

Índices RGB derivados de cámara digital y su relación con la Productividad primaria neta aérea de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L)

Jose Luis Tiedemann^{1,2}

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero¹

² Facultad de Ciencias Naturales (Sede Sur), Universidad Nacional de Salta²

Resumen. Los objetivos en este trabajo fueron cuantificar y comparar la productividad primaria neta aérea (PPNA) de cinco cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.), confeccionar Índices RGB a 0° y 45°, y relacionar la PPNA (t ms ha⁻¹) con los índices rgb. Fueron encontradas diferencias significativas en la PPNA de cultivares ($R^2_{Aj} = 0.31$, $p < 0.01$), la PPNA oscilo entre 0.51 y 0.91 t ms ha⁻¹. Fueron encontradas fuertes y significativas relaciones directas entre los índices rgb a 0° y 45° y la PPNA del cultivar *Mercurio*, no encontrándose relaciones significativas con el resto de los cultivares. Los modelos lineales con índices *r* y *T* en ángulo de 0° presentaron un elevado poder explicativo (R^2_{Aj} 0.75 y 0.67). Los índices *r*, *T* y *SUM* en ángulo de 45° presentaron un elevado poder explicativo (R^2_{Aj} 0.67 y 0.70). Los índices RGB posibilitan cuantificar la productividad de biomasa forrajera aérea de cultivares de trigo.

Palabras clave: RGB, sensores cercanos, modelos lineales, cromaticidad

1 Introducción

El avance en el desarrollo de las cámaras digitales RGB estándar impulsó, de manera simultánea, el desarrollo de software para procesamiento y análisis de imágenes digitales [1]. Las cámaras digitales actuales poseen un sistema cartesiano de captura de colores en el espacio rojo (R), verde (G) y azul (B), donde los números digitales RGB (DN) posibilitan registrar eventos de la vegetación [2]. Entre los trabajos precursores desarrollados a partir de cámaras digitales podemos mencionar el de [3] quienes encontraron fuertes relaciones entre el índice de área foliar y la materia seca de hojas de trigo con índices de vegetación. [4] evaluaron técnicas de procesamiento de imágenes digitales y estimaron porcentaje de cobertura y biomasa en trigo; ellos determinaron fuertes relaciones entre el porcentaje de cobertura y el NDVI, concluyendo que los datos derivados de cámaras digitales poseen un buen valor predictivo. A su vez, [5] cuantificaron la tasa de senescencia en trigo, mediante la relación *Green/Red* derivado de una cámara digital y contrastaron los resultados con el NDVI derivado de un espectrómetro manual y con la concentración de clorofila en hoja derivada del SPAD 502 meter, concluyendo que las cámaras digitales tienen gran potencialidad para ser utilizadas como herramientas de monitoreo del estado de los cultivos.

La determinación de la productividad de primaria neta aérea de la vegetación verde a campo es fundamental para la toma de decisión. Sin embargo las técnicas destructivas de medición tradicionales insumen mucho tiempo, generan costos y fundamentalmente son consideradas altamente tediosas, más aún cuando se incrementa el área de muestreo. Las cámaras digitales actuales, son comercialmente accesibles, y pueden considerarse sensores cercanos de teledetección de alta resolución espacial y temporal. Se han convertido en una poderosa herramienta, como registro permanente de facilitando la descripción de sitios de manera rápida y precisa [2]. Por cuanto la información RGB derivada de cámaras digitales posibilita cuantificar, de manera no destructiva, a bajo costo y con alta precisión la productividad primaria neta aérea de la vegetación verde a campo.

Con base a lo antes expuesto los objetivos de este trabajo fueron: a) cuantificar y comparar la productividad primaria neta aérea (PPNA) de cultivares de trigos, b) confeccionar Índices de Vegetación a partir de imágenes digitales RGB y, c) relacionar la PPNA e Índice *rgb* mediante regresión lineal.

2 Materiales y Métodos

El ensayo fue realizado en un predio de la Facultad de Ciencias Forestales, UNSE, ubicado en el Zanjón, Dpto. Capital, Provincia de Santiago del Estero, Argentina (Figura 1).

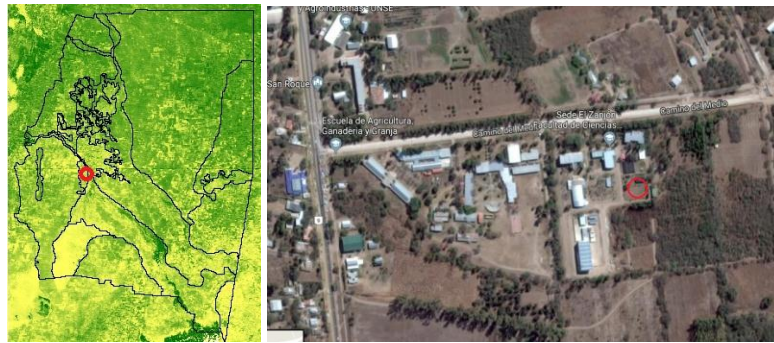


Fig. 1. Izq. El Zanjón (círculo rojo) en la Provincia de Santiago del Estero. Der. El ensayo (círculo rojo) en la Facultad de Cs Forestales, UNSE.

Fueron utilizadas cinco variedades comerciales del criadero Klein (trigosklein.com.ar) de ciclo intermedio largo: Mercurio, Huracán, Minerva, Serpiente, Titanio. Fueron sembrados, al voleo, el 24.05.18, con una densidad de 320 pl m⁻², en diseño completamente al azar, en parcelas de dos m² de superficie con seis repeticiones variedad⁻¹. Las parcelas fueron irrigadas artificialmente para la siembra y post siembra (~40mm riego⁻¹). La PPNA de cada repetición por variedad fue cortada en estado vegetativo a 10 cm de altura del suelo preservando vainas basales. La materia verde de cada repetición y cultivar fue pesada, secada hasta peso constante y llevada a tonelada de material seca por hectárea (t ms ha⁻¹).

La productividad primaria neta aérea acumulada (PPNA) fue evaluada mediante un ANAVA en diseño completamente al azar [6]. Se verificó normalidad con *Shapiro-Wilks* modificado y homogeneidad de varianza con la prueba de Levene [6]. La comparación de medias se realizó mediante el test de comparaciones múltiples LSD Fisher [7].

La PPNA acumulada (t ms ha⁻¹) fue relacionada con índices *rgb* mediante análisis de regresión lineal simple. El modelo utilizado (α 0.05) para la observación del tratamiento *i* en la parcela *j*, fue $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon$ donde Y_{ij} son las observaciones del tratamiento *i* en la parcela *j*; τ_i es el efecto del tratamiento *i* y ε el término de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} . La variable dependiente (y) es la PPNA acumulada de cada variedad y la regresora (x) los índices *rgb* integrados. Los modelos lineales fueron evaluados en base al mejor ajuste del coeficiente de determinación ajustado (R^2_{Aj}) y mediante la observación de los gráficos de dispersión (residuos vs. predichos) [6].

2.1 Programación técnica de la cámara y fotografía

Las imágenes digitales fueron obtenidas mediante el sensor CMOS de 23.5 x 15.6 mm, 24,1 megapíxeles efectivos, cámara reflex Nikon D7100, lente AF-S NIKKOR 18-300 mm f/3.5-5.6G ED VR (*Nikon Corporation*, Tokyo, Japón), el tamaño de fotograma de 2.304 × 1.536 píxeles en formato RAW (*Nikon Electronic Format*). La cámara fue programada en modo automático y sensibilidad ISO 200 [8]. La cámara fue montada en un trípode vertical con nivel, ubicado en la parte central de cada área de corte, a 0.5m de distancia del top del follaje, con un ángulo de inclinación de 0° y 45° [9]. Las imágenes fueron realizadas previo al corte, entre las 10.00 hs y 14.00 hs, con cielo despejado [10]. El balance de blancos fue corregido con la carta de reflectancia 18% Gray Balance (Figura 2).

2.2 Procesamiento y digitalización de imágenes

Todas las imágenes fueron procesadas y digitalizadas mediante Adobe Photoshop CS6 (*Adobe Creative Cloud*). Las imágenes RAW (*Nikon Electronic Format*) fueron ajustadas linealmente en términos espectrales mediante un perfil de calibrado (DGN) con Adobe Cámara Raw (*Adobe Systems Incorporate*). Las imágenes fueron clasificadas mediante el clasificador desarrollado por [11] dando el valor uno a la biomasa forrajera aérea verde o vegetación fotosintéticamente activa y cero al *background* [12]. Los números digitales (ND) fueron extractados de cada parcela con un polígono digital de muestreo (Figura 2).

Los ND RGB fueron transformados a coordenadas cromáticas *rgb* [13] y a partir de ellas fueron confeccionados los índices *rgb*. Fueron confeccionados los índices desarrollados por [13 y 14]: Index Total (T) = $r + g + b$; Index red = r ; Index SUM = $r + g$. Los índices fueron temporalmente integrados ($\sum I_{rgb} ij$) en donde i es el I_{rgb} de la semana j en el momento previo al corte [14].

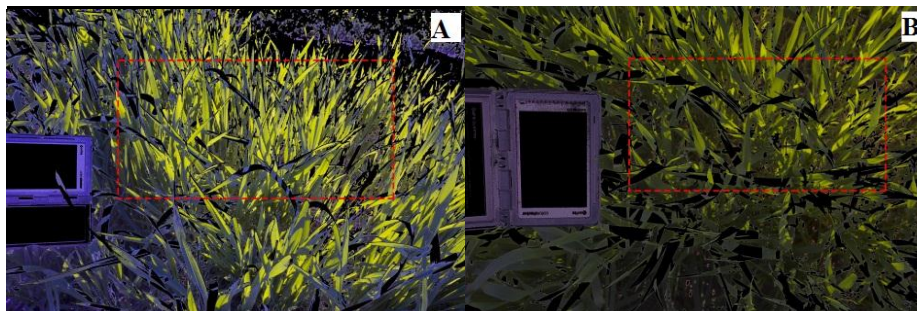


Fig 2. A) Imágen binaria a 45°. B) Imágen binaria a 0°. Ambas calibradas de sensor, 18% *Gray Balance*, y con polígono digital de muestreo (rojo).

3 Resultados

Fueron encontradas diferencias significativas en la PPNA acumulada entre cultivares ($R^2_{Aj} = 0.31$, $p < 0.01$) (Tabla 1). Los cv de mejor rendimiento, en $t\ ms\ ha^{-1}$, fueron Titanio (0.98) y Minerva (0.91), seguidos de Mercurio (0.79) y Serpiente (0.64), el de menor rendimiento fue Huracán (0.51).

Tabla 1. Test de comparaciones múltiples

Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.26881

Error: 0.0511 gl: 25

VARIEDAD	Medias	n	E.E.			
Huracán	0.51	6	0.09	A		
Serpiente	0.64	6	0.09	A	B	
Mercurio	0.79	6	0.09		B	C
Minerva	0.91	6	0.09			C
Titanio	0.98	6	0.09			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fueron encontradas fuertes y significativas relaciones directas entre los índices r y T a 0° y 45° y la PPNA ($t \text{ ms ha}^{-1}$) del cultivar *Mercurio*, no encontrándose relaciones significativas con el resto de los cultivares.

Los modelos de regresión lineal simple entre PPNA e índices a 0° r (1) y T (2) son los siguientes:

$$\text{PPNA}_{t \text{ ms ha}} = 4.52 r - 5.53 \quad (R^2_{Aj} = 0.75; p < 0.01) \quad (1)$$

$$\text{PPNA}_{t \text{ ms ha}} = 0.97 T - 3.59 \quad (R^2_{Aj} = 0.67; p < 0.05) \quad (2)$$

Los modelos de regresión lineal simple entre PPNA e índices a 45° r (3), T (4), y SUM (5) son los siguientes:

$$\text{PPNA}_{t \text{ ms ha-1}} = 1.72 r - 4.52 \quad (R^2_{Aj} = 0.67; p < 0.01) \quad (3)$$

$$\text{PPNA}_{t \text{ ms ha-1}} = 0.74 T - 3.76 \quad (R^2_{Aj} = 0.68; p < 0.05) \quad (4)$$

$$\text{PPNA}_{t \text{ ms ha-1}} = 1.06 SUM - 4.13 \quad (R^2_{Aj} = 0.70; p < 0.05) \quad (5)$$

4 Conclusiones

Los índices r , T y SUM derivados de imágenes digitales RGB en ángulos a 0° y 45° se relacionan con la PPNA de cultivares de trigos.

Los modelos lineales obtenidos, posibilitan de manera simple y efectiva, predecir la productividad de biomasa aérea de cultivares de trigos. Por su simpleza, alto poder explicativo, toman relevancia por su potencial utilidad para predecir la productividad de biomasa aérea de los cultivares a campo

5 Discusión

La productividad de biomasa forrajera aérea acumulada de los cultivares de trigo osciló entre las 0.91 y $0.51 t \text{ ms ha}^{-1}$. Es importante destacar que no se realizaron más cortes con el fin de evaluar características de manejo doble propósito. [15] evaluaron líneas avanzadas y cultivares de trigo como doble propósito en la EEA INTA Bordaberry en el periodo 2007-2012, obteniendo rendimientos de biomasa forrajera que oscilaron entre las 1.6 y $2 t \text{ ms ha}^{-1}$. [16] en ensayos preliminares, no obtuvo diferencias significativas entre la PPNA acumulada de cultivares de trigo, los rendimientos oscilaron entre 4.4 y $5.6 t \text{ ms ha}^{-1}$.

Los modelos lineales obtenidos entre la PPNA acumulada del cultivar Mercurio con los índices r , T y SUM a 0° y 45° presentaron elevado poder explicativo, el R^2_{Aj} osciló entre 0.67 a 0.75. El Índice red a 0° fue el de mayor poder explicativo, mientras que el índice SUM fue el mejor en ángulo de 45° . Similares resultados obtuvo [16] al determinar fuertes relaciones inversas (r -0.99; r -0.88) y directas (r 0.96) entre la PPNA de cv de trigo y los índices T y r a 45° , los modelos lineales ajustados presentaron un elevado poder explicativo, el R^2_{Aj} osciló entre 0.71 y 0.99. A su vez, [17] obtuvo fuertes relaciones lineales inversas entre el índice r y biomasa de alfalfa ($R^2_{Aj} = 0.81$; $p < 0.01$). Similares resultados obtuvo [10] quienes encontraron significativas ($p < 0.05$) relaciones lineales directas entre el canal red ($R^2 = 0.81$) y $green$ ($R^2 = 0.82$) con la biomasa verde aérea de las pasturas. A su vez, [18] relacionaron la concentración de clorofila de trigo y centeno con funciones derivadas de las longitudes red , $green$ y $blue$. Ellos encontraron fuertes relaciones inversas entre el contenido de clorofila con los valores digitales diarios de $r-b$ y $g-b$ ($r = -0.84$ a $r = -0.96$), y al integrar los valores digitales de la estación de crecimiento la relación disminuyó ($r = -0.76$). [5] cuantificaron la tasa de senescencia en trigo mediante la relación $Green/Red$ derivada de cámara digital, y la relacionaron con el NDVI de espectrómetro manual y la concentración de clorofila en hoja derivada del SPAD 502 *meter*. Ellos determinaron fuertes y significativas relaciones directas entre la relación G/R y el NDVI ($R^2 = 0.96$) y SPAD ($R^2 = 0.87$) concluyendo que las cámaras digitales tienen gran potencialidad para ser utilizadas como herramientas de monitoreo del estado de los cultivos. Resultados similares obtuvieron [19] mediante datos de reflectancia RGB derivados de cámaras digitales; ellos encontraron fuertes relaciones directas entre el porcentaje de cobertura de trigo con el contenido de nitrógeno ($r = 0.96$), con la biomasa seca ($r = 0.97$) y con el índice de área foliar ($r = 0.93$), concluyendo que las bandas red y $green$ indican correctamente el porcentaje de cobertura del follaje en estado vegetativo en invierno y comienzos de primavera.

6 Trabajos futuros

El proyecto 23B151 CyT FCF UNSE continúa con los ensayos estacionales de cultivos de trigos (Klein) y de alfalfas en el área de riego del Río Dulce Sgo. del Estero y en Metán, Salta. La presentación de este trabajo en el CAI, podría considerarse como una invitación, en el marco de CyT entre Universidades, con el fin de generar asociaciones que posibiliten la generación de nuevas líneas de investigación, especialmente para el desarrollo de software libre, que posibiliten el procesamiento, digitalización, extracción de información y análisis estadísticos de datos derivados de imágenes RGB. La idea principal es que sus aplicaciones solucionen/faciliten la resolución de problemas a nivel docente y especialmente a sectores como asesores, extensionistas y/o productores agroganaderos que trabajan a campo.

7 Referencias

1. Ahrends, H. E., R. Brügger, R. Stöckli, J. Schenk, P. Michna, F. Jeanneret, H. Wanner, and W. Eugster. Quantitative phenological observations of a mixed beech forest in northern Switzerland with digital photography, *J. Geophys. Res.* 113 (2008) 1-11. doi:10.1029/2007JG000650.
2. Sakamoto T; Gitelso A. A; Nguy-Robertson A.L; Arkebauer, J; Wardlow B.D; Suzyker A.E; Vermab S.B; Shibayama M. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154-155 (2012) 113–126.
3. Wiegand C. L., Richardson A. J. & Kanemasu E. T. Leaf area index estimates for wheat from LANDSAT and their Implications for evapotranspiration and crop modeling. *Agron j.* 71 (1979) 336-342.
4. Lukina E. V., Stone M. L. & Raun W.R. Estimating vegetation Coverage in Wheat Using Digital Image. *Journal of Plant Nutrition* 22 (1999) 341-350
5. Adamsen F. J. P. J., Pinter P. J., Barnes E. M., LaMorte R. L., Wall G. W., Leavitt S. W. & Kimball B. A. Measuring wheat senescence using a digital camera. *Crop Sci.* 39 (1999) 719–724.
6. Balzarini M. G; Gonzalez L; Tablada M; Casanoves F; Di Rienzo J.A; Robledo C.W. *Manual del Usuario, Editorial Brujas* (2011). Córdoba, Argentina.
7. Di Rienzo JA; Casanoves F; Balzarini MG; Gonzalez L; Tablada M; Robledo CW. 2011. *InfoStat, versión 2011, Grupo InfoStat, FCA, (2011) Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.*
8. Sakamoto T., Shibayama M., Kimura A. & Takada E. Assessment of digital camera-derived vegetation indices in quantitative monitoring of seasonal rice growth. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66 (2011) 872–882.
9. Rasmussen J., Nørremark M. & Bibby B. M. Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. *Weed Research*, 47 (2007) 299-310.
10. Inoue T; Nagai S; Kobayashi H. and Koizumi H. Utilization of ground-based digital photography for the evaluation of seasonal changes in the aboveground green biomass and foliage phenology in a grassland ecosystem. *Ecological Informatics* 25 (2015) 1–9.
11. Yen J., Chang F. and Chang S. A new criterion for automatic multilevel thresholding. *IEEE Transactions*, 4 (1995) 370-378.
12. Baret F., de Solan B., Lopez-Lozano R., Ma K. & Weiss M. GAI estimates of row crops from downward looking digital photos taken perpendicular to rows at 57.5° zenith angle: Theoretical considerations based on 3D architecture models and application to wheat crops. *Agricultural and Forest Meteorology*. 150 (2010) 1393–1401.
13. Gillespie A. R; Kahle A. B; Kahle A. B and Walker R.E. Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI Contrast Stretches. *Remote Sens. Environ.* 20 (1986) 209-235.
14. Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens Environ* 8 (1979) 127-150.
15. López J. Estrategias de mejoramiento y evaluación del comportamiento doble propósito (pasto y grano) de trigo y triticales en la EEA INTA Bordenave. En: *Verdeos de invierno*. Ed. Marcelo Ortellado. 1ª ed. Bordenave, Buenos Aires, Ediciones INTA, (2014) p52.
16. Tiedemann JL. Productividad de biomasa forrajera aérea de variedades de trigo (*Triticum aestivum* L) y su relación con coordenadas cromáticas derivadas de cámara digital. *Ecol. apl.* 17 (2018) 61-68.

17. Tiedemann JL. Productividad de biomasa forrajera aérea integrada de alfalfa (*Medicago sativa* L) y sensores cercanos. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de las Facultades de ingeniería del NOA. (2018a) 13-14 Sep, SDE.
18. Kawashima S, Nakatani M. An algorithm for estimating growth and development on the pathway of floral development, chlorophyll content in leaves using a video camera. *Annals of Botany* 81 (1998) 49–54.
19. Li Y., Chena D., Walker C. N. & Angus J. F. Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera. *Field crops Research* 118 (2010) 221-227.