

Determinación de la colorimetría de agroquímicos aplicados al cultivo de frijol, para el control fitosanitario a través de agricultura de precisión, en la finca Buena Vista del municipio de Cabrera, Cundinamarca

Determination of the Colorimetry of Agrochemicals Applied to the Bean Crop, for the Phytosanitary Control Through Precision Agriculture, in the Buena Vista Farm in the Municipality of Cabrera, Cundinamarca

JENNIFER ANDREA NIÑO G.

**Ingeniera Agrónoma
Maestrante en Ciencias Ambientales
Instructora Centro Agroecológico
y Empresarial SENA
jninog@misena.edu.co**

JIMMY ALEXANDER RODRÍGUEZ A.

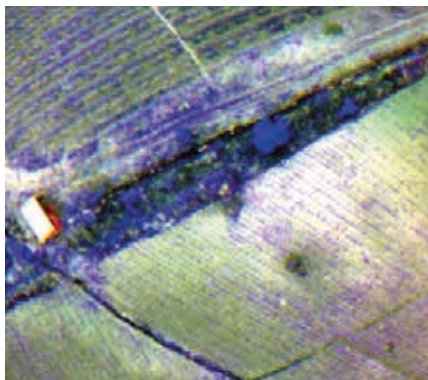
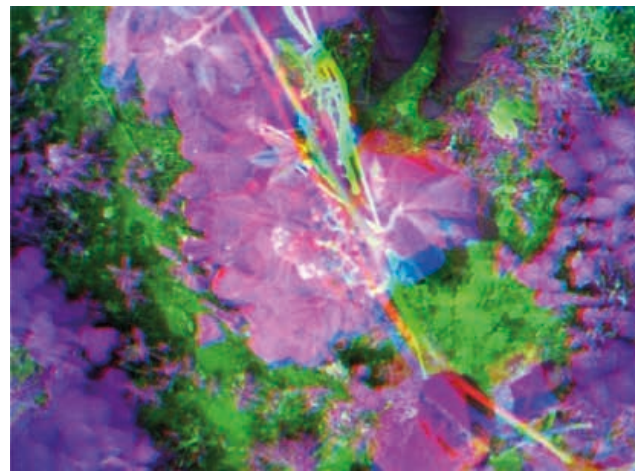
**Ingeniero Electrónico
Especialización en Medio Ambiente
y Desarrollo de la Comunidad
Instructor Centro Agroecológico
y Empresarial SENA
jarogriguez2728@misena.edu.co**

Fecha de recepción: 10 de julio de 2017

Fecha de evaluación: 5 de agosto de 2017

Fecha de aceptación: 28 de agosto de 2017





Determinación de la colorimetría de agroquímicos aplicados al cultivo de frijol, para el control fitosanitario a través de agricultura de precisión, en la finca Buena Vista del municipio de Cabrera, Cundinamarca

Resumen

El Centro Agroecológico y Empresarial cuyo grupo de investigación IDICAEF, en trabajo conjunto con su semillero de investigación ASISNOVA, ha buscado fortalecer el sector primario del área de influencia en la provincia del Sumapaz, la cual se ha convertido en el laboratorio de búsqueda de soluciones a través de procesos de innovación, investigación y desarrollo tecnológico articulados con el ejercicio adecuado de la formación profesional integral. Estas condiciones han permitido la incursión en temas especializados como la agricultura de precisión, que es el pilar del proyecto denominado Optimización del MIPE (Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades) en los ciclos fenológicos del cultivo del frijol, variedad bola roja, a través de un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales capturadas con drones en la vereda Alto Ariari del municipio de Cabrera, Cundinamarca.

La investigación se desarrolló en la vereda Alto Ariari, la cual posee el 50% de la siembra del frijol en el municipio (Corporación Colombia Internacional,

2010). Se tomó como piloto la finca Buena Vista, que cuenta con 24 hectáreas sembradas en frijol, variedad bola roja (*Phaseolus vulgaris*), en la cual se realizó la captura de las imágenes multiespectrales tomadas con un drone, permitiendo identificar la colorimetría referente a la fijación de agroquímicos y la identificación de plagas para un eficaz control fitosanitario del cultivo de frijol, mejorando las condiciones para su desarrollo económico.

Palabras clave: control de insectos, sistema de explotación agrícola, legumbres, insecticida.

Abstract

The Agroecological and Business Center, whose IDICAEF research group, working together with its research center ASISNOVA, has sought to strengthen the primary sector of the area of influence in the province of Sumapaz, which has become the laboratory for finding solutions to through processes of innovation, research

and technological development articulated with the proper exercise of integral professional training. These conditions have allowed the incursion in specialized topics such as precision agriculture, which is the pillar of the project called Optimization of the MIPE (Integrated Pest and Disease Management) in the phenological cycles of the bean crop, red ball variety, through a acquisition system and processing of multispectral images captured with drones in the Alto Ariari village of the Municipality of Cabrera, Cundinamarca.

This research was carried out in the Alto Ariari district of the zone, which owns 50% of the bean planting in the municipality (Corporación Colombia Internacional, 2010). The farm Buena Vista finca Parcela 1 was taken as pilot, which has 242 hectares planted in beans, red ball variety (*Phaseolus vulgaris*). In which the capture was made of Currently, the capture of multispectral images taken with a drone is made, which allows comparing with samples obtained manually, which will allow the identification of the colorimetry referring to the fixation of agrochemicals and the pest identification for an effective phytosanitary control of the bean crop, improving the conditions for its economic development.

Keywords: Insect Control, Farming System, Legumes, Insecticide.

Introducción

El cultivo de frijol se desarrolla de forma adecuada en temperaturas promedio entre 15 y 27 °C, considerando que largos periodos con altas temperaturas aceleran el crecimiento de las plantas y las bajas lo retardan además de causar daños irreversibles cuando son extremas. Teniendo en cuenta que el frijol es una especie de días cortos, la siembra en épocas adecuadas permite limitar la influencia de días de más de 6 horas de luz, que podrían retardar su proceso de floración y madurez (Ríos & Quirós, 2002).

En Colombia, los cultivos de frijol se encuentran ubicados entre los 1.000 a 3.000 msnm, se desarrolla de manera adecuada en suelos franco-limosos y franco-arcillosos, bien drenados y profundos, que permiten un buen desarrollo radicular. El pH del suelo, debe estar entre 5,5 a 6,5 (Restrepo, Martínez & Carmona, 2007). Los requerimientos hídricos para el cultivo son de alrededor de 500 mm/ciclo, bien distribuidos en las diferentes etapas de desarrollo en donde el mayor consumo de agua por la planta se presenta en las etapas de floración y formación de las vainas, siendo necesario suministrar los niveles de agua adecuados ya que la planta no es tolerante a su déficit ni a su exceso (Ríos & Quirós, 2002).

En el cultivo de frijol existe un sin número de enfermedades y plagas que atacan esta producción, especies como los trips (*Palmi*) mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*); pasador (*Neoleucinodes elegantalis*), y Minador (*Liriomyza trifolii*), han sido registradas como unas de las principales plagas.

En cuanto a las enfermedades, se presentan la antracnosis (*Colletotrychum lindemuthianum*); y la mancha anillada (*Phoma exigua* var. *diversispora*), entre otras. La gravedad del ataque de estas plagas y enfermedades en los cultivos, es el desequilibrio causado en los subsistemas del cultivo (planta, flora, fauna, agua, aire), debido a la aplicación de agroquímicos para el control que termina generando un impacto ambiental negativo y afectando también la salud de los trabajadores que intervienen en el proceso productivo.

En Colombia la producción para el año 2013 fue de 100.619,1 ton de frijol, siendo el Huila el principal departamento productor con 25.588 ton, seguido por el departamento del Tolima con 22.847 ton, Cundinamarca con 14.665 ton, Norte de Santander con 10.990 ton y Santander con 7.194 ton (Ávila, 2015).

En Cundinamarca, en la provincia del Sumapaz, el municipio de Cabrera es el principal generador de ingresos del sector agrícola de la zona; este municipio

se halla en el sur de la provincia y, debido a la cercanía con el páramo del Sumapaz, cuenta con microclimas específicos, que brindan las condiciones para sembrar frutas tipo exportación como la gulupa y la granadilla (Jaller, 2011), además permite la producción de granos como el frijol bola roja, considerado el mejor de la región.

La mayor producción de frijol bola roja se localiza en Cabrera, siendo uno de sus productos más representativos. Su siembra es realizada en zonas de pendiente, con un área sembrada de 656 y 585 hectáreas, en la cual la vereda Alto Ariari, posee el 50%, de la siembra del municipio (Corporación Colombia Internacional, 2010).

Uso de agroquímicos

En Colombia, el control de plagas y enfermedades de los diferentes cultivos, especialmente los cultivos hortícolas, se basan específicamente, en la compra, uso y aplicación de productos de síntesis química. Las sustancias químicas o sus productos de degradación, siempre tienen un impacto en el medio ambiente, ya sea en menor o mayor grado de acuerdo a sus niveles toxicológicos.

El uso indiscriminado de estos productos, la aplicación de los mismos sin el uso adecuado de las normas de protección, la utilización de dosis inadecuadas (en mayores cantidades), el exceso de las frecuencias de aplicación y no cumplir con los periodos de carencia establecidos, entre otros, pone de manera permanente en riesgo, no solo al ambiente circundante a estos sistemas productivos, sino a las personas directamente involucradas en el proceso de producción y, por tanto, al consumidor final (Arias, 2014). Dentro de los problemas que puede presentar el medio ambiente a causa de las aplicaciones intensivas de agroquímicos se pueden listar los siguientes (Liess, 1999):

- **Contaminación del aire:** condiciones respiratorias en seres vivos, pérdida de biodiversidad.

- **Contaminación del suelo:** eliminación de organismos nativos de la zona que no afectan a los cultivos presentes, alimentos contaminados, efectos negativos en la fauna y flora nativa.
- **Contaminación del agua:** contaminación de fuentes hídricas superficiales y subterráneas, ecosistemas acuáticos.
- Efectos de resistencia de poblaciones de plagas.
- Riesgos para la salud humana.

La agricultura de precisión en el cultivo de frijol

Los avances tecnológicos actuales han permitido que cada proceso se mejore de forma constante, muestra de esto es la incursión de drones o Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) en el área agrícola (además de otras tecnologías), que han permitido la creación e implementación de la agricultura de precisión.

Uno de los instrumentos que acompañan a estos vehículos son las cámaras multiespectrales, que capturan imágenes del espectro de colores visibles y no visibles. La cámara multiespectral captura 4 bandas de colores:

- Verde (G): 550 nm
- Rojo (R): 660 nm
- Borde rojo: 735 nm
- Infrarrojo cercano (nIR): 790 nm

Estas bandas se pueden combinar para crear una imagen (ver Imagen 1), las cuales muestran las fotografías multiespectrales del cultivo de frijol, 4 espectros utilizados Verde (G), Rojo (R), Borde rojo, Infrarrojo cercano (nIR).

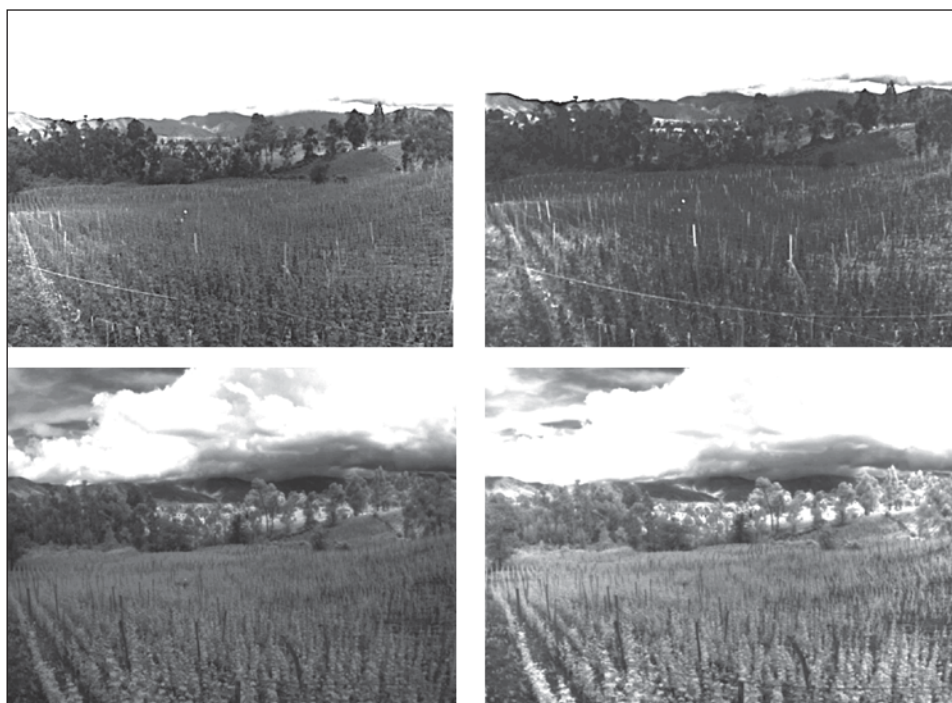


Imagen 1. Fotografías multiespectrales del cultivo de frijol. **Fuente:** los autores.

La agricultura de precisión se basa en efectuar la aplicación correcta de insumos agrícolas, en el momento adecuado, en el lugar preciso y con la dosis de óptima demandada por los cultivos, apoyada con herramientas que facilitan el monitoreo frecuente y la automatización de los procesos requeridos con precisión, siendo las variables de interés agrícola que definen la producción y desarrollo de los cultivos, de alta variabilidad espacial y temporal (Ojeda, Pérez, González & Flores, 2017).

Materiales y métodos

El presente artículo es derivado de la investigación finalizada del proyecto optimización del MIPE (Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades) en los ciclos fenológicos del cultivo de frijol variedad bola roja a través de un sistema de adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales capturadas con drone

en la vereda Alto Ariari del municipio de Cabrera, Cundinamarca. Esta investigación fue realizada con recursos de SENNOVA.

El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo, este se enmarca en dos momentos; el primero, consta de las pruebas de campo en el cultivo de frijol y la toma de imágenes multiespectrales, con el uso de drone y la cámara multiespectral (Press, 2016) para identificar la colorimetría de los agroquímicos aplicados y plagas y enfermedades del cultivo de frijol; el segundo momento, se da a partir de la recolección de datos para el procesamiento de las imágenes y el análisis de estas.

Selección del predio

Esta selección se realizó de forma aleatoria con base en un listado de cincuenta predios posibles, en donde todos tenían la misma probabilidad de ser seleccionados. El predio seleccionado corresponde a la señora Ana Céfora Jiménez, propietaria de la finca Buena Vista.

Ubicación del predio

La finca Buena Vista se encuentra ubicada en la vereda Ariari y cuenta con las siguientes características:

- Ubicada a 15 km del casco urbano.
- Longitud 3°5939;07;N 74°3039;03,3W.
- 2250 msnm.
- Temperatura promedio de 17 °C.
- Área total: 24.000 m².

Metodología

El proceso de investigación se fundamentó en la determinación de la colorimetría de agroquímicos aplicados al cultivo de frijol, para el control fitosanitario (plagas y enfermedades) a través de agricultura de precisión, mediante imágenes multiespectrales capturadas con un drone, para el proyecto de investigación se utilizó una cámara parrot sequoia (Parrot) y un drone matrice 100 (Matrice) (ver imágenes 2 y 3).

La captura de imágenes se realizó gracias a un sistema integrado de la cámara que, mediante un cálculo matemático, permitió definir los tiempos para fotografiar determinadas zonas del cultivo o todo el terreno completo.

$$\text{Time lapse} = \frac{\text{duración del evento}}{(\text{fps} * \text{resolución})}$$

Así se definió que cada 1.5 segundos se realizaría la toma de las fotografías, lo cual permitió obtener imágenes con alta calidad para realizar el análisis de las mismas.

Antes del inicio de la toma de fotografías con la cámara multiespectral parrot sequoia y utilizando como herramienta el drone matrice 100, se realizaron unas tomas fotográficas a una altura de 80 cm, con el fin de determinar los parámetros de comparación y definir la colorimetría.

Se tomaron algunas imágenes de plagas presentes en el cultivo, las cuales generaron diferentes espectros permitiendo identificarlas por el color específico que presentaban; se procedió a organizar las bandas de color de las imágenes para lo cual se utilizó el programa ArcGis 10.3, que permitió ubicar las bandas una sobre otra para generar imágenes multiespectrales y así identificar los colores generados por visualizar el espectro de colores que generaban determinando algunas características específicas de la planta, insecto y/o agroquímico, logrando determinar la colorimetría.

Las principales características del equipo de captura radican en una cámara de 4 bandas de color (infrarrojo cercano, infrarrojo lejano, verde y rojo), la cual



Imagen 2. Drone matrice 100. **Fuente:** los autores.



Imagen 3. Cámara Parrot sequoia. **Fuente:** los autores.

permite tener un amplio espectro de señales convertidas en imágenes. De las cuales se obtuvo fotografías que, por sí mismas generan información específica, especialmente si se analizan las diferentes franjas espectrales en las que puede trabajar la cámara, entre las que se encuentran:

- **Verde:** discrimina la vegetación sana, es posible determinar usos agrícolas.
- **Rojo:** discrimina especies vegetales, establece límites geológicos y de suelos, es posible determinar usos agrícolas.
- **Infrarrojo cercano:** delimitación de biomasa vegetal, identificación de cultivos, discriminación suelo-cultivo-agua.
- **Infrarrojo medio:** estimación del contenido de humedad en plantas (*stress* hídrico en cultivos) y suelos, separación entre nubes, nieve y hielo, establecer límites de geología y suelos.

Resultados

El proceso de investigación generó los siguientes resultados determinando la colorimetría de los agroquímicos y la identificación de plagas para el control fitosanitario en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*) capturados con imágenes multiespectrales a través de drone.

El procedimiento inició de la captura de imágenes del cultivo de frijol el cual se realizó en estado de crecimiento, desde donde a través de las diferentes imágenes se identificó el terreno que aparentemente se encontraba sano, sin embargo en algunos sitios del cultivo se identificaron umbrales de plagas entre las que se encontraron trips (*Palmi*); el pasador *Neoleucinodes elegantalis*, Minador *Liriomyza trifolii* (ver imágenes 4, 5 y 6).

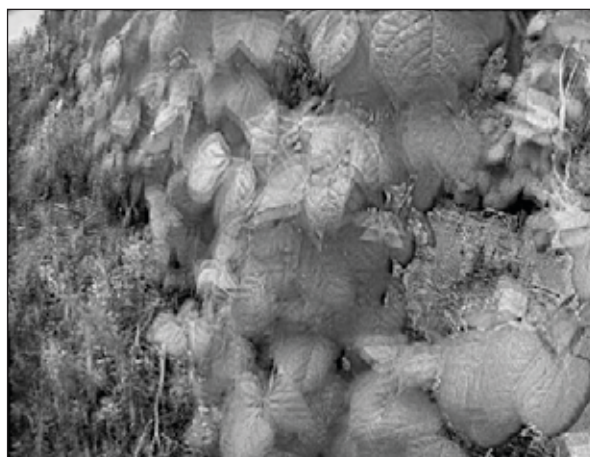


Imagen 4. Planta de frijol con incidencia trips (*Palmi*).
Fuente: los autores.

En la Imagen 4 se puede observar una planta de frijol que presenta un foco del insecto trips (*Palmi*), este es el más común en el cultivo de estudio y de muchos otros cultivos importantes en Colombia. Los potenciales daños de este insecto se incrementan durante las épocas secas.

El *Thrips palmi* en estado adulto es de color amarillo pálido, mide alrededor de un milímetro de longitud y presenta alas con bordes flecosos, en la imagen multiespectral este insecto se identifica con un color rojo, el cual se encuentra en el haz de las hojas y se pueden observar de color morado; esto permite que

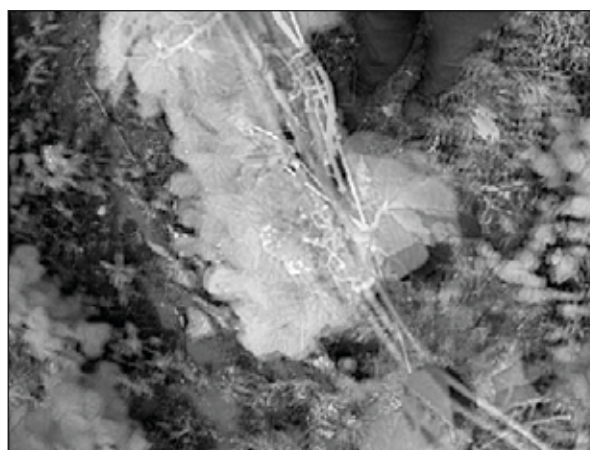


Imagen 5. Planta de frijol con incidencia de pasador (*Neoleucinodes elegantalis*). **Fuente:** los autores.

en una fotografía aérea tomada con cámara multiespectral con el uso de drone se pueda filtrar el color específico para identificar los focos de afectación dicha plaga, la cual es de fácil detección mediante este tipo de imágenes, permitiendo así al agricultor aplicar las medidas correctivas sobre el nicho específico y no sobre todo el cultivo, generando una reducción significativa en los costos de producción.

La Imagen 5 presentó ruido digital, lo que ocasionó que los espectros visibles no quedaran homogéneos, sin embargo, se pudo detectar las características del color morado de las hojas y entre ellas color blanco que genera la plaga de pasador (*Neoleucinodes elegantalis*), permitiendo el control de este insecto mediante el espectro de este color para el manejo fitosanitario en el cultivo de frijol.



Imagen 6. Planta de frijol con incidencia de minador (*Liriomyza trifolii*). **Fuente:** los autores.

En la Imagen 6 se muestra el espectro de la planta del cultivo de frijol de color morado, identificando al insecto minador (*Liriomyza trifolii*) con un espectro de color verde que tiene algunas tonalidades blancas, permitiendo así de forma eficiente su control mediante el uso de imágenes multiespectrales.

En la Imagen 7 se puede observar una fotografía aérea tomada con drone matrice 100 a 22 metros de altura sobre el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*), identificando

las plantas de color morado y los focos de incidencia de plagas en el cultivo con cada filma espectral.

En la determinación de la colorimetría para los productos agroquímicos aplicados en el cultivo, se utilizó la banda (Green, infrarrojo cercano y Red) donde se pueden observar (Imagen 8), el color verde fosforescente que toman las plantas de frijol y una aréola de color violeta en los sitios del cultivo donde se había realizado la aplicación de una mezcla de agroquímicos.



Imagen 7. Fotografía aérea de cultivo de frijol a 22 metros de altura. **Fuente:** los autores.

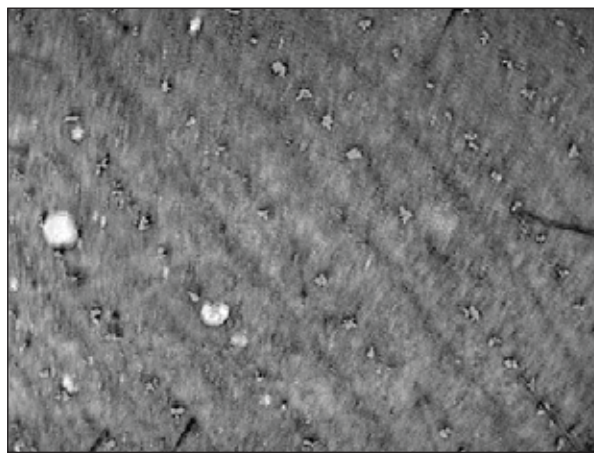


Imagen 8. Cultivo de frijol con aplicación de agroquímicos. **Fuente:** los autores.

A continuación, se ilustra la tabla colorimétrica (Imagen 9) en la que un espectro de color RGB específico

que se identificó para la detección de las plagas que afectan al cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*).

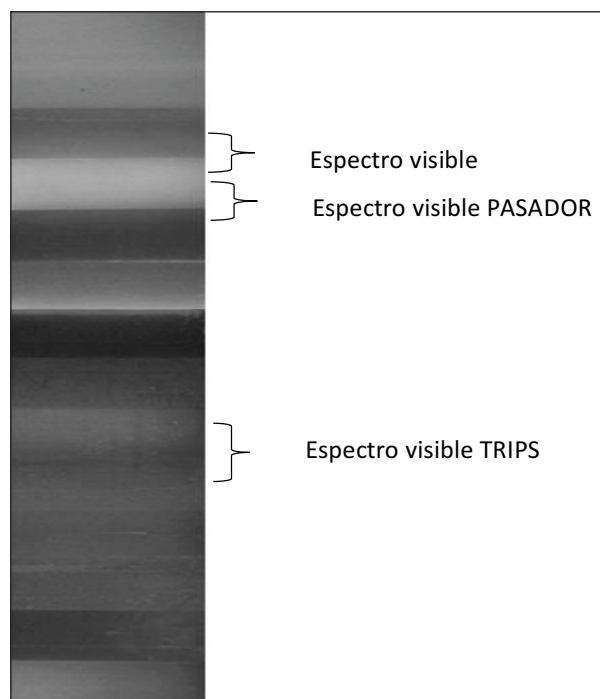


Imagen 9. Tabla de colorimetría detectada para plagas en el cultivo de frijol bola roja en la vereda de Alto Ariari, Cabrera, Cundinamarca. **Fuente:** los autores.

Recomendaciones

- Es importante dar un tiempo estático al drone mientras se capturan las imágenes, pues cabe resaltar que cada una de las bandas es una fotografía, la cámara multiespectral realiza cuatro fotografías que son las que posteriormente se solapan; si la cámara no está estática al menos en un corto periodo de tiempo estas fotografías presentarán ruido digital. Este tiempo estático se debe configurar en el vuelo del drone.
- De ser posible es más eficiente configurar el vuelo del drone mediante un *software* que permita que la acción sea delimitada a una zona específica, algunos *software* recomendados son pix4d, DJI GO, así se eliminará el posible error humano en el vuelo y en la fotografía.

- Se recomienda el uso de estas tecnologías de agricultura de precisión para reducir costos y aumentar productividad en los cultivos.

Conclusiones

- La aplicación de la tecnología como el uso de drone implica un aumento de productividad, así como la reducción drástica de tiempos y coste. Los drones junto con las cámaras multiespectrales son una herramienta de gran utilidad para la obtención de datos relacionados con la agricultura de precisión en zonas o áreas reducidas, siendo útiles para testear determinadas áreas de grandes extensiones de terreno y extrapolar esta información al resto de la superficie, esta herramienta es necesaria para estudiar las grandes explotaciones agrícolas.
- Se observa que con el uso de drones o vehículos aéreos no tripulados y las cámaras multiespectrales, podemos realizar de manera más eficiente la toma de decisiones en el cultivo, al determinar los focos de plagas y enfermedades, disminuyendo los costos en la compra de agroquímicos y ahorrando tiempo en su aplicación, ayudando así al medio ambiente por la reducción del uso de plaguicida.
- Se destaca la utilidad de los sistemas de información geográfica para tratar imágenes aéreas procedentes de drone con cámara multiespectral y su aplicación para realizar estudios y mapeos en agricultura de precisión.

Referencias

- AGRONET. (2010). Obtenido de: http://www.agronet.gov.co/www/docs_agronet/2006419142629_Agriculturadepresici%C3%B3n.pdf
- Arias, L., Bojacá, C., Ahumada, D., & Scherevens, E. (2004). *Estadísticas para el sector agrícola*. Obtenido de: <http://www.agronet.gov.co>

- Ávila, E. (2015). *Manual de frijol*. Bogotá: Cámara de Comercio de Bogotá.
- Berrío, V., Mosquera, J., & Alzate, D. (2015). *Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión*. Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Volumen 13. Universidad de Pamplona.
- Cárdenas, C. (2016). *Plan de desarrollo municipal 2016-2019, municipio de Cabrera, Cundinamarca*. "Todos unidos trabajando por Cabrera". Cabrera.
- Corporación Colombia Internacional. (2010). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Bogotá: Secretaría de Agricultura Departamental y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Cortés, S. (2011). *Seminario de Investigación I*. En: Diseño de Investigación. Bogotá.
- Díaz, C., & Cervigón J. (2015). *Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Universidad Complutense de Madrid.
- ESRI. (2009). Obtenido de: <http://www.esri.com/library/bestpractices/gis-for-fagriculture.pdf>
- Gobernación de Cundinamarca. (2010). *Estadísticas de Cundinamarca 2010*. Bogotá: Panamericana Formas e impresos.
- Guerrero, M. (2011). *Desarrollo de un módulo SIG para el manejo de imágenes multiespectrales orientado a la agricultura de precisión*. Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Jaller, S. (2011). *Análisis de los sistemas de producción agrícola de las provincias de Soacha y Sumapaz (Cundinamarca)*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.
- Liess, M. (1999). *Guía para la gestión ambiental responsable de los plaguicidas químicos de uso agrícola en Colombia*.
- Montoya, G. (2010). *El frijol*. (Tesis de pregrado). UDEC. Fusagasugá: Facultad de Ciencias Agropecuarias. Programa de Ingeniería Agronómica.
- Moreno, V., & Rodríguez, E. (1999). *Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación una sencilla práctica de introducción a la teledección*. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledección. Albacete, España, pp 429-432.
- Mosquera, J., & Gómez, E. (2012). Manizales, Universidad de Caldas, Luna Azul, N° 34, núm. 34 pp 148-169.
- Navarro, R., Hayas, A., García, A., Hernández, R., Duhalde, P., & González, L. (2005). *Caracterización de la situación pos incendio en el área afectada por el incendio de 2005 en el Parque Nacional de Torres del Paine (Chile) a partir de imágenes multiespectrales*. Chile.
- Ojeda, W., Pérez, M., González, A., & Flores, J. (Julio-Agosto de 2017). "Aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados en la ingeniería hidroagrícola". (I. M. Agua, Ed.). *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(4), pp. 157-166. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353551867010>
- Restrepo J., Martínez T., & Carmona, M. (2007). *Buenas prácticas agrícolas en la producción de frijol voluble*. Manual técnico. Corpoica, Mana, FAO.
- Ríos, B., & Quirós, D. (2002). *El frijol (phaseolus vulgaris L.). Cultivo, Beneficio y Variedades*. Medellín: Convenio Fenalce.
- Rodríguez, M. (2014). *Validación de un modelo de agua libre sobre el follaje, como herramienta para el manejo racional de plaguicidas en cultivos de tomate bajo invernadero*. Bogotá.
- Van der Werf, H. M. (1996). "Assessing the impact of pesticides on the environment". *Agriculture, Ecosystems & Environment*.