

Caracterización Nutricional de un Cultivo Controlado de Jitomate Silvestre Mediante Imágenes Multiespectrales

SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi†*, LORETO-GOMEZ, Gerardo, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, GARCÍA-SAUCEDO, Pedro Antonio

Recibido Julio 5, 2017; Aceptado Noviembre 8, 2017

Resumen

Caracterización nutricional de un cultivo controlado de jitomate silvestre mediante imágenes multiespectrales con la continua demanda de alimentos, la reducción de las tierras cultivables y el cambio climático, los agricultores buscan nuevas formas de mejorar la productividad y la sostenibilidad. Esto ha llevado a buscar diferentes formas de incorporar las nuevas tecnologías en los sistemas agronómicos. La agricultura de precisión aplica una optimización del uso de los insumos, además de que permite estimar en el suelo la cantidad de semilla que cada punto soporta, la cantidad de nutrientes y agua requerida, y además el control de malezas, plagas y enfermedades esto se hace solamente en los puntos que demanden tal control. Objetivos, metodología 1. Obtener imágenes multiespectrales con la cámara ADC-Lite con el software Pixel Wrench 2 para tratamiento de imágenes multiespectrales. 2. Calcular los distintos índices vegetativos y las características que resaltan. 3. Obtener una evaluación multiespectral del estado nutricional de una planta de jitomate silvestre. Contribución: El análisis de las imágenes espectrales capturadas del cultivo mostraron el estado nutricional de la planta y una aproximación de sus respectivos tratamientos nutricionales, sin realizar los estudios físico químicos estándar.

Caracterización nutricional, jitomate silvestre, imágenes multiespectrales

Abstract

Nutritional characterization of a controlled farming wild tomato using multispectral images with continued demand for food, reduced arable land and climate change, farmers are looking for new ways to improve productivity and sustainability. This has led to different ways of incorporating new technologies into agronomic systems. Precision agriculture applies an optimization of the use of inputs, besides it allows to estimate in the soil the amount of seed that each point supports, the amount of nutrients and water required, and also the control of weeds, pests and diseases Only at points that require such control. Objectives, methodology 1. Obtain multispectral images with the ADC-Lite camera with Pixel Wrench 2 software for multispectral image processing. 2. Calculate the different vegetative indexes and the characteristics that stand out. 3. Obtain a multispectral evaluation of the nutritional status of a wild tomato plant. Contribution The analysis of the spectral images captured from the crop will show the nutritional state of the plant and an approximation of their respective nutritional treatments, without performing the standard physical chemical studies.

Nutritional characterization, wild tomato, multispectral image

Citación: SÁNCHEZ-SUÁREZ, Isahi, LORETO-GOMEZ, Gerardo, PADILLA-MAGAÑA, Jesús Fernando, GARCÍA-SAUCEDO, Pedro Antonio. Caracterización Nutricional de un Cultivo Controlado de Jitomate Silvestre Mediante Imágenes Multiespectrales. Revista de Investigación y Desarrollo 2017, 3-10:31-38.

* Correspondencia al autor (Correo electrónico: isanchez198@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La gran mayoría de especies de plantas requieren una nutrición y un clima específico para su desarrollo. Para ello se requiere un estudio previo de esas características considerando estudios de laboratorio.

Esto limita el estudio a una sola especie de planta a la vez, ya que, al abordar cuestiones técnicas como el color, tamaño, floración y follaje actual, se puede definir de manera amplia y correcta la situación general de un cultivo.

Actualmente la tecnología multispectral aplicada al estudio de cultivos es muy básica, por lo que es difícil encontrarlos con estudios ya realizados al cultivo agrícola específico, por lo que debemos entender las características vegetativas del cultivo, para obtener la firma espectral, con la posibilidad de generar una base de datos para extender su aplicación en diferentes regiones y cultivos.

Marco Teorico

Agricultura de Precisión

La agricultura de precisión es un concepto agronómico de gestión de campos de cultivo, basado en el análisis de la variabilidad del cultivo. Para esto se requiere del uso de tecnologías tales como: Sistema de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con un Sistema de Información Geográfica para estimar, evaluar y entender dichas variaciones (Marote, 2010).

Los agentes involucrados en el desarrollo y adopción de las prácticas de agricultura de precisión suelen dividir este conjunto de tecnologías en tres etapas diferentes: Recolección de datos, Procesamiento e interpretación de la información y aplicación de insumos.

Siendo los objetivos fundamentales de la agricultura de precisión: Mejorar la producción de la agricultura tanto en calidad como en cantidad, reducir el uso de insumos, el impacto ambiental y aumentar la rentabilidad de la agricultura (Stanley Best, 2008).

La agricultura de precisión es relativamente nueva y las tecnologías en desarrollo hacen posible reducir sus errores y costos para lograr una agricultura ecológica y económicamente sostenible.

Características de la imagen spectral

La captura de la imagen real se transmite hacia un sistema electrónico, para obtener la imagen digital que vemos a través de los dispositivos de medios. Una vez obtenida la imagen digital, se puede trabajar en ella para los fines que se requieran.

En la figura 1 se pueden identificar los elementos que componen una imagen digital. Primero se tiene una fuente de radiación de tipo ondulatoria (electromagnética o acústica) o de tipo corpuscular (neutrones, electrones o positrones).

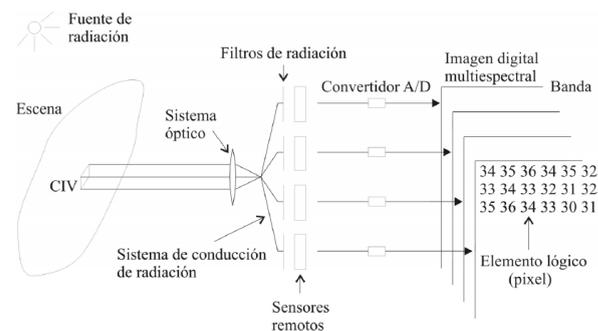


Figura 1 Generación de una imagen digital multispectral a partir de una escena

Fuente: *Diseño propio*

La radiación emitida por la fuente se hace interaccionar con un elemento físico de la escena llamado Campo Instantáneo de Vista (CIV). (Armstrong, 2014).

Y mediante un sistema óptico y un sistema de conducción de radiación, se lleva a los filtros donde unos detectores calibrados de tal manera que se generen un valor de 255 para el CIV más brillante de la escena y un 0 para el más oscuro, para formar la imagen digital. La respuesta de un detector, en la mayoría de los casos, es lineal. Nótese que debido a la naturaleza de los detectores empleados (Salamí, 2014), siempre hay una respuesta, aun para una radiación incidente nula, a esto se le conoce como polarización del detector.

Patrón y clase de patrones

Para identificar otros aspectos de la imagen se define lo siguiente:

Patrón: Arreglo de entes de la misma naturaleza.

Clase de patrones: Conjunto de patrones con características similares.

Esta definición se aplica tanto a patrones espaciales como espectrales; objetos con una cierta forma o tamaño, o píxeles con un mismo valor, son ejemplo de una clase de patrones, en donde por características similares se entienden aquellas propiedades morfológicas o espectrales que son comunes y de interés en un problema (Mapper, 2014).

Calculo de índices vegetativos

Los índices de vegetación (IV) son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales, que tienden a medir la biomasa o vigor vegetal. Usualmente el índice de vegetación es una combinación de las bandas espectrales, siendo el producto de varios valores espectrales que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un simple valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel.

Permitiéndonos estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación, en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan. (Armstrong, 2014).

Altos valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable. Existe una variedad de índices de vegetación que han sido desarrollados para ayudar en el monitoreo de la vegetación. La mayoría de estos índices están basados en las interacciones diferentes entre la vegetación y la energía electromagnética de las bandas del espectro rojo e infrarrojo (Malacara, 2002).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Es un concepto que integra el contraste de la alta absorbancia (baja reflectancia) de la banda Roja (R) del espectro visible con la alta reflectancia del Infrarrojo Cercano (NIR) mediante la ecuación:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

Este índice se basa en el peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permitiendo determinar el vigor de la planta.

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI)

Es uno de los índices de vegetación más comúnmente utilizados para determinar la absorción de agua y nitrógeno en el follaje del cultivo. El mismo se define por la ecuación:

$$GNDVI = (NIR - verde) / (NIR + verde)$$

GNDVI básicamente sustituye a la banda de color rojo de la recolección de datos para NDVI con una banda muy específica de la luz en el rango verde para obtener información útil diferente.

Mientras que índices como el NDVI no se pueden determinar sin una banda roja, índices de vegetación alternativos tales como GNDVI tienen un contenido de información y valor similar y no necesitan de la misma. (Gitelson, 1996).

Camara Multiespectral

La cámara que se usó para tomar las imágenes de las plantas para realizar los distintos IV, fue la ADC Lite de la compañía TetraCam Inc. Que se muestra en la fig. 2, La cual es una de muchos dispositivos que ofrece la compañía y todos son enfocados a la agricultura de precisión.



Figura 2 Ejemplo de cámara ADC Lite
Fuente: Tetracam Corp

Las características de la cámara ADC Lite son las siguientes: Resoluciones y precisión espectral alta, controles y operación sencilla. Bandas Red, Green y NIR que proveen la información necesaria para la extracción de índices NDVI, GNDVI, segmentación de copias, etc. Ultraligera, 198.5 gr. Ideal para equipar con dispositivos aéreos no tripulados u operaciones donde el peso sea una cuestión crítica. Salida de video en formato PAL o NTSC. Lentes intercambiables. Soporte para memoria flash compacta de 2GB hasta 250 GB. Diferentes modos de accionar la cámara: botón, timer automático, accionador remoto, accionador computarizado.

El fabricante provee el Software Pixel Wrench 2 en un solo paquete la posibilidad de administrar las cámaras de Tetracam, editar las fotos DCM10, RAW 8 y RAW 10 y acceder a sus metadatos, manejar grandes cantidades de datos y calcular índices vegetativos e imágenes de cubierta de la canopia. (Tetracam Inc, 2016).

Metodología

Muestras para la aplicación del experimento

Las muestras de las cuales nos servimos para dar validez a nuestro experimento fueron plántulas de tinguaraque, una variedad de jitomate silvestre en ramificación, las cuales se plantaron y ubicaron en un sitio específico de manera equitativa, pero fueron sometidas a distintos tratamientos los cuales sirvieron para demostrar cual era el idóneo para el desarrollo de la planta y a la vez dar una demostración visual de como los tratamientos influirían en el estado nutricional de la planta.

El experimento fue realizado dentro de un invernadero ubicado en la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez ubicada en Uruapan, Michoacán. Mex. (19°25'16"N - 102°03'47"W). A una densidad de siembra de 20,000 plantas por ha (0.5x1m).

Al azar, se tomaron 20 plantas y se trasplantaron en bolsas de uso forestal (40x60cm) empleando “tierra de encino” tratada con sulfato de cobre penta-hidratado como sustrato para tratar de emular las condiciones donde se desarrollarían de manera natural, además se colocó malla-sombra para evitar el contacto con la radiación solar directamente. Se aplicaron riegos diarios y fertilizaciones semanales con diferentes fuentes para satisfacer las necesidades de N, P, K, Ca, B, S y Zn. La fórmula general de fertilización fue: 268N-1047P205-170K2O-270CaO-23S-8B-2Zn (Tjalling-Holwerda, 2006), la cual se muestra en la fig. 3.

Parámetro	*Tratamiento 1 [Invernadero]#	Tratamiento 2 [Invernadero]#	Tratamiento 3 [Invernadero]#	*Tratamiento 4 [Intemperie]#	Tratamiento 5 [Intemperie]#	Tratamiento 6 [Intemperie]#	Testigo 1-7#
Riego por planta [litro/día] Aplicado mediante goteo#	Trasplante:1# Floración:1.5# Producción:1.9#	Trasplante:1.25# Floración:1.875# Producción:2.375#	Trasplante:0.75# Floración:1.125# Producción:1.425#	Trasplante:1.5# Floración:1.5# Producción:1.9#	Trasplante:1.25# Floración:1.875# Producción:2.375#	Trasplante:1.125# Floración:1.425# Producción:1.9#	Todo el ciclo: 3# 1#
Fertilización [kg/ha] [N-P-K-CaO-MgO-S]#	275-100-500-150-100-75-#	344-125-625-188-125-94#	206-75-375-112-75-58#	275-100-500-150-100-75-#	344-125-625-188-125-94#	206-75-375-112-75-58#	0-0-0-0-0-0#
M.O. añadida [kg de sustrato de origen vegetal por planta al momento del trasplante]#	0.5-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0.63-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0.37-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0.5-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0.63-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0.37-distribuidos en la zona de goteo-estimada	0# *La M.O. Permanecerá ligeramente superior al 5%

Figura 3 Tratamientos Aplicados a las Plantas
Fuente: Diseño propio

La distribución de las plantas fue rectangular a 50 cm entre plantas por 1m entre hileras/camas en la fig. 4 se muestra de manera gráfica el acomodo.

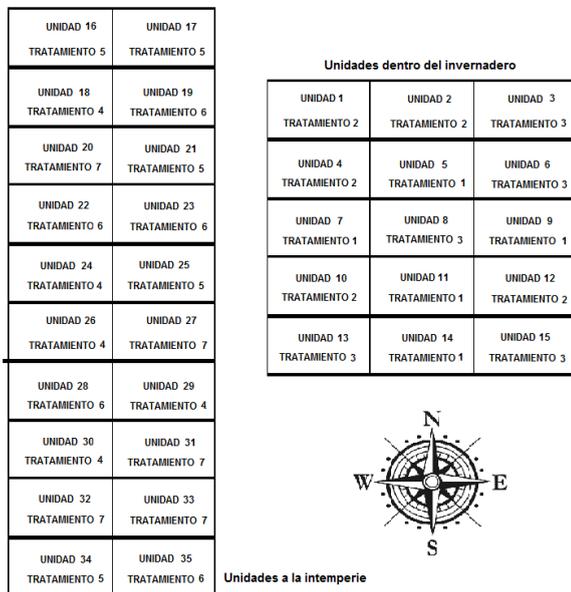


Figura 4 Distribución aleatoria de las plantas

Fuente: Diseño propio

Proceso de Captura de Imágenes

La captura de imágenes se realizó a las 10:00 hrs., suspendiéndose en días lluviosos o nublados para obtener una uniformidad respecto a la cantidad de luz ambiente y todo esto con el objetivo de mantener las variables más importantes controladas.

El procedimiento para la toma de imágenes que se determinó en el experimento fue el siguiente:

Verificar la funcionalidad del equipo, pruebas de energía en las baterías, pruebas de captura de imagen. Realizar el ajuste ergonómico para evitar el ruido y distorsión en las imágenes.

Con el chip de teflón calibrador de luz se realizó la primera captura, como se muestra en la fig. 5, ya que esta nos sirve para que el área a fotografiar cuente con una referencia que posteriormente nos servirá para el procesamiento de la imagen.

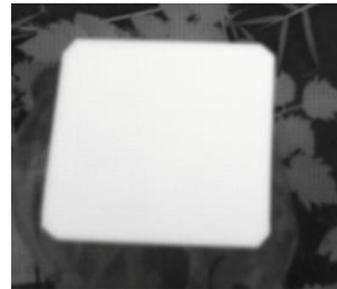


Figura 5 Chip de Teflón calibrador capturado por la cámara ADC Lite

Fuente: Diseño propio

Se realizó la toma de imágenes, ubicando una posición similar en todas las tomas para que el contenido capturado siempre sea el mismo. Para el pre procesamiento de las imágenes multiespectrales, se realizó una selección de muestras definida por la calidad y similitud en la imagen. Las muestras que se tomaron en los laterales de la fig. 6, son las que mejor se distinguen.

Carga de Imágenes en el software Pixel Wrench 2

El primer paso a realizar antes de calcular algún índice vegetativo a las imágenes, es calibrar la imagen para evitar la variación entre las bandas del infrarrojo cercano, el rojo y el verde, para esto se debe cargar la imagen del chip de teflón, que se tomó en primera instancia del área, después guardar la configuración para abrir las imágenes con el procesamiento "ADC_default", como se muestra en la fig. 7.

UNIDAD 16 TRATAMIENTO 5	UNIDAD 17 TRATAMIENTO 5
UNIDAD 18 TRATAMIENTO 4	UNIDAD 19 TRATAMIENTO 6
UNIDAD 20 TRATAMIENTO 7	UNIDAD 21 TRATAMIENTO 5
UNIDAD 22 TRATAMIENTO 6	UNIDAD 23 TRATAMIENTO 6
UNIDAD 24 TRATAMIENTO 4	UNIDAD 25 TRATAMIENTO 5
UNIDAD 26 TRATAMIENTO 4	UNIDAD 27 TRATAMIENTO 7
UNIDAD 28 TRATAMIENTO 6	UNIDAD 29 TRATAMIENTO 4
UNIDAD 30 TRATAMIENTO 4	UNIDAD 31 TRATAMIENTO 7
UNIDAD 32 TRATAMIENTO 7	UNIDAD 33 TRATAMIENTO 7
UNIDAD 34 TRATAMIENTO 5	UNIDAD 35 TRATAMIENTO 6

UNIDAD 1 TRATAMIENTO 2	UNIDAD 2 TRATAMIENTO 2	UNIDAD 3 TRATAMIENTO 3
UNIDAD 4 TRATAMIENTO 2	UNIDAD 5 TRATAMIENTO 1	UNIDAD 6 TRATAMIENTO 3
UNIDAD 7 TRATAMIENTO 1	UNIDAD 8 TRATAMIENTO 3	UNIDAD 9 TRATAMIENTO 1
UNIDAD 10 TRATAMIENTO 2	UNIDAD 11 TRATAMIENTO 1	UNIDAD 12 TRATAMIENTO 2
UNIDAD 13 TRATAMIENTO 3	UNIDAD 14 TRATAMIENTO 1	UNIDAD 15 TRATAMIENTO 3

Figura 6 Selección de muestras a la intemperie y del invernadero

Fuente: Diseño propio

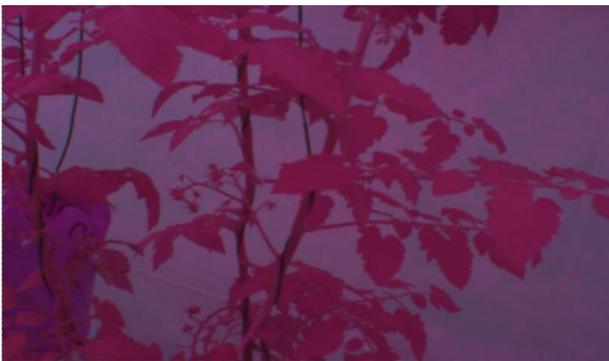


Figura 7 Carga de una imagen en el programa Pixel Wrench 2 con la opción “ADC_default” activada

Fuente: Diseño propio

Resultados

Para las plantas que se estudiaron, se buscó que se pudiera diferenciar de las demás aledañas para que el estudio fuera preciso, y de todas las muestras de plantas que se tenían se definió un grupo de 3, las cuales se encontraban en optima posición y enfoque, siempre cuidando que fueran de tratamientos distintos para diferenciar la efectividad de los tratamientos.

En la fig. 8 se muestra el resultado obtenido para el índice NDVI en una imagen preprocesada tomada en la Semana inicial. Este índice nos muestra la tasa de crecimiento, para lo cual se presentarán las muestras de la misma planta con una diferencia de tiempo para determinar cuál de ellas tiene la mejor tasa de crecimiento.

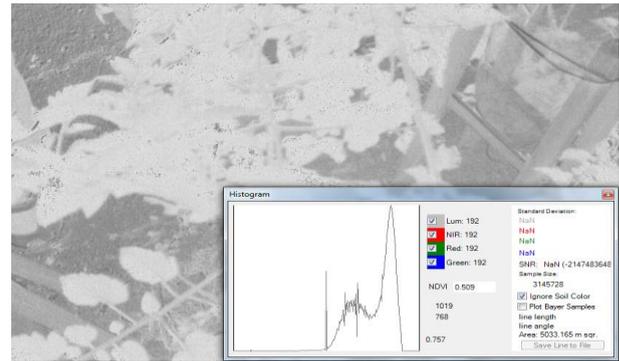


Figura 8 Unidad 24–Tratamiento 4

Fuente: Diseño propio

En las tablas 1 y 2, se muestran los resultados obtenidos para el índice NDVI en las plantas muestreadas tanto a la interperie como en invernadero.

	Unidad 24 - Tratamiento o 4	Unidad 31 - Tratamiento 7	Unidad 35 - tratamiento 6
Semana 1	0.509	0.606	0.41
Semana 2	0.515	0.607	0.508
Diferencia	0.006	0.001	0.098

Tabla 1 NDVI Intemperie

Fuente: Diseño propio

	Unidad 1 - Tratamiento 2	Unidad 2 - Tratamiento 2	Unidad 3 - Tratamiento 3
Semana 1	0.352	0.385	0.355
Semana 2	0.407	0.425	0.357
Diferencia	0.055	0.04	0.002

Tabla 2 NDVI Invernadero

Fuente: Diseño propio

Los resultados de las diferencias se muestran en la tabla 3 son positivos, los cuales indican una adecuada tasa de crecimiento. Otra cuestión muy importante que hay que resaltar es que se puede definir como un excelente tratamiento el de la unidad 24 ya que presento una buena diferenciación dado que es una planta mucho más frondosa en comparación con la unidad 35. En cuanto a los resultados de la tabla 3 que brinda el experimento en el invernadero se puede entender como si hay mucha diferencia de un tratamiento a otro ya que ambos muestran una tasa de crecimiento bastante buena a diferencia de una planta que contaba con un tratamiento distinto.

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para el índice GNDVI en las plantas muestreadas en el invernadero.

	Unidad 1 - Tratamiento 2	Unidad 2 - Tratamiento 2	Unidad 3 - Tratamiento 3
Estado nutricional	0.82	0.106	0.76

Tabla 3 GNDVI Invernadero

Fuente: *Diseño propio*

Esta parte solo se enfoca al estado nutricional, y nos permite identificar las plantas que necesitan atención.

Conclusiones

En el experimento realizado a las plantas que se encuentran en el invernadero la que resulto con mayor nutrición también tenía una buena tasa de crecimiento, y deja claro que ese tratamiento es idóneo ya que la que le seguía en nivel de nutrición es la del mismo tratamiento. La razón por la cual resulta bajo el resultado en este índice es porque requiere la luz solar para hacer resaltar la reflectancia de las plantas saludables.

Se utilizo el software Pixel Wrench 2 para el tratamiento de imágenes espectrales y para calcular los índices NDVI y GNDVI para evaluar los tratamientos aplicados al cultivo de tinguaraque, mediante imágenes espectrales. Se obtuvo una evaluación multispectral del estado nutricional de la planta de jitomate silvestre, obteniéndose la firma espectral de esa especie.

Trabajo a Futuro y contribución

El análisis de las imágenes multispectrales capturadas del cultivo permitira mostrar la firma espectral asociada al estado nutrimental de la planta, para que en un estudio futuro se pueda generar una base de datos para obtener una aproximación de los tratamientos nutricionales aplicados al cultivo sin realizar los estudios físico químicos estándar y de esta forma proporcionar al agricultor un diagnostico aproximado del estado de su huerta.

El trabajo de definir una firma espectral adecuada de una planta saludable requiere de tener las variables ambientales bien controladas, pero sin duda el tener estas herramientas y la información para desempeñar la agricultura de precisión tiene un impacto significativo en el ambiente y en el bolsillo del agricultor que se sirva de esta tecnología.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la DSA por el apoyo recibido mediante el programa PRODEP para la realización de este trabajo el cual es parte del proyecto de investigación con numero de folio UPUR-PTC-004.

Referencias

Armstrong, L. S. L. (2014). A survey of image processing techniques for agriculture. ECU Publications Post, 406.

Bachmann, F. H., R.; Gebbers, R.; Hafner, V.V. (2013). Micro UAV based georeferenced orthophoto generation in VIS+NIR for precision agriculture. In Proceedings of the UAV. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W2, 11-16.

Chuvieco, L. (2000). The use of qualitative airborne multispectral imaging for managing agricultural crops- a case study in South-Eastern Australia. Aust. J. Exp. Agric, 40, 725 – 738.

Dennis L. Wright Jr, V. P. R., Glen Ritchie, Doran J.Baker, Duane Grant, Hans Hayden, Jason Ellsworth. (2003). Managing protein in hard red spring wheat with remote sensing. The 6th Annual National Wheat Industry Research Forum, Hyatt Regency Albuquerque, New Mexico

D. Malacara (2002). Color Vision and Colorimetry, Theory and Applications, SPIE Press.

Esther Salamí, C. B. a. E. P. (2014). UAV Flight Experiments Applied to the Remote Sensing of Vegetated Areas. *Remote Sens. Environ.*, 6, 11051, 11081.

Gitelson, A. A. K., Y.J.; Merzlyak, M.N. (1996). Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sens. Environ.*, 58, 289-298.

Gutierrez-Rodriguez, M. E.-E., J.A.; Rodriguez-Gonzalez, M.T. (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.

J. Lira (2003) (3a Ed.). *La Percepción Remota: Nuestros Ojos Desde el Espacio*, Serie la Ciencia Desde México, Vol. 33, Fondo de Cultura Económica, México.

L.V. Del Priore (1988). The Biophysics of Visual Photoreception, *Physics Today*, Vol. 41, pp. 38 – 46.

Marote, M. (2010). *Agricultura de Precisión*. *Ciencia y Tecnología*, 10, 151.

Mapper, D. (2014). Precision Ag Vegetation Spectral Indices with NIR Aerial Imagery Drone Mapper Imagery Processing. Retrieved Diciembre 15, 2016, from <https://dronemapper.com/>

Pettorelli, N. V., J.O.; Mysterud, A.; Gaillard, J.M.; Tucker, C.J.; Stenseth, N.C. (2005). Using the satellite-derived to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecol. Evol.*, 20, 503–510.

R.E. Crippen (1989). A Simple Spatial Filtering Routine for the Cosmetic Removal of Scan-Line Noise From Landsat TM P-Tape Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 55, pp. 327 – 331.

Stanley Best, I. Z. (2008). *Tecnologías Aplicables en Agricultura de Precisión*. Fundación para la Innovación Agraria, Santiago, Chile, 3, 35.