

22. Sensoramiento Remoto y Meteorología Aplicada

Diferencias en la respuesta espectral entre repeticiones de un ensayo de soja mediante índices de vegetación obtenidos por un vehículo aéreo no tripulado (VANT)

Batista, José A.; Di Leo, Néstor

joseabatista993@gmail.com; ndileo@unr.edu.ar;

Facultad de Ciencias Agrarias

Universidad Nacional de Rosario

Resumen

El fenotipado de plantas es una actividad que se inserta en la unión entre la biología, genética e informática, y que busca resolver los problemas de una estimación rápida y precisa del fenotipo de las plantas. La teledetección, principalmente aérea y terrestre, juega un papel importante en esta actividad. El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento espectral por medio de índices de vegetación, de una variedad de soja en el gradiente ambiental que determinó el diseño y ubicación de tres repeticiones de correspondientes a un diseño en bloques incompletos aleatorizados, mediante el empleo de un *drone* equipado con una cámara multispectral. El estudio se llevó cabo en un ensayo de tolerancia a herbicidas (3 dosis) para 6 variedades de soja (*Glicine max L.*), el cual se voló con un *drone* eBee SQ. Los resultados indican que el NDVI no es sensible a diferencias en el gradiente del suelo en una sequía severa, que originalmente motivó la orientación de bloques y repeticiones, y el diseño en sí del experimento. El NDRE muestra diferencias significativas solo entre las dos repeticiones extremas. Estos resultados estarían indicando que la ubicación y/o la orientación del ensayo no estarían dando cuenta del gradiente supuesto a priori en cuanto a las condiciones edáficas. El uso de la banda borde rojo podría ser una ventaja para las determinaciones fenotípicas finas, debido a su sensibilidad a los cambios de clorofila causados por factores abióticos, bióticos y/o genéticos.

Palabras clave: Fenotipado, Soja, Vehículo aéreo no tripulado, Índices espectrales

Introducción

El fenotipado de plantas es una actividad que se inserta en la unión entre la biología, genética e informática, y que busca resolver los problemas de una estimación rápida y precisa del fenotipo de las plantas. La teledetección, principalmente aérea y terrestre, juega un papel muy importante en esta actividad. El fenotipado de plantas se ha desarrollado rápidamente debido a la necesidad de analizar las características fenotípicas en experimentos genéticos y de reproducción a gran escala en cultivos (Yang et al., 2017).

En el contexto del fitomejoramiento, el fenotipado se define como la evaluación de los fenotipos de las plantas en una escala y con un nivel de velocidad y precisión no alcanzable con métodos tradicionales, mediante la aplicación de tecnologías emergentes como la automatización y la robótica, nuevos sensores y tecnologías de imágenes, entre las cuales se encuentran las captadas por vehículos aéreos no tripulados (VANT, por sus siglas en inglés) (Di Gennaro et al., 2017).

Por otra parte, los índices de vegetación son combinaciones matemáticas de diferentes bandas espectrales, principalmente en las regiones correspondientes al visible y al infrarrojo

cercan del espectro electromagnético (Viña et al., 2011), y son medidas ópticas del nivel de “verdor” del dosel de la vegetación, una propiedad compuesta por la clorofila foliar, el área foliar, el porcentaje de cobertura del suelo y arquitectura del dosel (Jiang et al., 2008). La utilidad de los índices de vegetación está determinada por su alta correlación con los parámetros biofísicos de las plantas, y su baja sensibilidad a los factores que dificultan la interpretación de los datos de teledetección, como ser el fondo del suelo, relieve, elementos no fotosintéticos de las plantas, atmósfera, geometría de observación e iluminación (Huete y Justice, 1999)

Objetivos

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el comportamiento espectral por medio de índices de vegetación, de una misma variedad de soja en el gradiente ambiental que determinó el diseño y ubicación de tres repeticiones de correspondientes a un diseño en bloques incompletos aleatorizados, mediante el empleo de un dron equipado con una cámara multiespectral.

Materiales y Métodos

El presente estudio se llevó cabo en un ensayo de tolerancia a herbicidas (3

dosis) para 6 variedades de soja (Glicine max L.), de la empresa Indear SA, ubicado en la localidad de Roldán, Santa Fe. El relevamiento se realizó el 1 de febrero de 2018 con un vehículo aéreo no tripulado (UAV) de marca eBee, modelo SQ (senseFly, 2018). Este equipo posee una envergadura alar de 110 centímetros, con un peso total al despegue de 1,1 kg., y porta en su carga útil una cámara multiespectral Parrot Sequoia que dispone de los canales espectrales infrarrojo cercano, borde rojo, rojo y verde; además está provista con sensor de luminosidad incidente por lo que la calibración radiométrica es exacta (Figura 1).

El vuelo se planificó en el software eMotion AG, definiendo un tamaño de pixel en tierra de 6 centímetros, el cual se corresponde con una altura de vuelo de 63,7 m sobre el terreno. Para relevar los dos sectores donde se ubican los ensayos de soja y maíz dentro del campo se norte definieron dos lotes, el ubicado más al abarcando 6,0 ha y el restante 13,5 ha. La misión en total implicó la captura de 985 fotos individuales con un 70% de superposición lateral e insumió casi 28 minutos de vuelo, el cual se realizó con una sola carga de batería (Figura 2).



Figura 1: Drone multiespectral eBee SQ.

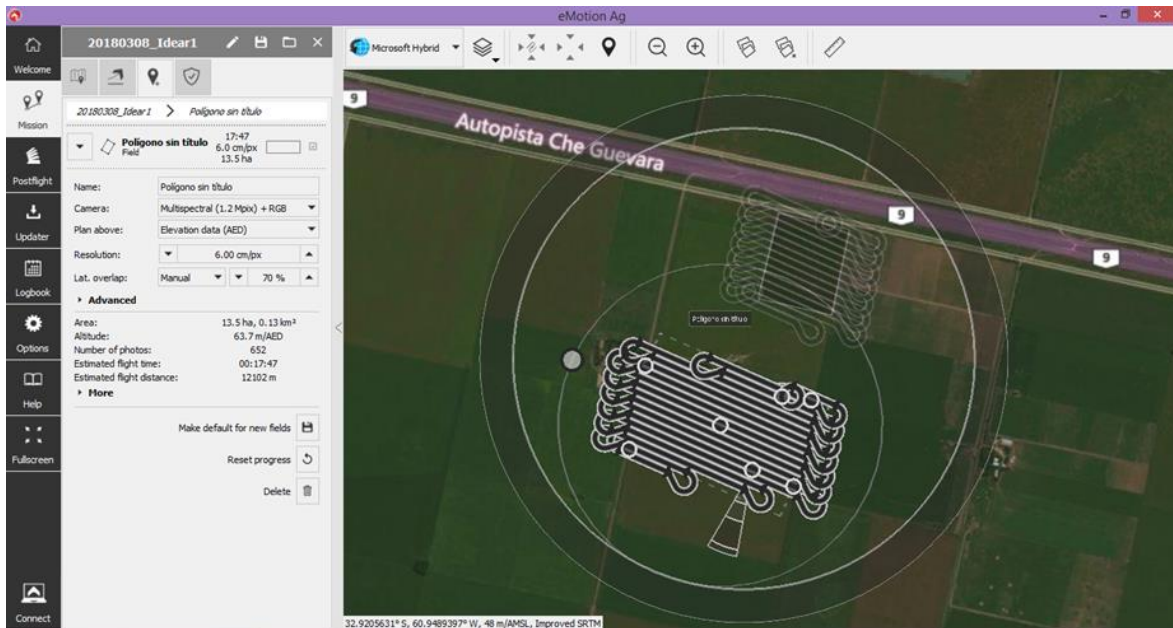


Figura 2: Software eMotion Ag mostrando la planificación de la misión de vuelo.

En el ensayo evaluado, cada una de las tres repeticiones está integrada por 4 bloques con 7 parcelas, por lo que hay 28 por repetición. Cada bloque consta de cinco unidades experimentales reales y dos parcelas de borde, por lo que en realidad cada repetición tiene 20 unidades experimentales (18 de los cuales están ocupados por tratamientos y las dos restante son de relleno), más las 8 parcelas de borde sembradas con el mismo cultivar de soja que los rellenos.

Por lo tanto, en cada repetición hay 10 parcelas con el mismo cultivar de soja que podrían usarse para evaluar si hay diferencias entre las repeticiones.

La Figura 3 muestra los mapas de reflectancia utilizando el compuesto de falso color RGB: NIR-Rojo-Verde, con el polígono vectorial (en formato *shapefile*) de todas las unidades experimentales trazadas sobre él; las parcelas rellenas de amarillo en la son las que se usaron para realizar esta evaluación.

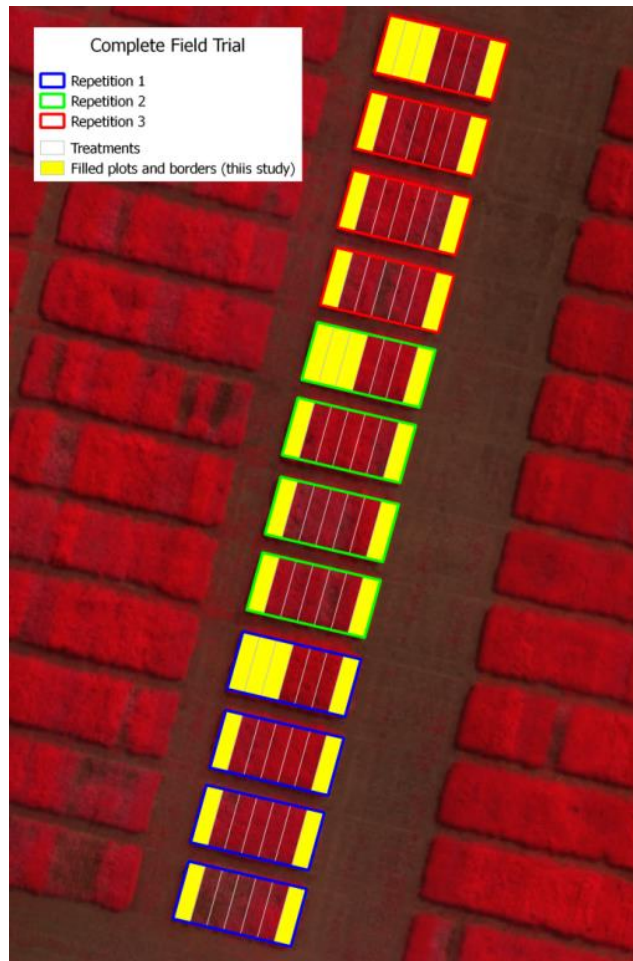
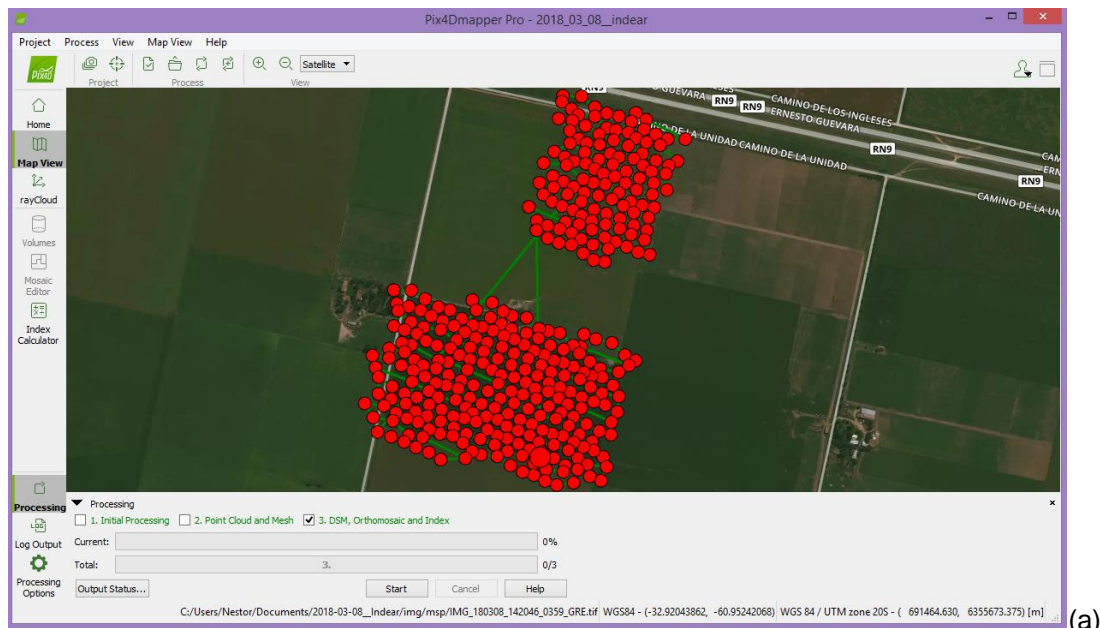


Figura 3: Diseño experimental evaluado y ubicación de las parcelas tomadas como unidades experimentales dentro de cada tratamiento en el presente estudio.

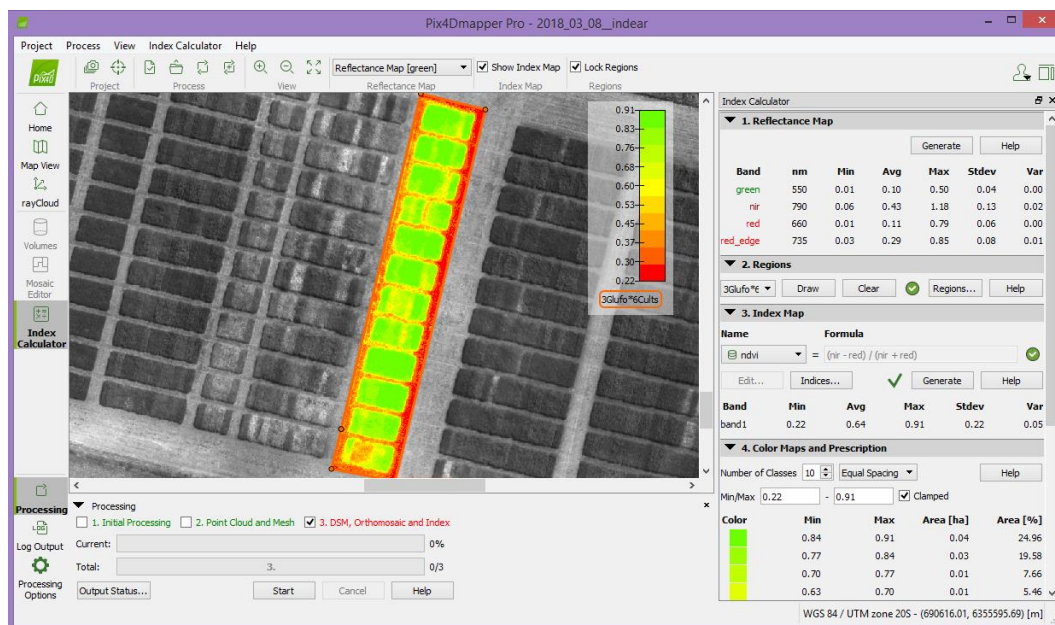
La comparación entre las tres repeticiones se realizó utilizando dos índices espectrales. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974) y el índice de diferencia normalizada de borde rojo (NDRE) (Barnes et al., 2000).

En el software Pix4D Mapper se realizaron todos los pasos de geoprocésamiento para obtener estos dos índices, estos comprenden primeramente el proceso de cómputo de los puntos 3D surgidos a

partir de la homología dentro de las áreas de superposición entre fotos contiguas. En segundo lugar, el software genera un modelo digital de superficie para poder reproyectar cada foto individual (con proyección central) y conformar un ortomosaico (con proyección vertical) para cada una de las 4 bandas espectrales. El tercer paso implica el ajuste de la calibración radiométrica y el cómputo de índices espectrales (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4: Primer (a) y tercer (b) de la secuencia de geoprocetamiento en el software Pix4D Mapper.

Luego, en entorno del software QGIS, los límites de las parcelas fueron digitalizados cuidadosamente y se trazó un buffer interior de 18 cm (3 píxeles) para evitar los píxeles que se mezclan entre dos parcelas

o el exterior. Luego, el algoritmo de "estadística zonal" se aplicó sobre NDVI y NDRE para relevar los valores promedios de los píxeles correspondientes a cada unidad experimental (Figura 5).

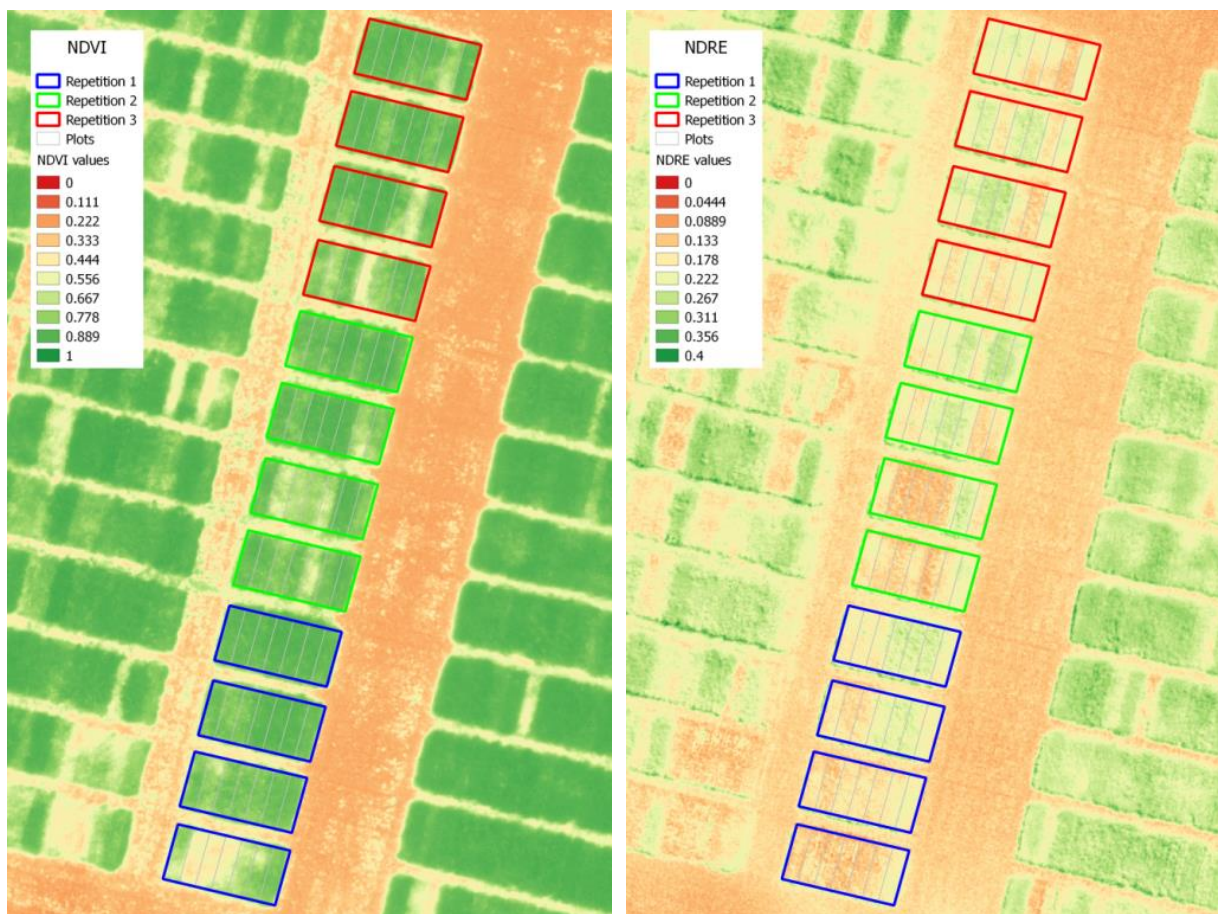


Figura 5: NDVI y NDRE del ensayo envaluado con los polígonos de las parcelas para extracción de la estadística zonal por parte del software QGIS

Resultados y Discusión

La fiabilidad de las mediciones de reflectancia espectral, y su naturaleza no destructiva convierten esta metodología en una herramienta prometedora para la evaluación de las características de crecimiento y/o desarrollo en plantas individuales como en parcelas (Álvaro et al., 2007).

Con los valores promedios de los píxeles ubicados dentro de cada una de las 10 parcelas por cada repetición, se realizó un

análisis de variancia estadística para evaluar si existían diferencias significativas entre las repeticiones para cada uno de los índices espectrales evaluados. Estos resultados se muestran en las Tablas 1 (para NDVI) y 2 (para NDRE)..

Table1: Análisis de la variancia para NDVI.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NDVI	30	0,08386	0,016	4,5006

Tabla ANOVA para NDVI

F.V.	Sum Sq	df	Mean Sq	F	p-value
------	--------	----	---------	---	---------

Modelo	0,00341	2	0,00171	1,23576	0,3065
Zonas	0,00341	2	0,00171	1,23576	0,3065
Error	0,0373	27	0,00138		
Total	0,04071	29			

Tabla 2: Análisis de la variancia para NDRE.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
NDRE	30	0,32315	0,27301	7,54578

Tabla ANOVA para NDRE

F.V.	Sum Sq	df	Mean Sq	F	p-value
Modelo	0,00279	2	0,00139	6,44524	0,0051
Zonas	0,00279	2	0,00139	6,44524	0,0051
Error	0,00583	27	0,00022		
Total	0,00862	29			

Test de Tukey. Alfa=0,05 DMS=0,01630; Error: 0,0002; df: 27

Zonas	Means	n	E.E.		
Repet_A	0,18462	10	0,00465	A	
Repet_B	0,19204	10	0,00465	A	B
Repet_C	0,20773	10	0,00465		B

>Medias seguidas de letras iguales son no significativamente diferentes (p > 0,05)

Estos resultados indican que al menos el NDVI no es sensible a las diferencias en las condiciones del gradiente del suelo en una sequía severa, que originalmente motivó la orientación de bloques y repeticiones, y el diseño en sí del experimento. El NDRE muestra diferencias significativas entre las dos repeticiones extremas (A y C), pero no con la intermedia (B).

Estos resultados estarían indicando que la ubicación y/o la orientación del ensayo no estarían dando cuenta del gradiente supuesto a priori en cuanto a las condiciones edáficas. El uso de la banda Red Edge podría ser una ventaja para las determinaciones fenotípicas finas, debido a su sensibilidad a los cambios de clorofila

causados por factores abióticos, bióticos y/o genéticos.

Conclusiones

Se deben multiplicar este tipo de estudios para encontrar relaciones robustas entre el fenotipo de un cultivo y las respuestas espectrales que pueden captarse a partir de índices calculados desde datos captados por cámaras multiespectrales a bordo de drones. Sin embargo, el presente estudio muestra que el uso de estas herramientas, junto con el flujo de geoprocesamiento asociado y el análisis de datos, es muy útil y fácil de usar en el fenotipado de plantas. Muchos caracteres de plantas o cultivos se pueden relevar o recuperar más rápido y con bajos costos, en comparación con los métodos

tradicionales de fenotipado que se llevan a cabo en semilleros y/o empresas e instituciones de mejoramiento vegetal.

Bibliografía

Álbaro, F.; García del Moral, L.; Arroyo, C. (2007). Usefulness of remote sensing for the assessment of growth traits in individual cereal plants grown in the field. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 28, No. 11, 10

Barnes, E. M., T. R. Clarke, S.E. Richards, P.D. Colaizzi, et al. (2000). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *Proc. 5th Int. Conf. Precis Agric.* Bloomington, MN, USA.

Di Gennaro, S.F.; Rizza, F.; Badeck, F.W.; Berton, A.; Delbono, S.; Gioli, B.; Toscano, P.; Zaldei, A.; Matese, A. (2017). UAV-based high-throughput phenotyping to discriminate barley vigour with visible and near-infrared vegetation indices. *Int. J. Remote Sens.*, 1–15.

Huete A., Justice C. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document, Greenbelt: NASA Goddard Space Flight Center, <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/LAN/D/#vegetation-indices>, 129 pp.

Jiang, Z.; Huete, A.R.; Didan, K.; Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue

band. *Remote Sens. Environ.* 112, 3833–3845.

Rouse, J., R. Haas, J. Schell, and D. Deering. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium*, NASA: 309-317.

senseFly Industries SA, Lausana, Suiza. Web: www.sensefly.com

Viña, A.; Gitelson, A.A.; Nguy-Robertson, A.L.; Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sens. Environ.* 115, 3468–3478.

Yang, G.; Liu, J., Zhao, C.; Li, Z.; Huang, Y.; Yu, H.; Xu, B.; et al. (2017). Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1111, doi: 10.3389/fpls.2017.01111.