



XVIII SIMPOSIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (SIE-2019)

Detección de densidad vegetal en campos de caña de azúcar mediante la fotogrametría multiespectral

Detection of plant density in sugar cane fields using multispectral photogrammetry

Samy Kharuf Gutierrez¹, Rubén Orozco Morales², Emma Pineda Ruiz³, Luis Hernández Santana⁴, Eric Alejandro Primelles Pérez⁵

1-MsC Samy Kharuf Gutierrez. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.

kharuf@uclv.cu

2-DrC Rubén Orozco Morales. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.

rorozco@uclv.edu.cu

3- DrC Emma Pineda Ruiz. Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba. emma.pineda@inicavc.azcuba.cu

4- DrC Luis Hernández Santana. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. luishs@uclv.edu.cu

5- Eric Alejandro Primelles Pérez. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba. eprimelles@uclv.cu

Resumen: La caña de azúcar es un cultivo vital para numerosos países y aumentar el rendimiento de las plantaciones es un tema prioritario. El objetivo de este estudio fue explorar el uso de la fotogrametría multiespectral mediante UAV para identificar parcelas de caña de azúcar con un elevado número de tallos, posibilitando estimar los posibles rendimientos en los sembrados azucareros.

La cámara multiespectral empleada fue la Parrot Sequoia y el software utilizado para generar los mapas de índices fue el Pix4D. De todos los índices derivables del sensor Parrot Sequoia, el índice IPVI fue el que mejor correlación arrojó con el número de tallos por parcelas, posibilitando evaluar los campos de caña de azúcar en dependencia a su densidad vegetal. Las imágenes obtenidas empleando UAV pueden representar una herramienta de bajo costo para adquirir datos remotos de alta precisión que se pueden



emplear para estimar el número de tallos de los campos de caña de azúcar; y de esta manera son una herramienta efectiva para ayudar a los productores a tomar decisiones.

***Abstract:** Sugarcane is a vital crop for many countries, for which, increasing the yields of sugarcane plantations is an issue of paramount importance nowadays. This study was aimed at exploring the advantages of using the UAV-based multispectral photogrammetry to identify the sugarcane plots with the higher amounts of stems within a sugarcane plantation, so its possible yields could be estimated.*

The multispectral camera used to conduct the study was the Parrot Sequoia while the index maps were generated with the Pix4D software. After analyzing all the indexes derived from the Parrot Sequoia sensor, the IPVI index showed the best correlation with the number of stems per plot, thus making it possible to evaluate the sugarcane fields regarding their plant density. The images obtained using UAVs constitute a low cost tool when it comes to acquiring remote data with high precision, that in turn, can be used to estimate the number of cane stems in the sugarcane fields; for which they are an effective tool to help sugar producers to make efficient decisions.

Palabras Clave: Caña de azúcar, índices de vegetación, UAV, Pix4D.

Keywords: Sugarcane, vegetation index, UAV, Pix4D.

1. Introducción

El aumento constante de la población, la incesante demanda de alimentos, la reducción de tierras cultivables y el cambio climático son factores que han potenciado la búsqueda de nuevas formas para mejorar los niveles de productividad y sostenibilidad en la industria agrícola (Bendig, 2015). Hoy en día existe una necesidad fundamental de técnicas precisas y eficientes que permitan a los agricultores, con un gasto mínimo de insumos, alcanzar grandes producciones. Esto ha llevado a investigadores y expertos de múltiples disciplinas a examinar diferentes formas de incorporar las nuevas tecnologías en los sistemas agronómicos (Geipel et al., 2014).

La caña de azúcar es un recurso económico importante para muchos países tropicales; principalmente por su habilidad de almacenar altas concentraciones de sacarosa en los intermedios de los tallos. La caña se puede cosechar anualmente hasta por cinco años



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

sin necesidad de volver a sembrar; el primer cultivo cosechado se denomina caña planta y retoño 1, 2, 3, 4 ó 5 para cada cosecha sucesiva.

Una de las mejores formas de optimizar el uso de los recursos en esas plantaciones es disminuir los sectores con escasa densidad vegetal; típicamente esto se debe a brotes dañados o a la muerte temprana de los tallos de caña. Para evitar un decremento del rendimiento de la producción, los agricultores deben replantar con plantas nuevas los sectores afectados.

Las prácticas de estimación de la densidad vegetal, utilizadas regularmente en el sector azucarero, requieren abundante mano de obra y no es posible ejecutarlas con la suficiente regularidad para aportar información espacial detallada para el mapeo; lo que hace que la selección de las zonas a replantar sea en extremo laboriosa. Además, estos métodos emplean un tamaño de muestra pequeño para deducir el estado de un campo entero y su exactitud es limitada. Por razones económicas y ambientales, es vital utilizar métodos que puedan establecer con mayor precisión la densidad de tallos de caña en un sector dado.

En los últimos años, las tecnologías en las que se sustenta la teledetección y sus aplicaciones han progresado sustancialmente. En la actualidad, la teledetección es una de las principales herramientas en múltiples áreas de la ciencia; como la meteorología, oceanografía, climatología, ciencias militares, ciencias de la tierra, y protección civil, entre otras (Santana et al., 2015).

Novedosos detectores y tecnologías de imagen están incrementando la capacidad de la teledetección para, mediante ella, recopilar información espacial digital en una amplia gama de resoluciones finas de un modo eficiente, lo que permite adquirir información actualizada de objetos y fenómenos en la superficie terrestre en un período de tiempo breve (Etxeandia Unamuno, 2015),(Laguardia and Gutiérrez, 2018).

Una de las principales aplicaciones de la teledetección, es identificar los patrones de distribución de la vegetación en el suelo y evaluar los cambios de esta en el tiempo. Con la teledetección la imagen representa a la población, dado que las mediciones se efectúan a través de toda el área de interés (Kharuf Gutierrez, 2018). Los datos de teledetección son capaces de captar cambios en la fenología de las plantas durante todo el período de crecimiento, ya sean variaciones en el nivel de clorofila o cambios estructurales (Rahman et al., 2004).



Años atrás, la teledetección aérea se efectuaba fundamentalmente con el empleo de aeronaves pilotadas y sensores satelitales, sin embargo, en la última década estos se han ido sustituyendo por vehículos aéreos no tripulados (VANT); que son aviones controlados de forma remota desde una estación terrestre y con cierto grado de autonomía en el vuelo. Los VANT normalmente son de un costo bajo, poco peso y moderada velocidad, siendo ideales para la recolección de datos de teledetección. Actualmente, hay dos grandes plataformas para vehículos aéreos no tripulados, el tipo "Ala fija" y el tipo "Ala rotatoria".

Numerosas prestaciones de las plataformas para VANT son expuestas por diversos autores (Santana et al., 2015). Algunas de las más destacadas son el aumento de la producción respecto a otros métodos tradicionales de trabajo, menor costo, disminución del tiempo utilizado para la recopilación de datos, posibilitan la ejecución de trabajos en áreas de poca accesibilidad y cuentan con la capacidad de volar a baja altura; posibilitando tomar fotografías con una elevada resolución, algo fundamental para el manejo de sitios específicos en los cultivos.

En gran medida, estas aplicaciones se derivan de los índices vegetativos (IV), los cuales no son más que medidas cuantitativas, fundamentadas en los valores digitales, que se correlacionan con disímiles parámetros de la vegetación física como la biomasa, la actividad fotosintética, la productividad (Gutierrez-Rodriguez et al., 2005), el índice de área foliar (IAF), el contenido de clorofila y contenido de nitrógeno (Mulla, 2013) o el nivel de cobertura vegetal de la tierra, aprovechando el hecho de que son indicadores sensibles de la presencia y condición de la vegetación verde (Osborne et al., 2002), (Goel, 1988), (Lee et al., 2004), (Gutierrez et al., 2018a).

Normalmente los IV se calculan a partir de varias bandas espectrales, siendo el resultado de sumar, dividir o multiplicar diversos valores espectrales de una manera específica, para generar un valor que revele la cuantía o robustez de la vegetación dentro de un píxel; posibilitando estimar y evaluar el estado fisiológico de las plantas, basándose en la cuantificación de la radiación que las plantas emiten o reflejan (Gutierrez et al., 2018b).

El índice de área foliar (LAI) es uno de los principales índices para calcular el nivel de densidad vegetal en un sector dado (Córcoles et al., 2013). Existen varios métodos para medir LAI que pueden ser directos o indirectos (Borges et al., 2017); siendo los



métodos directos los que emplean medidores de área foliar, que son instrumentos diseñados con este propósito y que poseen una resolución del orden de mm^2 .

Aunque la medición directa del LAI resulta más precisa, es en extremo laboriosa cuando se trabaja en áreas relativamente grandes, requiere de equipos costosos y en ocasiones no fácilmente manipulables. Para salvar esta dificultad, se ha utilizado el sensado remoto para determinar indirectamente el LAI a partir de mediciones de la radiación fotosintéticamente activa y su relación con varios índices vegetativos.

Trabajos previos han validado la capacidad de los índices vegetativos para evaluar la masa foliar y el posible rendimiento de los campos de caña de azúcar, no obstante, la mayoría de estos informes se han centrado en plataformas basadas en satélites o sensores pasivos (Lofton et al., 2012),(Zhao et al., 2016), con pocos trabajos que demuestren la potencialidad de un UAV para estimar la densidad de tallos en campos de caña de azúcar en zonas tropicales.

Este trabajo busca identificar, mediante la fotogrametría multiespectral, sectores con un elevado número de tallos de la variedad de caña de azúcar C 86-12. Con los resultados obtenidos, se espera facilitar el trabajo de los productores para corregir problemas relacionados con una pobre densidad vegetal en los campos cañeros y viabilizar de este modo una resiembra que haga posible un incremento del rendimiento.

El trabajo se estructura de la siguiente manera: En la sección II se describen las características de los campos experimentales de caña sobrevolados. Además, se presenta el sistema para la recolección y procesamiento de las imágenes multiespectrales del lote experimental. En lo referente a la sección III, se presenta la correlación obtenida entre los índices vegetativos derivables de la cámara Parrot Sequoia y el número de tallos de caña de azúcar contabilizados en cada una de las parcelas. Finalmente se presentan conclusiones y agradecimientos en la Sección IV.

2. Metodología

Las pruebas se efectuaron en la Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar (ETICA), localizada en el municipio de Ranchuelo de la provincia de Villa Clara, Cuba. Fue sobrevolado, en diferentes épocas del año, un campo experimental de nitrógeno (VmNn-18) de la variedad de caña C86-12. Desde hace varias décadas se



proporciona una dosis fija de nitrógeno a cada una de las parcelas que conforman el experimento VmNn-18.

Los portadores nitrogenados suministrados fueron indistintamente urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio. La cantidad y tipo de fertilizante empleado, concentración de minerales en el suelo, número de tallos por parcela y toneladas de caña por Kg de fertilizante son datos que han sido recolectados escrupulosamente desde el comienzo de este ensayo.

El experimento de nitrógeno VmNn-18 se inició el 25 de mayo de 1986, y se encuentra ahora en su quinto ciclo, que fue sembrado el 16 de junio de 2017, los vuelos fueron realizados cuando los campos se encontraban en la etapa de "caña planta" (primera brotación luego de la siembra, sin haber realizado aún ningún corte). Este campo consta de 40 parcelas sometidas a dosis variables de nitrógeno desde 0 – 200 Kg / ha, con 4 réplicas para cada dosis diferente de nitrógeno (Figura 1); el tipo de suelo donde se desarrolla el experimento se califica como Pardo Vértico.

Las parcelas experimentales tienen cuatro surcos de 7.5 m de largo, separados a 1.60 m, con un área total de 48 m². Las muestras del suelo se recolectaron en los primeros 25 cm de profundidad del perfil, según las Normas Metodológicas del Departamento de Suelos y Agroquímica de la ETICA.

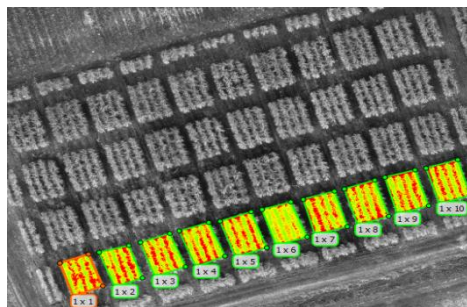


Figura 1. Mapa NDVI en escalas de grises del lote de caña experimental VmNn-18 en la etapa de caña planta para cada una de las 10 dosis de nitrógeno aplicadas.

El VANT empleado en este proyecto fue el 3DR RTF X8+ (Figura 2), el cual posee una capacidad de carga útil de 800 gramos, tiempo de operación máximo estimado sobre los 15 min y velocidad máxima de vuelo de 30 m/s. La unidad de piloto automático incluida en el VANT, es el Pixhawk v2.4.5.



Figura 2. VANT 3DR RTF X8+

Las imágenes multispectrales fueron recolectadas con la cámara Parrot Sequoia, completamente especializada para realizar proyectos vinculados a la agricultura de precisión (Ahmed et al., 2017),(Gutierrez et al., 2018b),(Stroppiana et al., 2018). Este sensor posee 4 cámaras espectrales de 1.2 Mpx, cada una para capturar las bandas del espectro GREEN, RED, NIR, RED-EDGE.

Para diseñar el plan de vuelo se utiliza el software Mission Planner (Figura 3), el cual es una estación de control en tierra con todas las funciones de proyecto de piloto automático de código abierto APM (Multiplatform Autopilot). Mission Planner propone una serie de cámaras, incluida la Sequoia empleada en este proyecto, de las cuales conoce sus características y a partir de estas calcula el recorrido del vuelo y la altura sobre el suelo a la que debe sobrevolar el VANT, lo que es vital para recolectar imágenes con la resolución adecuada.



Figura 3. Pantalla de planificación de la misión del Mission Planner

La respuesta espectral de la caña está determinada por los pigmentos de las hojas, la deficiencia de nutrientes como el nitrógeno (Zhao et al., 2005) y el contenido de agua;



estos factores provocan en las hojas altas absorciones o reflectancias de bandas espectrales específicas. El comportamiento espectral también se encuentra determinado por parámetros agronómicos como el follaje; un sembrado con una mayor cantidad de tallos refleja más la energía que uno con una baja densidad vegetal (Bégué et al., 2010). En este trabajo se procesó el lote experimental para un total de 14 índices vegetativos derivables del sensor Sequoia. Otros índices derivables del sensor Sequoia fueron computados, pero al ser versiones de los 14 índices calculados previamente arrojaron valores muy similares a estos y mostraron problemas de multicolinealidad durante el análisis estadístico.

Se efectuaron en total tres vuelos sobre el área de estudio, con un solapamiento entre las imágenes de un 60% lateral y 80% frontal. Los dos primeros vuelos fueron a los 227 y 270 días después de la siembra respectivamente, cuando la caña estaba en el "gran período de crecimiento" (entre los tres y siete meses de vida). El tercer vuelo fue a los 330 días después de la siembra, encontrándose ya la caña en fase de maduración. La altura de vuelo se mantuvo en los 40 metros, bajo un clima soleado, obteniéndose un GSD (Ground Sample Distance) de 3 cm/pixel.

Se empleó el software Pix4Dmapper Ag para componer los ortomosaicos multiespectrales. Este software es el más adecuado para generar los mapas de índices vegetativos, si el sensor seleccionado es el Parrot Sequoia, ya que incorpora correcciones radiométricas específicas para esta cámara, que posibilitan obtener mapas de índices de una elevada calidad (Gutierrez et al., 2018b); además de estar diseñado específicamente para la agricultura de precisión.

3. Resultados y discusión

Primeramente, se generó el mapa de índices NDVI, el cual ha sido utilizado por múltiples investigadores para detectar masas de vegetación y de clorofila (Mulianga et al., 2013). El mapa NDVI a pseudocolor (Figura 4) fue evaluado en el campo con varios agrónomos de la ETICA; constatándose la estrecha relación entre parcelas con altos niveles de NDVI y parcelas de caña con un elevado vigor vegetal y masa foliar; además de posibilitar, según la respuesta espectral, discriminar los sectores cubiertos de caña, pasto y suelo.



Figura 4. Mapa NDVI a pseudocolor del lote de caña experimental VmNn-18 en la etapa de retoño luego del primer corte. A valores más cercanos de 0.9 mayor vigor vegetal de las plantaciones. Valores cercanos a cero corresponden a suelo descubierto.

A pesar de los buenos resultados alcanzados con el índice NDVI, se evaluaron los campos para todos los otros 13 índices derivables del sensor Sequoia; ya que diversos estudios han señalado que el índice NDVI se satura en sectores con elevados niveles de masa foliar (Miura et al., 2000).

Se efectuaron regresiones lineales entre cada índice calculado en cada uno de los vuelos realizados y la cantidad de tallos por parcelas, para evaluar el grado de relación lineal entre estas variables del experimento (Tablas I, II y III). Los métodos seleccionados fueron el "Coeficiente de Correlación por Rangos de Kendall", el "Coeficiente de Correlación por Rangos de Spearman", además de obtener los gráficos de dispersión para cada una de las parcelas experimentales; el software empleado para este análisis estadístico fue el SPSS.

En la figura 5 se presenta el mejor gráfico de dispersión obtenido para el índice TNDVI; constatándose la elevada relación entre el número de tallos y los índices vegetativos evaluados.

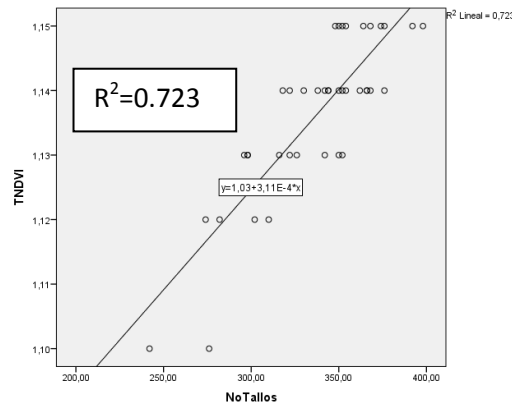


Figura 5. Gráfico de dispersión entre el número de tallos por parcela y el índice TNDVI, del lote de caña experimental VmNn-18, a los 223 días después de la siembra ($R^2=0.723$).

En las tablas I, II y III se muestran los resultados obtenidos luego de aplicar los métodos del “Coeficiente de Correlación por Rangos de Kendall” y el “Coeficiente de Correlación por Rangos de Spearman” para cada uno de los índices; con un nivel de significación de 0.05.

TABLA I
 CORRELACIÓN DE KENDALL Y SPEARMAN ENTRE CADA UNO DE LOS ÍNDICES VEGETATIVOS DERIVABLES DEL SENSOR PARROT SEQUOIA Y EL NÚMERO DE TALLOS POR PARCELAS DE CAÑA PLANTA A LOS 227 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA. EN BOLD SE RESALTAN LOS MEJORES RESULTADOS OBTENIDOS.

Índice	Tau de Kendall	Rho de Speraman
IPVI	0.723	0.859
GRNDVI	0.705	0.825
WDRVI	0.670	0.77
TNDVI	0.668	0.761
ARVI2	0.664	0.767
NDVI	0.645	0.757
GNDVI	0.615	0.729
GRVI	0.609	0.706



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

RENDVI	0.545	0.657
RRI1	0.542	0.660
CCCI	0.519	0.639
SAVI	0.444	0.546
RRI2	-0.547	-0.694
CVI	-0.398	-0.452

TABLA II
 CORRELACIÓN DE KENDALL Y SPEARMAN ENTRE CADA UNO DE LOS ÍNDICES VEGETATIVOS DERIVABLES DEL SENSOR PARROT SEQUOIA Y EL NÚMERO DE TALLOS POR PARCELAS DE CAÑA PLANTA A LOS 270 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA. EN BOLD SE RESALTAN LOS MEJORES RESULTADOS OBTENIDOS.

Índice	Tau de Kendall	Rho de Speraman
IPVI	0.733	0.84
GRNDVI	0.719	0.820
WDRVI	0.685	0.783
TNDVI	0.679	0.78
ARVI2	0.677	0.774
NDVI	0.656	0.761
GNDVI	0.633	0.738
GRVI	0.629	0.731
RENDVI	0.573	0.682
RRI1	0.570	0.675
CCCI	0.541	0.655



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

SAVI	0.5	0.62
RRI2	-0.560	-0.674
CVI	-0.498	-0.592

Se puede constatar mediante la información brindada en las tablas I, II y III, que aunque la mayoría de los IV derivables de la cámara Sequoia permitieron discriminar la variación de vegetación, el índice que posibilitó detectar mejor las parcelas con un elevado número de tallos de caña fue el IPVI; con una correlación mayor que la obtenida mediante el índice NDVI.

TABLA III
 CORRELACIÓN DE KENDALL Y SPEARMAN ENTRE CADA UNO DE LOS ÍNDICES VEGETATIVOS DERIVABLES DEL SENSOR PARROT SEQUOIA Y EL NÚMERO DE TALLOS POR PARCELAS DE CAÑA PLANTA A LOS 330 DÍAS DESPUÉS DE LA SIEMBRA. EN BOLD SE RESALTAN LOS MEJORES RESULTADOS OBTENIDOS.

Índice	Tau de Kendall	Rho de Speraman
IPVI	0.704	0.812
GRNDVI	0.701	0.803
WDRVI	0.69	0.775
TNDVI	0.68	0.777
ARVI2	0.711	0.815
NDVI	0.701	0.81
GNDVI	0.679	0.781
GRVI	0.658	0.768
RENDVI	0.573	0.673
RRI1	0.569	0.668
CCCI	0.547	0.614



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

SAVI	0.507	0.657
RRI2	-0.589	-0.652
CVI	-0.469	-0.608

Además, el índice IPVI presentó una elevada consistencia temporal, con un coeficiente de correlación de Spearman superior a 0.80 en todas las evaluaciones. Para validar estos resultados, se sobrevolaron 80 parcelas de caña cada dos meses desde enero a julio. Se trató de predecir mediante los índices obtenidos cuáles eran las parcelas con mayor y menor número de tallos respectivamente. Los índices IPVI y GRNDVI permitieron realizar esta predicción correctamente en el 92% y 89% de los casos respectivamente.

4. Conclusiones

Los UAV constituyen una herramienta eficiente para estimar los niveles de densidad vegetal en los sembrados de caña de azúcar. Empleando el análisis multiespectral se comprueba que el índice IPVI puede correlacionarse directamente con la cantidad de tallos de la variedad C86-12 e indirectamente a la producción agrícola. El sistema de fotogrametría propuesto tiene el potencial de optimizar el monitoreo del crecimiento de la caña de azúcar en términos de tiempo y costo e identificar las parcelas que necesiten ser resembradas; ayudando a las agencias gubernamentales y tomadores de decisiones en la industria azucarera.

5. Referencias bibliográficas

- 1- AHMED, O. S., SHEMROCK, A., CHABOT, D., DILLON, C., WILLIAMS, G., WASSON, R. & FRANKLIN, S. E. 2017. Hierarchical land cover and vegetation classification using multispectral data acquired from an unmanned aerial vehicle. *International journal of remote sensing*, 38, 2037-2052.
- 2- BÉGUÉ, A., LEBOURGEOIS, V., BAPPEL, E., TODOROFF, P., PELLEGRINO, A., BAILLARIN, F. & SIEGMUND, B. 2010. Spatio-temporal variability of sugarcane fields and recommendations for yield forecast using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 5391-5407.
- 3- BENDIG, J. V. 2015. *Unmanned aerial vehicles (UAVs) for multi-temporal crop surface modelling. A new method for plant height and biomass estimation based on RGB-imaging*. PhD, Universität zu Köln.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

- 4- BORGES, B. M., SILVEIRA, M. L., CARDOSO, S. S., MOLINE, E. F., COUTINHO NETO, A. M., LUCAS, F. T., MURAOKA, T. & COUTINHO, E. L. 2017. Growth, Herbage Accumulation, and Nutritive Value of 'Tifton 85' Bermudagrass as Affected by Nitrogen Fertilization Strategies. *Crop Science*, 57, 3333-3342.
- 5- CÓRCOLES, J., ORTEGA, J., HERNANDEZ, D. & MORENO, M. 2013. RETRACTED: Use of digital photography from unmanned aerial vehicles for estimation of leaf area index in onion (*Allium cepa* L.). *European Journal of Agronomy*, 45.
- 6- ETXEANDIA UNAMUNO, A. 2015. *Creación de una nube de puntos y una malla 3D utilizando datos capturados mediante UAV*. Máster, Universidad de Oviedo.
- 7- GEIPEL, J., LINK, J. & CLAUPEIN, W. 2014. Combined spectral and spatial modeling of corn yield based on aerial images and crop surface models acquired with an unmanned aircraft system. *Remote Sensing*, 6, 10335-10355.
- 8- GOEL, N. S. 1988. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews*, 4, 1-212.
- 9- GUTIERREZ-RODRIGUEZ, M., ESCALANTE-ESTRADA, J. & RODRIGUEZ-GONZALEZ, M. 2005. Canopy reflectance, stomatal conductance, and yield of *Phaseolus vulgaris* L. and *Phaseolus coccineus* L. under saline field conditions. *Int. J. Agric. Biol*, 7, 491-494.
- 10- GUTIERREZ, S. K., MORALES, R. O., DÍAZ, O. D. L. C. A. & RUIZ, E. P. 2018a. Multispectral aerial image processing system for precision agriculture. *Sistemas & Telemática*, 16, 45-58.
- 11- GUTIERREZ, S. K., SANTANA, L. H., MORALES, R. O., DÍAZ, O. A. & MORA, I. D. 2018b. Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados en agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones ISSN: 1815-5928*, 39, 79-91.
- 12- KHARUF GUTIERREZ, S. 2018. *Análisis de imágenes multiespectrales de sembrados de caña de azúcar adquiridas con vehículos aéreos no tripulados*. Master Master, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería
- 13- LAGUARDIA, A. S. M. & GUTIÉRREZ, S. K. SOFTWARE DE SEGMENTACIÓN CON IMPLEMENTACIÓN DISTRIBUIDA PARA EL PROCESAMIENTO PRIMARIO DE IMÁGENES AÉREAS SEGMENTATION SOFTWARE WITH DISTRIBUTED IMPLEMENTATION FOR THE PRIMARY PROCESSING OF AERIAL IMAGES. *Informática 2018*, 2018 La Habana.
- 14- LEE, K.-S., COHEN, W. B., KENNEDY, R. E., MAIERSPERGER, T. K. & GOWER, S. T. 2004. Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes. *Remote Sensing of Environment*, 91, 508-520.
- 15- LOFTON, J., TUBANA, B. S., KANKE, Y., TEBOH, J., VIATOR, H. & DALEN, M. 2012. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. *Sensors*, 12, 7529-7547.
- 16- MIURA, T., HUETE, A. R. & YOSHIOKA, H. 2000. Evaluation of sensor calibration uncertainties on vegetation indices for MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 38, 1399-1409.
- 17- MULIANGA, B., BÉGUÉ, A., SIMOES, M. & TODOROFF, P. 2013. Forecasting regional sugarcane yield based on time integral and spatial aggregation of MODIS NDVI. *Remote Sensing*, 5, 2184-2199.
- 18- MULLA, D. J. 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems engineering*, 114, 358-371.
- 19- OSBORNE, S., SCHEPERS, J. S., FRANCIS, D. & SCHLEMMER, M. R. 2002. Detection of phosphorus and nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements. *Agronomy journal*, 94, 1215-1221.
- 20- RAHMAN, M. R., ISLAM, A. & RAHMAN, M. A. 2004. NDVI derived sugarcane area identification and crop condition assessment. *Plan Plus*, 1, 1-12.



II Convención Científica Internacional 2019
Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
CIENCIA, TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD. PERSPECTIVAS Y RETOS

- 21- SANTANA, L. H., KHARUF, S., MACHADO, E. R., ÁLVAREZ, H. D. & MORALES, L. E. H. Sistema de fotogrametría de bajo costo para el Mapeado de agro-ecosistemas, basadas en Vehículos Aéreos No Tripulado (UAV). VII Convención "AGRIMENSURA CUBA 2015", 2015 La Habana. 12.
- 22- STROPPIANA, D., VILLA, P., SONA, G., RONCHETTI, G., CANDIANI, G., PEPE, M., Busetto, L., MIGLIAZZI, M. & BOSCHETTI, M. 2018. Early season weed mapping in rice crops using multi-spectral UAV data. *International Journal of Remote Sensing*, 39, 5432-5452.
- 23- ZHAO, D., REDDY, K. R., KAKANI, V. G. & REDDY, V. 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European journal of agronomy*, 22, 391-403.
- 24- ZHAO, Y., DELLA JUSTINA, D., KAZAMA, Y., ROCHA, J. V., GRAZIANO, P. S. & LAMPARELLI, R. A. C. Dynamics modeling for sugar cane sucrose estimation using time series satellite imagery. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII*, 2016. International Society for Optics and Photonics, 99980J.