



## SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE PLANIFICACIÓN EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN POR MEDIO DE DRONES

**Recibido: Marzo 20 de 2016**

**Aprobado: Julio 13 de 2016**

Viviana Berrio Meneses, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia  
Diego Álzate Velásquez, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Colombia.

Jemay Mosquera Téllez, Universidad de Pamplona, Colombia  
Grupo de Investigación En Gestión Integral del Territorio (GIT)

### RESUMEN

El uso de nuevas tecnologías en la agricultura, va direccionada a mejorar la producción y disminuir los costos. La agricultura tradicional es altamente vulnerable a diferentes fenómenos de tipo climático (álzate- nicholls) y la ocurrencia de enfermedades y plagas que cada vez son más nocivas y resilientes a agroquímicos tradicionales.

Esta investigación busca aportar mediante el uso de una herramienta tecnológica diferente, alternativas de agricultura de precisión para el monitoreo y control del desarrollo de los cultivos agrícolas, que puede ser aplicada en diferentes etapas del desarrollo del cultivo, una de las grandes ventajas radica en que permite en cortos periodos de tiempo (comparado con otros métodos convencionales) generar diferentes tipos de análisis como por ejemplo: densidad del cultivo, áreas enfermas o estresadas, micro-relieve, entre otras.

**Palabras claves:** Precisión agricultura, drones, multispectral

### Metodo

La metodología se desarrolló en dos grandes etapas las cuales están divididas en cinco fases, la primera etapa está relacionada con la realización de los vuelos y obtención de imágenes multiespectrales brutas (que requiere considerar aspectos técnicos, de seguridad y meteorológicos), y la segunda enfocada en el post-procesamiento y verificación en campo de los hallazgos obtenidos en las imágenes multiespectrales .

Las 5 fases comprenden aspectos relacionados con la realización del vuelo, captura de fotografías de alta resolución, post-procesamiento y análisis de resultados se orienta a la captura de las imágenes multiespectrales de alta resolución y está estructurada por el análisis de diferentes experimentos con agrodrones ajustándolo a las condiciones propias de la zona de estudio, como: horas del día óptimas para realizar los sobrevuelos, identificación de obstáculos, altura del vuelo, numero de fotos por punto, delimitación del área en el software respectivo entre otros de no menor importancia , Las cámaras

utilizadas fueron del modelo Canon S100, modificadas para tomar fotografías RGB y NIR, para posteriormente aplicar el índice NDVI (solo a la imagen NIR) el cual permite identificar el nivel de estrés del cultivo y la posible presencia de enfermedades y/o problemas de desarrollo en el cultivo.

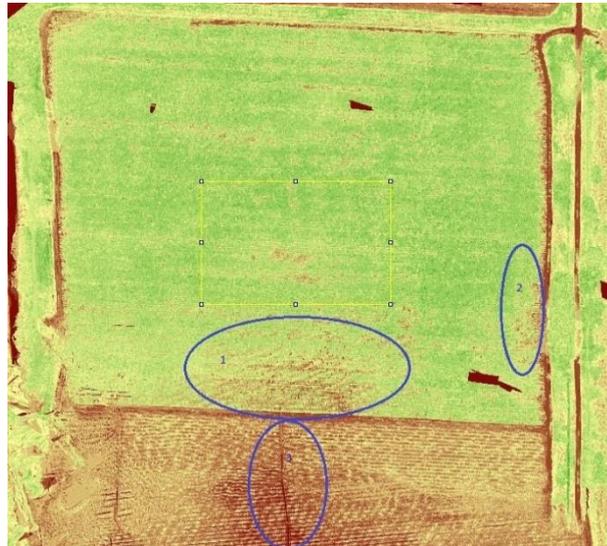
### Resultados

Como resultado se obtuvo a partir de la imagen NDVI obtenida del ortofotomosaico NIR y de la reflectancia específica encontrada (detallada en el numeral 8), se seleccionaron 3 zonas con posibles problemas para el cultivo de papa bajo estudio.

$$NDVI = \frac{(NIR - RGB)}{(NIR + RGB)}$$

**Figura 1.** Ecuación índice NDVI

**Fuente:** NOAA



**Figura 2.** Zonas de respuesta espectral seleccionadas para verificación en campo

**Fuente:** Autores, 2015

Cabe resaltar que el cultivo (en el momento de la visita) tenía un aspecto sano y uniforme, muy diferente con el índice NDVI, encontrándose áreas con tonalidades diferentes (rojas), similares a las que se visualizan en el suelo desnudo (por ejemplo las designadas como 1 y 2).

Se contó con el apoyo de un ingeniero agrónomo del CI Tibaitatá de CORPOICA, quien proporcionó un concepto sobre el estado fenológico y fisiológico del cultivo y comprobar si efectivamente estas zonas que se encontraban tonalidades marrones y rojos (1,2, y 3) presentaban algún tipo de enfermedad por plagas como hongos, o estrés por causas biofísicas.

### Zona 1

Se encontró un exceso de agua en cada uno de los surcos de esta área del cultivo y el suelo con una evidente saturación hídrica que genera un aspecto fangoso, de la misma manera la plantas presentaban un crecimiento tardío de 2 a 3 entrenudos, y mínima cobertura de follaje en comparación con las ubicadas en otras área del cultivo, dejando fragmentos de suelo desnudo.



**Figura 3.** Vista del área del cultivo reflejando problemas del cultivo de papa por estrés hídrico en la Zona 1 y vista desde el ortofotomosaico NDVI

**Fuente:** Autores, 2015.

Bajo estas condiciones en el cultivo, aumenta la susceptibilidad a enfermedades como gota por el *Phytophthora infestans*, o la rizoctaniasis (*Rhizoctonia solani*) estas enfermedades se propagan fácilmente en suelos con condiciones de humedad mayor al 90%.

De la misma manera en el área de muestreo se encontró la presencia de gramíneas como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), que puede provocar diferentes anomalías en el cultivo por competencia intraespecífica de las especies.

El pasto Kikuyo fue representado de forma, tanto con la cámara RGB, NIR y con el índice NDVI para conocer la respuesta espectral del mismo y facilitar la identificación en la ortofoto NDVI, indicando una tonalidad del kikuyo amarilla, como se muestra a continuación:

**Figura 4.** Pasto Kikuyo con cámara visible, NIR e índice NDVI

Imagen con cámara visible (Pennisetum clandestinum)	Imagen con cámara NIR ( Pennisetum clandestinum)	Imagen con índice NDVI( Pennisetum clandestinum)
		

**Fuente:** Autores, 2015.

Algunas características y/o implicaciones de la presencia de kikuyo en el cultivo se presentan a continuación:

**Daños:** Compiten por la luz, el agua y los nutrientes con el cultivo de papa y pueden actuar como hospedantes de otras plagas.

**Fase de cultivo que afecta:** desde emergencia y todo el desarrollo vegetativo.

**Infestación:** Semilla de la maleza y/o esquejes.

**Manejo:** rotación de cultivos, preparación del terreno, uso de variedades competitivas, distanciamiento adecuado de siembra, cobertura viva de cultivos, manejo de riego, deshierbo en forma manual o con herramientas, labores de cultivo oportunas, uso adecuado de herbicidas.

Como lo muestra la imagen, la reflectancia se da en una tonalidad amarilla en comparación con el área del cultivo en buen estado que presenta una reflectancia en escala de verde.

Otra especie hallada en esta zona, de comportamiento invasivo y oportunista para estas condiciones fue el Alfilerillo (*Sonchus brachylobus*), especie que genera estrés por competencia en el cultivo aumentando la posibilidad de experimentar problemas de crecimiento y la susceptibilidad a enfermedades. La reflectancia de esta especie es similar a la de las plantas del cultivo de papa, sin embargo es común hallarlas en zonas con condiciones de exceso hídrico en suelos desnudos y fangosos.

En la zona 2 se evidencio que las especies presentaban un desarrollo menor que el resto del cultivo (pero muy similar a las de la zona 1), con un crecimiento de las plantas de 3-4 entrenudos en promedio, lo que indica que hay una afectación en esta zona, que puede estar generando estrés y limitando el desarrollo del cultivo.

En esta zona, el suelo presenta una evidente escasez de humedad y excesos de sales en su capa superficial, y se identifican indicios de clorosis en las plantas. La clorosis es generada por un exceso de sales más solubles que el carbonato de calcio y yeso afectando el crecimiento de las plantas, de [9] la misma manera afecta la absorción de nutrientes y la actividad microbiana del suelo ([www.fao.org/solis-portal](http://www.fao.org/solis-portal))



**Figura 5.** Estado del suelo en la zona 2 (Evidente sequía, compactación y salinización)

**Fuente:** Autores, 2015.

Se encontraron también en esta zona especies invasivas u oportunistas como lengua de vaca (*Rumex crispus*), las cuales generan competencia por nutrientes y generan estrés en el cultivo, lo que lo vuelve vulnerable a la aparición de plagas y enfermedades.

Esta especie es altamente resiliente y crece en suelos salinos y con escasez hídrica. Esta especie coloniza áreas de importancia en los surcos con suelo desnudo por el crecimiento tardío de la planta de papa.

Presencia de Rumex crispus en el cultivo de papa	Imagen con cámara visible Rumex crispus	Imagen con cámara NIR Rumex crispus	Imagen con índice NDVI Rumex crispus
			

**Figura 6.** Presencia en el cultivo de lengua de vaca y análisis con cámara infrarroja e índice NDVI

**Fuente:** Autores, 2015.

Otro aspecto que se visualizó en esta área fue la presencia de clorosis en algunas de las plantas de papa como se muestra, enfermedad que está directamente relacionada con suelos calcáreos y reacción alcalina (pH 7.3 a 8.5) este fenómeno es provocado por la baja disponibilidad de algún microelemento que se evidencia en la calidad y estado del suelo y el estado de crecimiento de la planta visiblemente menor en comparación con las plantas ubicadas en zonas de mejor desarrollo y/o vigorosidad del cultivo y que presentan un mayor desarrollo y floración.



**Figura 6.** Presencia de clorosis en hojas enfermas

**Fuente:** Autores, 2015.

Se realizó una comparación de las especies que se encontraban en zonas de mayor vigorosidad del cultivo y las que se encontraban en la zona 2 (delimitada en la imagen con el índice NDVI),

evidenciándose una clara diferencia en la fisiología de las especies, a nivel de crecimiento, pigmentación, floración, diámetro de los tallos y presencia de floración.

Plántula sana y sin problemas de desarrollo	Plántula que se encuentra en la zona 2 según la imagen NDVI
	

**Figura 7.** Comparativo entre una planta de papa sana y una enferma o con crecimiento tardío.

**Fuente:** Autores, 2015.

Durante la inspección ocular de las zonas 1 y 2, y de algunas zonas de mayor desarrollo y vigorosidad del cultivo, se revisó si existía presencia de plagas como insectos o larvas que afectaran la salud de las hojas, tallos y tubérculos, en cada inspección se confirmó que las zonas de muestreo estaban libres de cualquier tipo insecto o larva.

Cabe resaltar que el manejo que se le dio al cultivo durante el estudio fue con una aplicación constante de agroquímicos, herbicidas e insecticidas que han mantenido al cultivo libre de la presencia de plagas y enfermedades, sin embargo se pudo visualizar que el suelo en algunos puntos se encuentra afectado por la aplicación de estos agroquímicos sin contar con la sobrecarga química del producto final (tubérculo) y los sobrecostos que conlleva la aplicación constante de estos químicos.

### Zona 3

En la zona 3 se observa un canal de desagüe del predio (que atraviesa un cultivo de lechuga), el cual desemboca la zona 1 del cultivo de papa (analizada previamente), lo cual, sumado al micro-relieve del terreno, genera una zona de exceso hídrico con encharcamiento, afectando el desarrollo y calidad del cultivo de papa.

Visualización en campo	Visualización imagen NDVI
------------------------	---------------------------



**Figura 8.** Comparativo entre el área de reflectancia negativa (vino tinto) y la imagen en campo

**Fuente:** Autores 2015

Esta área en la imagen NDVI presenta una coloración en vino tinto, que refleja zonas donde existe poca o nula actividad fotosintética, lo cual es consecuente con suelos desnudos y cuerpos de agua. Las tonalidades amarillas a verdes indican mayores valores del índice NDVI y por ende mayor actividad fotosintética (verdín).

El área resaltada en la imagen NDVI manifiesta un conducto de agua que proviene a su vez de un canal de aguas lluvia, este canal atraviesa un cultivo de lechuga Batavia colindante con el cultivo de papa con el cual se está trabajando.

Este canal puede ser un vector de propagación de enfermedades para ambos cultivos ya que por exceso hídrico o por aumento en la temperatura de estas aguas en las horas del día que más cálidas puede facilitar la propagación de microorganismos o la colonización de insectos perjudiciales para el cultivo.

## 5. Referencias Bibliográficas

Sankarasubramanian y Vogel. (2002). Climate elasticity of stream flow in the United States.

Rangel S., Joshua M., Ortiz, R. O., Villamizar, G. R. (2013). Manejo del ciclo de vida en productos agrícolas: caso cacao en Norte de Santander. Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo. ISSN 1900-9178, 4 (2). pp: 6 - 22.



Vogel, R. M. & Kroll, C.N. ((2002). Regional Geohydrologic-geomorphic relationships for estimation of low-flow statistics. *Water Resources Res.* 28(9), 1992, 2451 – 2458.

Thomas, H. A. (1982). Improved Methods for National Water Assessment. Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council, Washington D.C. USA.

Thomas, H. A., Marin, C. M., Brown, M.J. y Fiering, M. B. (1983). Methodology for Water Resources Assessment. Report NTIS 84- 124163, US Geological Survey, National. Springfield, Virginia, USA.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Atlas Climatológico Nacional – Distribución espacio – temporal de las variables del clima.