruz², Juan Estrada-Avalos¹, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes¹.

¹ INIFAP CENID-RASPA, Km. 6.5 margen derecha. Canal de Sacramento, Gómez Palacio, Durango.

² Campo Experimental, General Terán-INIFAP, Km 31 Carretera Montemorelos-China. C. P. 67400. General Terán, Nuevo León.

*Autor por correspondencia: trucios.ramon@inifap.gob.mx

RESÚMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del índice de clorofila en el borde rojo (CLred-edge) para la determinación de dosis de nitrógeno (DN) en el cultivo de maíz forrajero. El índice fue determinado mediante imágenes multiespectrales obtenidas con el RPAS "eBee clásico" de ala fija el cual tiene un peso de 1.1 kg, con un alcance de radio enlace de 3 km, con cobertura de vuelo a 120 m de altura de 220ha-1 y una resistencia al viento de 12 m/s, se realizaron un total de ocho vuelos a lo largo del ciclo del cultivo establecido. Los datos obtenidos de DN muestran valores negativos de -5.10 kg/ha, según la metodología desarrollada, esto indica exceso en el contenido de nitrógeno en las parcelas estudiadas. Los valores positivos indican necesidad de nitrógeno y valores cercanos al 0 indican que el cultivo es autosuficiente, lo cual en este estudio no fue posible observar esos dos comportamientos.

Palabras claves: RPAS, Índice de clorofila, red-edge, dosis de nitrógeno

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the performance of the red-edge chlorophyll index (CLred-edge) for the determination of nitrogen dose (ND) in the forage corn crop. The index was determined using multispectral images obtained with the fixed-wing RPAS "eBee classic" which has a weight of 1.1 kg, with a radio link range of 3 km, with flight coverage at 120 m altitude of 220ha-1 and a wind resistance of 12 m/s, a total of eight flights were performed throughout the established crop cycle. The DN data obtained show negative values of -5.10 kg/ha, according to the methodology developed, this indicates excess nitrogen content in the plots studied. Positive values indicate nitrogen need and values close to 0 indicate that the crop is self-sufficient, which in this study it was not possible to observe these two behaviors.

Keywords: RPAS, Chlorophyll index, red-edge, nitrogen dosage.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento del cultivo se define como la producción total por unidad de área y se mide comúnmente en toneladas por hectárea (Ross *et al.*, 2008). Este puede cambiar espacial y temporalmente dentro de las zonas de campo, en función de la variabilidad en las propiedades físicas y químicas del suelo, las prácticas de manejo y el daño localizado debido a plagas y patógenos (Trotón *et al.*, 2008; Pezzuelo *et al.*, 2014; Al Gaadi *et al.*, 2018).

El nitrógeno (N) es de suma importancia en la nutrición de las plantas y en la mejora del rendimiento. Es el responsable de la biomasa vegetal, incluso en mayor proporción que otros nutrientes minerales, es un componente indispensable; además, es el motor del crecimiento de las plantas y constituye del 1 al 4% de la materia seca de las plantas (Ahmed *et al.*, 2012; Taiz y Zeiger, 2010). Es uno de los elementos más limitantes para alcanzar altos rendimientos del cultivo de maíz, una adecuada aplicación de

nitrógeno al suelo produce un incremento del rendimiento en el grano (Salhuana *et al.*, 2004).

Ajustar la tasa de N al requerimiento del cultivo medido aumenta la eficiencia del uso del N del cultivo (Nasielski *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2015) y reduce los riesgos ambientales (Chiodini *et al.*, 2019; Basso *et al.*, 2011; Zhang *et al.*, 2018). Comprender las necesidades de nutrición de los cultivos y el equilibrio del suministro debe ser la base para la definición de la aplicación óptima de fertilizantes nitrogenados.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el comportamiento del nitrógeno presente en el cultivo del maíz forrajero a través de imágenes RPAS.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en la pequeña propiedad Palestina, ubicada en el ejido Porvenir, en el municipio de Francisco I. Madero. Ubicado geográficamente en las coordenadas 25° 46' 49.38" de latitud norte y 103° 18' 44.54" de longitud oeste a una altitud de 1110 msnm. El área de estudio cuenta con una superficie de 64 ha, las cuales están distribuidas en 7 Tablas, y el trabajo fue realizado durante el ciclo de verano – otoño del año 2020, donde el maíz forrajero fue el cultivo establecido (Figura 1).

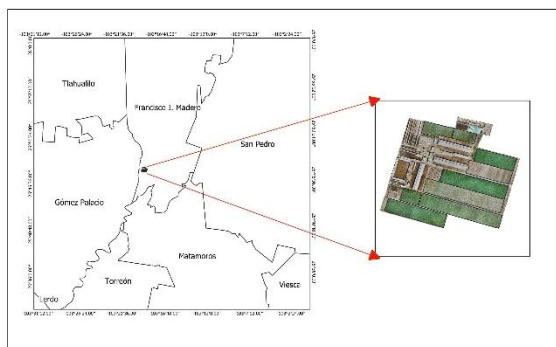


Figura 1. Área de estudio P.P Palestina, ejido El Porvenir, Dgo.

Se realizaron ocho vuelos con el RPAS. La planeación de vuelo consistió en definir la región de interés y los parámetros de vuelo para la adquisición de las imágenes, esta actividad se realizó en el software eMotion 3.5, cubriendo el área de interés en producción, con un tiempo de vuelo de 00:13:43 min, resolución de 18 cm/Px, solape lateral de 60%, solape longitudinal de 80%, altura de vuelo de 120 metros, lo que permitió obtener un total de 224 imágenes para diferentes fechas durante el ciclo del cultivo (Tabla 1).

Tabla 1. Fechas de vuelos con el RPAS.

FECHAS DE VUELO	
14 DE AGOSTO	29 DE SEPTIEMBRE
20 DE AGOSTO	06 DE OCTUBRE
24 DE AGOSTO	15 DE OCTUBRE
04 DE SEPTIEMBRE	19 DE OCTUBRE

Se determinó Dosis de nitrógeno (DN) mediante la metodología propuesta por Rivera *et al.*, 2018. Para ello fue necesario obtener el índice de clorofila (CLred-edge), con las imágenes del RPAS, para los diferentes días de vuelo.

Primero se obtuvo la relación de materia seca (MS), Nitrógeno crítico (Nc) y Nitrógeno actual del cultivo). Posteriormente se calculó la DN:

$$DN \text{ (kg/ha)} = Nc - Nac$$

El índice de clorofila red-edge se calculó mediante la fórmula (Gitelson *et al.*, 2003):

$$CLred-edge = \frac{NIR}{RED-EDGE} - 1$$

Una vez obtenidas las reflectancias de las imágenes multiespectrales, se determinó el índice de clorofila del borde rojo, los análisis se realizaron con el software de acceso libre QGIS 3.16, mediante la herramienta algebra de mapas a través de la cual se pueden ejecutar operaciones y funciones de análisis espacial, en función al valor del píxel del ráster.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de dosis nitrógeno presente en el cultivo es de gran importancia tanto económicamente como en el ámbito ambiental, los resultados que se obtuvieron de las variables estudiadas muestran la presencia de altas dosis de nitrógeno presentes en el cultivo, la figura 2 muestra un rango de valores que van de -5.10 a 1.93 en los rangos espectrales, lo cual valores negativos indican excesos en el contenido de N.

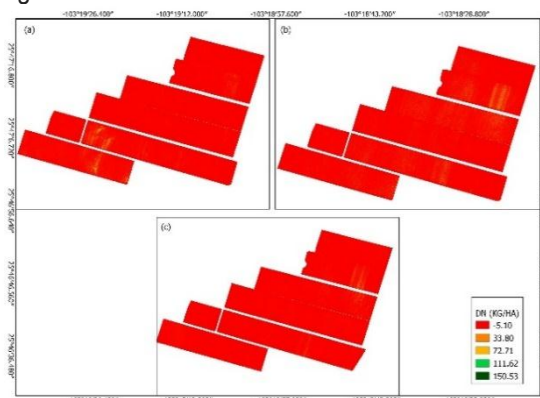


Figura 2. Dosis de nitrógeno encontradas en las seis tablas muestreadas para las diferentes fechas estudiadas a) 24/08/2020, b) 06/10/2020, c) 19/10/2020

El índice de clorofila del borde rojo, obtenido a través de imágenes RPAS, se encuentra en un rango de valores 0.09 a 1.93 (Figura 2) en estudios para trigo Sonderstrom *et al.* (2017) maíz Li *et al.*, (2014), Chlemmer *et al.*, (2013) y Rivera *et al.*, (2017) y triticali por Yuan *et al.*, (2019), el índice de clorofila verde (CLgreen) fue el mejor para estimar el nitrógeno extraído por el cultivo. Un caso similar fue el que obtuvo Salvador-Castillo *et al.* (2021) donde encontró que el CRed-edge fue el índice que mejor se relacionó con el contenido de nitrógeno del dosel. Sin embargo, al momento de comparar el contenido de nitrógeno medido contra el estimado, el modelo obtenido con el CLGreen fue el que mostró las mejores aproximaciones.

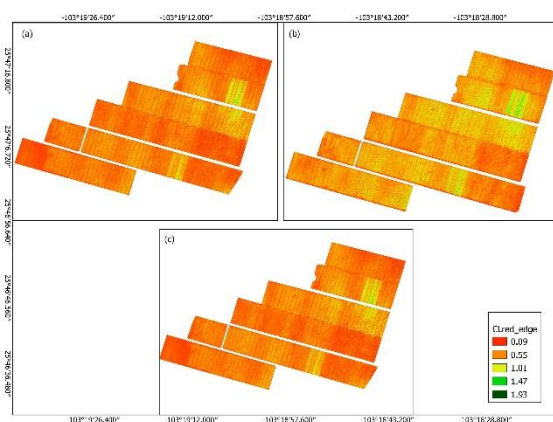


Figura 3. Comportamiento del índice de clorofila del borde rojo en tres fechas de estudio a) 24/08/2020, b) 06/10/2020, c) 19/10/2020

La estimación usando drones del estado de los nutrientes del cultivo es de gran beneficio directamente la tasa de aplicación al incluir la totalidad del campo. Los resultados obtenidos por Torres-Rua *et al.* (2018) indican que es posible realizar el monitoreo con vehículos aéreos no tripulados científicos y sensores de cámara especializados como cámaras ópticas y térmicas, junto con sensores especializados filtros ópticos como Red Edge o cámaras hiperespectrales. Matese *et al.* (2015) menciona que la utilidad del uso de sensores montados en drones radica en que otorgan una gran flexibilidad en la determinación del momento de obtención de las imágenes, y en la resolución espacial de estas, respecto al uso de imágenes obtenidas a partir de satélites.

CONCLUSIONES

El índice de clorofila en el borde rojo puede ser de gran utilidad en la estimación de dosis de nitrógeno, ya que muestra valores de reflectancia

que pueden ser asociados a la presencia o deficiencia del nitrógeno presente en el cultivo.

LITERATURA CITADA

- Ahmed, OH; Rosliza, S.; Muhammad, N.; Majid, A.; Jalloh, MB Efecto de N, P y K Humatos sobre la Materia Seca de Zea Mays y PH del Suelo, Amonio Intercambiable y Nitrato Disponible. Afr. J. Biotecnología. 2012, 11, 9566–9571.
- Al Gaadi, KA; Hassaballa, AA; Tola, E.; Kayad, A.; Madugundu, R.; Assiri, F.; Alblewi, B. Caracterización de la variabilidad espacial de la topografía superficial y el contenido de humedad y su influencia en el rendimiento del cultivo de papa. En t. J. Remote Sens. 2018, 39, 8572–8590.
- Basso, B.; Florentino, C.; Camamarano, D.; Schulthess, U. Respuesta de fertilizante nitrogenado de tasa variable en trigo usando sensores remotos. Resumen. agrícola 2015, 17, 168–182.
- Basso, B.; Ritchie, JT; Camamarano, D.; Sartori, L. Un enfoque de gestión estratégica y táctica para seleccionar las tasas óptimas de fertilización nitrogenada para el trigo en un campo espacialmente variable. EUR. J. Agron. 2011, 35, 215–222.
- Chen, Y.; Xiao, C.; Wu, D.; Xia, T.; Chen, Q.; Chen, F.; Yuan, L.; Mi, G. Efectos de la tasa de aplicación de nitrógeno en el rendimiento de grano y la concentración de nitrógeno en grano en dos híbridos de maíz con eficiencia de removilización de nitrógeno contrastante. EUR. J. Agron. 2015, 62, 79–89.
- Chiodini, ME; Perego, A.; Carozzi, M.; Acutis, M. El inhibidor de la nitrificación Vizura ® reduce las emisiones de N₂O cuando se agrega al digestato antes de la inyección bajo riego de maíz en el valle del Po (norte de Italia). Agronomía 2019, 9, 431.
- Delgado, JA; Khosla, R.; Bausch, WC; Páramos de Poniente, DG; Inman, DJ El manejo de fertilizantes nitrogenados basado en zonas de manejo específicas del sitio reduce el potencial de lixiviación de nitrato. J. Conservación del agua del suelo. 2005, 60, 402–410.
- Gitelson, AA; Gritz, Y.; Merzlyak, MN Relaciones entre el contenido de clorofila de la hoja y

- la reflectancia espectral y algoritmos para la evaluación de clorofila no destructiva en hojas de plantas superiores. *J. Plant Physiol.* 2003 , 160 , 271–282.
- Li, F.; Miao, Y.; Feng, G.; Yuan, F.; Yue, S.; Gao, X.; Liu, Y.; Liu, B.; Ustín, SL; Chen, X. Mejora de la estimación del estado de nitrógeno del maíz de verano con índices de vegetación espectral basados en el borde rojo. *Cultivo de campo. Res.* 2014 , 157 , 111–123.
- Mateo, A.; Toscano, P.; Di Gennaro S.F.; Genesio, L.; Vaccari, F.P.; Primicerio, J.; Belli, C.; Zaldei, A.; Bianconi, R.; Gioli, B. 2015. Intercomparison of UAV, aircraft and satellite remote sensing platforms for precision viticulture. *Remote Sensing.* Volume 7. Number 3. Pages 2971–2990. doi:10.3390/rs70302971
- Nasielski, J.; Conde, H.; Deen, B. La absorción de nitrógeno vegetativo de lujo en el maíz amortigua el rendimiento del grano bajo estrés hídrico y de nitrógeno posterior a la formación de seda: una comprensión mecanicista. *Frente. ciencia de las plantas* 2019 , 10 , 318.
- Pezzuolo, A.; Basso, B.; Marinello, F.; Sartori, L. Uso del modelo SALUS para simulaciones de eficiencia energética a mediano y largo plazo en diferentes sistemas de labranza. *aplicación Matemáticas. ciencia* 2014, 8, 6433–6445.
- Ross, KW; Morris, DK; Johannsen, CJ Una revisión de la estimación del rendimiento intracampo a partir de los datos del monitor de rendimiento. *aplicación Ing. agrícola* 2008 , 24 , 309–317.
- Salvador-Castillo, J. M., Bolaños-González, M. A., Palacios-Vélez, E., Palacios-Sánchez, L. A., López-Pérez, A. y Muñoz-Pérez, J. M. (2021). Estimación de la fracción de cobertura vegetal y contenido de nitrógeno del dosel en maíz mediante sensores remotos. *Terra Latinoamericana* 39: 1-11. e841.
<https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.899>
- Schlemmer, M., A. Gitelson, J. Schepers, R. Ferguson, Y. Peng, J. Shanahan, and D. Rundquist. 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 25: 47-54. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.04.003>.
- Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiología vegetal*, 5ª ed.; Sinauer Associates Publishers: Sunderland, MA, EE. UU., 2010.
- Torres-Rue, A., Nieto, H., Parry, C., ELTRA, M., Collatz, W., Coopmans, C.; Kustas, W. 2018. Inter-comparison of thermal measurements using groundbased sensors, UAV thermal cameras, and eddy covariance radiometers. En: *Autonomous Air and Ground Sensing Systems for Agricultural Optimization and Phenotyping III* (Vol. 10664, p. 106640E). International Society for Optics and Photonics. Doi: 10.1117/12.2305832
- Trotón, TF; Fraizer, PS; Marcos, GT; David, WL Evaluación objetiva de la biomasa usando un sensor activo de plantas (Crop circle™)—Experiencias preliminares en una variedad de paisajes agrícolas. En *Actas de la 9.ª Conferencia Internacional sobre Agricultura de Precisión (ICPA)*, Denver, CO, EE. UU., 20–23 de julio de 2008.
- Zhang, Z.; Chen, S.; Chen, P.; Liu, M.; Shang, W. El destino de la cobertura de nitrógeno en el maíz bajo diferentes esquemas de riego basados en la tecnología 15N Tracer. *Nongye Jixie Xuebao/Trans. Barbilla. Soc. agrícola Mach.* 2018 , 49 , 262–272.