

**GEOLOCALIZACIÓN FITOSANITARIA A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS POR  
MEDIO DE ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADO (NDVI) EN BANANO**

**JHONATAN URQUIJO GUTIÉRREZ  
SERGIO SUÁREZ BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
MANIZALES  
06/08/2020**

**GEOLOCALIZACIÓN FITOSANITARIA A PARTIR DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS POR  
MEDIO DE ÍNDICE DE DIFERENCIA NORMALIZADO (NDVI) EN BANANO**

**JHONATAN URQUIJO GUTIÉRREZ  
SERGIO SUÁREZ BOHÓRQUEZ**

Trabajo de Grado presentado como opción de grado para optar al título de Ingeniero de  
Sistemas y telecomunicaciones.

Presidente / Asesor temático  
**JOHNATAN VALLEJO CARDONA**  
Ingeniero de Sistemas y Telecomunicaciones; Magíster en SIG.  
Docente, Universidad de Manizales

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
MANIZALES  
06/08/2020**

**AGRADECIMIENTOS**

Se agradece a la Universidad de Manizales facultad de Ingeniería, por permitirnos pertenecer a esta gran institución, realizar nuestros estudios de Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones y culminar esta investigación satisfactoriamente.

A los profesores que hicieron parte y contribuyeron en nuestra formación académica. A nuestro tutor Johnatan Vallejo Cardona, por su compromiso, apoyo y quien nos guio en esta investigación, a Denis León Santana Agrónomo de la Alcaldía de Chinchiná.

A nuestra familia que nos apoyó incondicionalmente en todo lo necesitado y a nuestros compañeros y amigos con quienes hemos convivido dentro y fuera de la universidad.

## CRÉDITOS

Las personas que participaron en este proyecto fueron las siguientes:

<b>NOMBRE COMPLETO</b>	<b>FUNCIÓN EN EL PROYECTO</b>	<b>DIRECCIÓN DE CONTACTO</b>	<b>CORREO ELECTRÓNICO</b>
Jhonnatan Urquijo Gutiérrez	Autor	Universidad de Manizales	tatayjhon1092@hotmail.com
Sergio Suárez Bohórquez	Autor	Universidad de Manizales	ssuarez9@gmail.com
Jonatán Vallejo Cardona	Consultor	Universidad de Manizales	jvallejoc@umanizales.edu.co
Denis León Santana	Consultor	Alcandía de Chinchiná	leondenissantana@outlook.es

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	13
1. ÁREA PROBLEMÁTICA	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GENERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. JUSTIFICACIÓN	17
4. MARCO TEÓRICO	18
4.1 MARCO CONCEPTUAL	18
4.2 MARCO LEGAL	32
4.3 MARCO REFERENCIAL	34
5. METODOLOGÍA	41
5.1 TIPO DE TRABAJO	41
5.2 PROCEDIMIENTO	41
5.2.1 Fase 1. Identificación de las manifestaciones sintomatológicas, en las hojas de banano, de las diversas etapas de la enfermedad.	41
5.2.2 Fase 2. Identificación de las condiciones de obtención de imágenes aéreas por medio de NDVI con la utilización de imágenes satelitales para los cultivos de banano en zonas de ladera.	42
5.2.3 Fase 3. Revisión, análisis y documentación de los programas informáticos para la geo localización y procesamiento de las imágenes de los focos de la enfermedad.	44
5.2.4 Fase 4. Diseño e implementación de un sistema de información geográfica para la visualización de los mapas.	52
6. RESULTADOS	54
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS	54
6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
7. CONCLUSIONES	55
8. RECOMENDACIONES	56
BIBLIOGRAFÍA	57
ANEXOS	64

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Ficha técnica de enfermedades y deficiencias nutricionales	19
Tabla 2. Perfil típico de suelos unidad de suelo Chinchiná.	43

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Modelo RGB	27
Figura 2. Modelo YUV	28
Figura 3. Modelo HSL	28
Figura 4. Ubicación de la finca	45
Figura 5. Área de la finca	46
Figura 6. Carga de datos	47
Figura 7. Raster calculator	47
Figura 8. Calculo NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado)	48
Figura 9. Ubicación de zonas afectadas	49
Figura 10. Tamaño de áreas afectadas	50
Figura 11. Crear campo Área	51
Figura 12. Calcular Área	51
Figura 13. Cantidad aproximada de plantas afectadas.	52

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Modelo SIG	<b>Pág.</b> 31
-----------------------	-------------------

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
ANEXO A. Anexo Metodología	64
ANEXO Z. Resumen Analítico	78

## GLOSARIO

**Agricultura de precisión:** La Agricultura de Precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital; consiste en obtener datos georreferenciados de los lotes para un mejor conocimiento de lo que puede suceder en un lote durante las diferentes labores a realizar en barbecho, siembra, pulverizaciones durante el ciclo del cultivo, relevamientos a campo como seguimientos del cultivo, muestreos de suelos dirigidos o en grillas, cosecha, manejo de programas GIS o SIG, aplicación de dosificación variable de insumos, etc. (INTA Manfredi, 2005)

**Cámara multiespectral:** Una cámara multiespectral, como su propio nombre indica, es una cámara que es capaz de captar varios espectros de luz (el ojo humano es incapaz de verlas). Las cámaras multiespectrales que se montan en los drones son de pequeñas dimensiones y pueden llegar a tomar valores de hasta 6 bandas espectrales. (Aerial-Insights. 2017)

**Control Fitosanitario:** El control fitosanitario se define como los métodos y técnicas para la prevención, control y eliminación o curación de las enfermedades de las plantas, procurando la estabilidad y bienestar de tu cultivo o agro ecosistema. (Trichodex, 2016)

**Drone:** Una aeronave es un vehículo que se desplaza por el aire. En el caso de los drones, su principal característica es que no son tripulados: es decir, no transportan personas. Los drones, por lo tanto, se manejan a distancia. (Julián Pérez Porto. 2017)

**Enfermedad foliar:** Síntomas asociados a infecciones por hongos o deficiencias nutricionales que se manifiestan en la superficie de las hojas.

**Musáceas:** Familia de plantas monocotiledóneas parecidas a las palmas, a la que pertenecen el plátano y el abacá. (Definiciones-de.com, 2010)

**NDVI:** El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multiespectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR). (Alexander Moreno Toro y Edison Salgado Polo, 2019).

**Procesamiento de datos:** Conjunto de operaciones que un ordenador realiza partiendo de un programa, permitiendo la acumulación y manipulación de elementos de datos para producir información significativa (Alexander Moreno Toro y Edison Salgado Polo, 2019).

**SIG:** Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la Tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar la información a la que se hace referencia espacialmente. Este trabajo se realiza fundamentalmente con los mapas. (ArcGis)

## RESUMEN

El presente proyecto pretende contribuir al mejoramiento de la calidad de los cultivos de banano, que se ha visto seriamente afectada debido a los métodos de detección de enfermedades y deficiencias nutricionales convencionales que practican los agricultores. Dicho método consiste en el recorrido y análisis visual del plantío, el cual es poco efectivo ya que la planta de banano al ser de gran altura dificulta la visualización de su parte más alta (hoja bandera), que es donde hace visible los primeros síntomas de la enfermedad o deficiencia.

El objetivo principal del proyecto es la geo localización de focos de enfermedades y deficiencias en banano, a partir de la utilización del NDVI de imágenes aéreas obtenidas de un satélite, para facilitar la toma de decisiones en cuanto al manejo agronómico y administrativo.

Con el primer sobrevuelo al cultivo se pretende ir conociendo las zonas más afectadas para geo referenciarlas en un mapa satelital, el cual permite elaborar un cronograma de acción en donde se planea la frecuencia con que se va a recorrer la parcela y que zonas van a ser prioridad. Esto ofrecerá al agricultor un claro panorama para la toma de decisiones, podrá ser más preciso al elegir el agroquímico utilizar o que control fitosanitario realizar. Cabe mencionar que gracias a que se tienen identificadas las zonas más afectadas no será necesario aplicar dichos controles a todo el cultivo por lo que se reducirán los costes de mantenimiento del mismo.

**PALABRAS CLAVES:** Agricultura de precisión, control fitosanitario, drone, enfermedad, banano, imagen satelital.

## SUMMARY

This project aims to contribute to the improvement of the quality of banana crops, which has been seriously affected due to conventional disease detection and deficiency methods practiced by farmers. This method consists of the route and visual analysis of the plantation, which is not very effective since the banana plant, being of great height, makes it difficult to visualize its highest part (flag leaf), which is where it makes visible the first symptoms of illness or deficiency. The main objective of the project is the geo-location of outbreaks of diseases and deficiencies in bananas, using the NDVI of aerial images obtained from a satellite, to facilitate decision-making regarding agronomic and administrative management. With the first overflight of the crop, the aim is to get to know the most affected areas in order to geo-reference them on a satellite map, which allows preparing an action schedule where the frequency with which the plot will be traveled is planned and which areas are going to be priority. This will offer the farmer a clear panorama for decision making, he may be more precise when choosing the agrochemical to use or what phytosanitary control to carry out. It is worth mentioning that thanks to the fact that the most affected areas have been identified, it will not be necessary to apply these controls to the entire crop, thus reducing its maintenance costs.

**KEY WORDS:** Precision agriculture, phytosanitary control, drone, disease, banana, satellite image.

## INTRODUCCIÓN

Se estima que el cultivo de banano es una de las principales actividades agrícolas del planeta, además de considerarse entre los más importantes cultivos de producción y comercio a nivel global, Es una fruta que genera cifras en la industria mundial de exportación de bananos por alrededor de 12.000 millones de dólares al año, siendo los países de la India, China y Brasil los principales productores, mientras que los principales mercados importadores son la Unión Europea, los Estados Unidos y la Federación de Rusia según lo indica la FAO<sup>1</sup>.

La industria bananera es prácticamente la base económica de dos regiones en Colombia, Urabá, en Antioquia y la Costa Caribe, ubicando a Colombia como el cuarto exportador a nivel mundial para el año 2018, con un valor de \$850 millones de dólares Según datos de la FAO<sup>2</sup>. De acuerdo a Agronegocios<sup>3</sup>, las exportaciones del sector agrario colombiano, el banano se sitúa como tercero después del café y las flores, siendo uno de los mayores generadores de empleo por encima de los 40.000 empleos directos e indirectos así lo indica el periódico el Tiempo<sup>4</sup>.

Entre los objetivos estratégicos de la industria bananera, es integrar nuevas tecnologías para el manejo agrícola, como alternativas para mejorar la gestión de costos y aumentar eficientemente la productividad del sector.

Existe una tendencia global denominada agricultura de precisión, la cual consiste en las nuevas tecnologías que brindan beneficios a la actividad agroindustrial, la cual es un segmento estratégico de administración que permite mediante uso de herramientas tecnológicas avanzadas una mejor toma de decisiones relacionadas con la producción de cultivos. La aplicación de estos elementos pretende una gestión inteligente de la producción con el fin optimizar recursos como lo es en costos operativos, tiempos de respuesta, oportunidades de mejora, rendimientos y desarrollo evolutivo, además de aumentar la detección temprana de enfermedades que se puedan presentar.

En la actualidad el uso e implementación de la agricultura de precisión se encuentra en un incremento a nivel agroindustrial, pero es limitada la información de trabajos relacionados con el sector bananero, dado a que la mayoría de datos relacionados a este uso se encuentran asociados con maíz, trigo, arroz y cereales, siendo escasos los trabajos en cultivos de banano.

---

<sup>1</sup> FAO 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Análisis del mercado del banano. Panorama general de febrero de 2020. Roma 2020. [En línea]. Disponible en: < <http://www.fao.org/3/ca9212es/ca9212es.pdf>>

<sup>2</sup> FAO 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Análisis del Mercado del Banano 2018. Roma 2020. [En línea]. Disponible en: < <http://www.fao.org/3/ca5626es/CA5626ES.pdf>>

<sup>3</sup> AGRONEGIOS. Producción local de banana. Febrero 2020. [En línea]. Disponible en: < <https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-local-banano-supero-las-100-millones-de-cajas-al-cierre-de-2018-2827238>>

<sup>4</sup> El TIEMPO. El banano sigue abriéndose a nuevas áreas comerciales. Las apuestas de los productores son conseguir diferentes mercados y más proyectos agroindustriales. Agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <<https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-banano-sigue-abriendose-a-nuevas-areas-comerciales-261202>>

Dada la importancia que implica la producción en el sector bananero, se enmarcan la identificación y tratamiento de enfermedades como una de las razones importantes e imponentes para el desarrollo evolutivo correcto de los cultivos, pero se ha detectado un mal manejo o detección de estos, considerando que el control en cuanto a enfermedades en ocasiones es insuficiente por parte de los agricultores, en donde es claro el uso de herramientas y métodos convencionales para su detección temprana.

El manejo de enfermedades en cultivos de banano requiere adopción de nuevas tecnologías, requiere cambios en el entorno para contribuir a una detección temprana, que permita manejar esta actividad de una manera adecuada, generando una transformación e innovación.

El objetivo de este trabajo es implementar un sistema de información geográfica capaz de realizar geolocalización sanitaria a partir de fotografías aéreas y por medio del cálculo de índice de diferencia normalizado (NDVI), realizar una detección temprana de posibles enfermedades en cultivos de banano, realizando un reconocimiento del terreno y apoyado con imágenes satelitales espectrales que permiten realizar un análisis y aportar datos que brinden al agricultor un panorama amplio y permita un mejor manejo y control del cultivo, además de brindarle una mejor toma de decisiones en cuanto al desarrollo productivo.

## **1. ÁREA PROBLEMÁTICA**

### **1.1 DESCRIPCIÓN**

En la mayoría de los cultivos de medianos y pequeños agricultores, incluso en algunos grandes cultivadores, es notoria la inadecuada e inoportuna detección de enfermedades y deficiencias nutricionales. Para los administradores de los cultivos en muchas ocasiones se hace difícil su detección en sus estados iniciales, especialmente porque sus manifestaciones no son demasiado notorias y generalmente localizadas, haciendo que el simple recorrido por la plantación no sea suficiente para detectarlo, hasta que su avance hace visible sus síntomas, lo que generalmente provoca que el tratamiento se realiza de manera tardía, con importantes repercusiones productivas y económicas.

### **1.2 DELIMITACIÓN**

En los cultivos de banano, la detección oportuna de las enfermedades y deficiencias de rápida expansión, se hace difícil mediante el rutinario recorrido por la plantación, especialmente por las altas densidades de siembra y el comportamiento de la enfermedad (la visualización de los síntomas sucede en la hoja bandera, ubicada en la parte alta de la planta). Así, es común que con las actividades propias del cultivo se favorezca la propagación del patógeno causal de la enfermedad, al no haberse detectado oportunamente plantas afectadas, lo que implica mayor pérdida de plantas, mermas en la producción y mayores costos en el manejo fitosanitario.

### **1.3 FORMULACIÓN**

La detección oportuna de algunas enfermedades y deficiencias en cultivos densos, como las explotaciones intensivas de banano, se ve afectada debido a la dificultad para observar la parte superior de las plantas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Geolocalizar focos de enfermedades y deficiencias en banano, a partir del cálculo del NDVI con la utilización de imágenes aéreas espectrales obtenidas por medio de satélites, para facilitar la toma de decisiones en cuanto al manejo agronómico y administrativo del cultivo de banano.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las manifestaciones sintomatológicas, en las hojas de banano, de las diversas etapas de la enfermedad y la deficiencia.
- Identificar las condiciones de obtención de imágenes aéreas por medio de NDVI con la utilización de satélites para cultivos de banano en zonas de ladera.
- Revisar, analizar y documentar los programas informáticos para la geo localización y procesamiento de imágenes de los focos de la enfermedad y la deficiencia.
- Diseñar e implementar un sistema de información geográfica para la visualización de los mapas.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

#### **3.1 NOVEDAD**

Aunque la implementación de los SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) en la agricultura es una realidad, los proyectos implementados, poco han ayudado al sector rural en cuanto a la prevención y detección temprana enfermedades y deficiencias nutricionales. Es por esto que el presente proyecto está encaminado al mejoramiento del manejo fitosanitario del cultivo de banano por medio de NDVI obtenido de imágenes espectrales satelitales, las cuales suministran imágenes que muestran a mayor profundidad el estado de la planta. Gracias a esto se podrán identificar los síntomas de la enfermedad de manera más temprana, evitado así la propagación del agente patógeno y dando luz verde a los agricultores para que realicen los manejos adecuados a tiempo, para así reducir las afectaciones al cultivo, teniendo como beneficio principal una mejor cosecha y reducción en el consumo de fungicidas.

#### **3.2 INTERÉS**

Se busca con el presente proyecto brindar a los agricultores del sector bananero de Colombia, una herramienta más eficiente que sustituya los métodos tradicionales de detección de enfermedades y deficiencias nutricionales, ya que por la altura y densidad de siembra del cultivo de banano se hace muy difícil identificar los cambios presentados en la parte más alta de la planta. Se espera que en el futuro este proyecto sea de utilidad para agricultores que cosechan diferentes productos, además de servir de apoyo a entidades de gobierno que deseen invertir y mejorar el sector rural del país.

#### **3.3 UTILIDAD**

Por medio de imágenes espectrales obtenidas de satélites, se puede percibir el cambio que tiene una planta en sus diferentes etapas de crecimiento, y las afectaciones ocurridas por una enfermedad o deficiencia nutricional, es decir se pueden evidenciar características emitidas por la planta que el ojo humano no puede notar, es por esto, que se busca monitorear el cultivo de banano desde las alturas para captar el cambio de coloración en sus hojas más elevadas, con el fin de conocer el estado del cultivo de manera rápida y precisa para poder reaccionar oportunamente ante la posible propagación del patógeno causante de las enfermedades.

Cabe mencionar que se tendrá un registro fotográfico de los síntomas que produce la enfermedad en la planta para que éste ayude a la toma de decisiones, además de tener identificadas por medio de imágenes de calor las zonas más afectadas del cultivo para así poder realizar un mejor control fitosanitario del cultivo.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 MARCO CONCEPTUAL

Las musáceas son plantas herbáceas que duran mucho tiempo (Perenne), las cuales al dar fruto la planta principal en su mismo sitio es reemplazada por su retoño o también denominado hijo y así continúa sucesivamente por un largo periodo de tiempo, se caracterizan por tener un tallo que solo se hace visible en su época de floración y sus raíces son de gran tamaño y no se profundizan sino que se esparcen hacia los lados alcanzando según Rosales<sup>5</sup>, hasta 2 o 3 metros de longitud.

La familia de las musáceas está dividida en cinco grandes secciones de las cuales *Musa acuminata* Colla y *Musa balbisiana* Colla son las que dan origen a plátano y banano, señala Rosales<sup>6</sup>.

Hoyos-Leyva et al.<sup>7</sup>, caracterizaron veinte variedades de musáceas. Entre las musáceas las dos especies más representativas y demandadas en el mundo son el banano y el plátano, ya que según Castellanos y Álvarez<sup>8</sup>, la producción está alrededor de 40 millones de toneladas y de éstos Colombia produce aproximadamente el 10% de la misma en su mayoría plátano.

La importancia de musáceas como Banano y Plátano en la canasta familiar de diferentes países del mundo es innegable, según la revista Dinero<sup>9</sup>, solo para citar un ejemplo, indica en su portal que Colombia vendió a Italia en el año 2017 US\$118 millones (54%) de la producción de frutas exportada a dicho país, el cual es uno de los mayores consumidores de fruta colombiana.

Gracias a la fuerte demanda de estas musáceas, se han intensificado las buenas prácticas e investigación en estos cultivos, ya que es necesario mejorar el rendimiento y calidad de los mismos, con el fin de no solo ser rentables sino competitivos a nivel mundial.

Sin embargo, estos cultivos, se han visto afectados en varias zonas del país, por diferentes enfermedades de importancia económica, como El Mal de Panamá (*Fusarium oxysporum*) en banano, o Moko (*Ralstonia Solanacearum*, Raza II) en Plátano, que pueden llegar a terminar con grandes áreas del cultivo. A continuación, se realizará una breve descripción de las enfermedades y deficiencias más significativas que padecen estos dos cultivos.

En la Tabla 1 se recoge la información de enfermedades y deficiencias nutricionales que se evidencian en cultivos de banano, donde se encuentran datos como agentes causantes, factores favorables, sintomatología y demás características para la detección y reconocimiento de las mismas.

---

<sup>5</sup> SOLIS ROSALES, Adalberto. EL CULTIVO DE PLÁTANO (Género musa) EN MEXICO. México, 2018. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo en Horticultura). Universidad autónoma agraria “Antonio Navarro”, División de Ingeniería, Ingeniería Agronómica en horticultura.

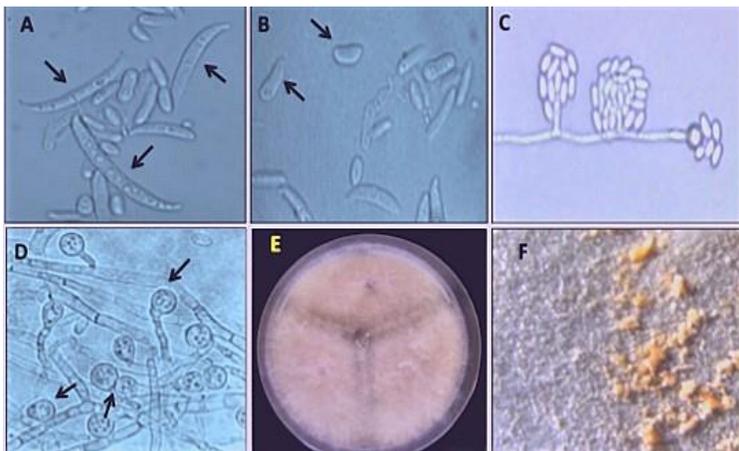
<sup>6</sup> *Ibid.*, p.

<sup>7</sup> HOYOS-LEYVA, Javier Darío, et al. Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (*Musa* spp.). *En*: Sistema de información científica Redalyc. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Acta Agronómica, vol. 61, núm. 3, 2012; p. 214-229. ISSN: 0120-2812

<sup>8</sup> CASTELLANOS-GALEANO, Francisco Javier., & ÁLVAREZ-BARRETO, Cristina Inés. MUSÁCEAS, INVESTIGACIÓN CON PROPÓSITO. *En*: Vitae, Vol. 23, no supl 1.

<sup>9</sup> Revista Dinero. Las frutas se abren paso en el mundo. [En línea]. *En*: Revista Dinero. Bogotá D.C – Colombia 2018. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<https://www.dinero.com/edicion-impresa/pais/articulo/exportacion-de-frutas-colombianas-en-2018/258606>>

## Mal de Panamá<sup>10-11</sup>



**Phylum:** *Ascomycota*  
**Subphylum:** *Pezizomycotina*  
**Clase:** *Sordariomycetes*  
**Orden:** *Hypocreales*  
**Familia:** *Nectriaceae*  
**Género:** *Fusarium*  
**Especie:** *f. sp. cubense* raza 4

Estructuras reproductivas de *Fusarium oxysporum f. sp. Cúbense*. **A.** Macro conidios (Poseen longitud 27 - 55 x 3.3 - 5.5  $\mu\text{m}$ , 4 - 8 células, forma de hoz, con células basales en forma de pie). **B.** Microconidios (Poseen longitud de 5 - 16 x 2.4 - 3.5  $\mu\text{m}$ , 1 ó 2 células, ovales en forma de riñón). **C.** Fialides y microconidios agrupados en falsas cabezas. **D.** Clamidosporas (Poseen de 7 - 11  $\mu\text{m}$  diámetro, usualmente globosas formadas individuales o en cadenas). **E.** *Fusarium oxysporum f. sp. Cúbense* raza 4 tropical en medio de cultivo PDA. **F.** Esporodocios de color naranja formados en la superficie medio de cultivo PDA.



### SÍNTOMAS

Los primeros síntomas externos se hacen visible en las hojas adultas con un amarillamiento de afuera hacia adentro, hasta terminar con un amarillamiento, en toda la planta y secamiento total de la misma. Si se presenta la enfermedad antes que la planta de su fruto, cuando éste sale es de un tamaño demasiado pequeño imposibilitando su desarrollo; cabe mencionar que en plantas pequeñas es poco común la contaminación por Mal de Panamá, aunque se han visto algunos casos.

**A.** Marchitamiento por *Fusarium oxysporum* en planta joven. **B.** Doblamiento de hojas adultas en planta próxima a iniciar su etapa productiva. **C.** Planta de aproximadamente cuatro (4) meses con gran avance de *f. oxysporum*. **D.** Muerte de planta principal y afectación de hijos en planta joven.

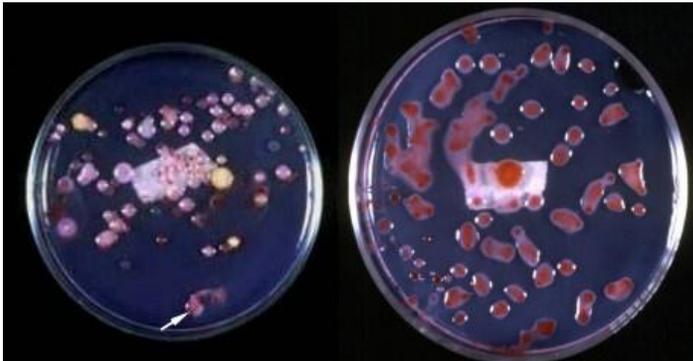
### Factores favorables

Diseminación por medio de los "hijos" y rizomas (cormos). Diseminación por medio del suelo y agua.  
 Diseminación por medio de implementos agrícolas, maquinaria, botas de trabajo y por el picudo negro del plátano.

<sup>10</sup> BOLAÑOS, Luciano Martínez. Ficha técnica No.2. Mal de Panamá *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense* raza 4 Schlecht. México: Laboratorio nacional de referencia epidemiológica fitosanitaria, 2013. 25 p. ISBN: 978-607-715-115-9.

<sup>11</sup> Dita, M., Echegoyé, et al. Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 tropical de *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* En un país de la región del OIRSA. OIRSA, San Salvador, El Salvador. 2013. 155p.

## Moko<sup>1213</sup>



**Dominio:** Bacteria  
**Phylum:** Proteobacteria  
**Clase:** Betaproteobacteria  
**Orden:** Burkholderiales  
**Familia:** Ralstoniaceae  
**Género:** Ralstonia  
**Especie:** Ralstonia solanacearum raza 2

- A.** Identificación de colonias características de *Ralstonia solanacearum* Raza 2, en un cultivo de suelo en medio semi-selectivo SMSA. **B.** Cultivo de *R. solanacearum*; nótese la morfología característica de las colonias.

## SÍNTOMAS

Según Belalcázar en las plantas pequeñas, las hojas presentan un amarillamiento intenso y secamiento en su borde iniciando de la hoja más joven (Bandera), hacia las hojas adultas. Según lo indica Manzo-Sánchez, G et al. La primera, segunda y tercera hoja más joven se torna de color verde amarillento y eventualmente se fractura en o arriba de la unión del pecíolo y la lámina. Las hojas más viejas (las más bajas) también se marchitan y se fracturan rápidamente. Cuando la planta se encuentra consumida en su totalidad se puede observar el marchitamiento y doblamiento de sus hojas.



### Factores favorables

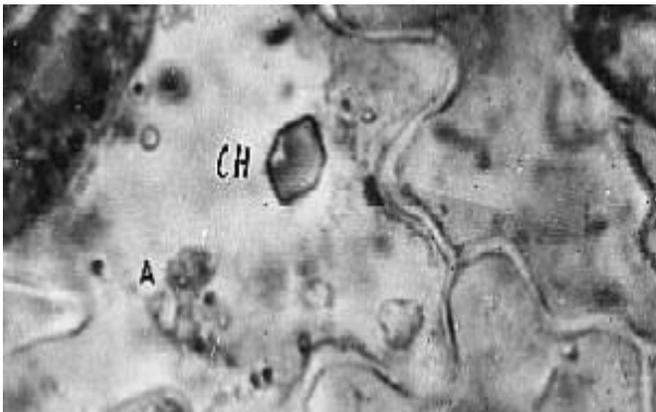
Diseminación a través de especies de insectos *Apis*, *Trigona* y *Polestis*.  
Diseminación por herramientas empleadas en prácticas de mantenimiento.  
Diseminación por cormos infectados.  
Diseminación por medio de corrientes de agua.

Marchitamiento de planta pequeña de plátano infectada con moko. **B.** Marchitamiento total por moko en plátano. **C.** Muerte de hoja principal (bandera) en plátano. **D.** Planta de banano a punto de bellotear con gran avance de Moko. **E.** Doblamiento y secamiento de las hojas por Moko en planta joven. **F.** Muerte de hoja principal (bandera) en banano.

<sup>12</sup> ARENAS, Adriana, et al. Efecto de prácticas ecológicas sobre la población de *Ralstonia solanacearum* Smith, causante de Moko de plátano. En: fitopatología colombiana. Cali, Colombia. 2004. Vol. 28, No.2. ISSN 0120-0143.

<sup>13</sup> ALVAREZ, Elizabeth, et al. Estado del arte y opciones de manejo del Moko y la Sigatoka negra en América Latina y el Caribe. Cali, Colombia: Centro internacional de agricultura tropical, 2013. 40 p. ISBN: 978-958-694-123-5.

## Mosaico del pepino<sup>141516</sup>

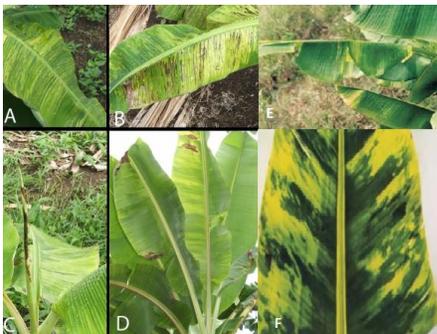


Inclusión citoplasmática de CMV

**Género:** *Cucumovirus*  
**Familia:** *Bromoviridae*

### SÍNTOMAS

Según el portal Plátano del Quindío<sup>17</sup>, los síntomas de este virus se hacen visible en la hoja con una clorosis es decir un amarillamiento en franjas o intervenal en la hoja muy parecido a otro virus llamado el rayado del banano, además de la deformación de las hojas. Puede llegar a afectar en gran medida la hoja bandera, cuando el virus se encuentra en estado muy avanzado, aunque normalmente los daños no son tan graves



### Factores favorables

Transmitido por setenta especies de insectos de la familia *Aphididae*. Los insectos no son huéspedes habituales de las musáceas, solo llegan cuando son eliminadas las malezas que ellos habitan.

Síntomas causados por **CMV**. **A.** Mosaico típico. **B.** Necrosamiento de nervaduras secundarias con clorosis internerval definida. **C.** Necrosamiento de la hoja cigarro. **D.** Pérdida de la lámina foliar y necrosamiento de tejidos. **E.** Necrosamiento inicial. **F.** Estado muy avanzado del virus en hoja joven.

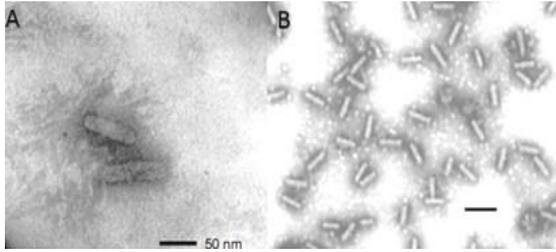
<sup>14</sup> GONZÁLEZ-ARIAS, Gloria, et al, DIAGNÓSTICO DE VIRUS VEGETALES A NIVEL DE GRUPO EN EL CULTIVO DEL PIMIENTO (*CAPSICUM ANNUUM* L.) MEDIANTE LA TÉCNICA DE MICROSCOPIA ÓPTICA. [En línea]. En: Fitosanidad. Vol.6, No.3 (Septiembre, 2008). ISSN: 1562-3009. [Fecha de consulta: 31 de octubre de 2018] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118292001>>

<sup>15</sup> LOPÉZ-CARDONA, Nathali, et al. Evaluación de incidencia y pérdidas ocasionadas por virus que afectan cultivos de plátano y banano (*Musa* spp.) en la zona central cafetera. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 22 No.1. p 22-35. 2014. ISSN: 0568-3076.

<sup>16</sup> ALARCÓN-RESTREPO, John Jairo. Enfermedades en la producción de Heliconias en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 15 No.1. p 45-61. 2007. ISSN: 0568-3076.

<sup>17</sup> PLÁTANO DEL QUINDÍO. Enfermedades del fruto y del follaje del plátano [En línea]. En: Portal plátano del Quindío. Armenia-Quindío 2010. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2010/09/enfermedades-del-follaje-y-del-fruto.html>>

## Virus del Rayado del banano<sup>181920</sup>

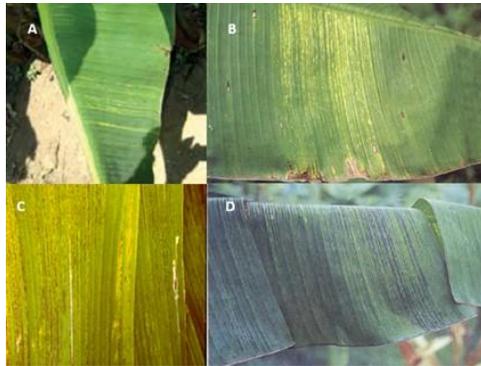


**Familia:** *Caulimoviridae*  
**Género:** *Badnavirus*

**A.** Partículas de BSV observadas al Microscopio Electrónico a partir de una semipurificación del virus.  
**B.** Reacción del virus en estudio con antisuero contra el virus del rayado del banano (BSV) en pruebas de microscopía electrónica inmuno adsorbente.

### SÍNTOMAS

Como ya se ha mencionado, este virus es muy similar al Mosaico, pero mientras este último es más fácil observar a trasluz, el virus del rayado se observa en las hojas con unas marcadas líneas amarillas separadas y patrones en forma de diamante, que con el avance de la enfermedad se van tornando de color café oscuro, además de la muerte de la punta de las hojas según Manzo-Sánchez, G et al<sup>21</sup>. También indica el autor que cuando la planta está infectada no se desarrolla de buena manera por lo que el tamaño es diferente de las demás.



### Factores favorables

Es transmitido por la cochinilla de los cítricos, *Planococcus citri* y *Pseudococcus sp.*  
Diseminación por semilla (cormo) y por material vegetativo infectado.

**A.** Primeras manifestaciones del virus. **B.** Segunda etapa del virus, aumento de la clorosis. **C.** las líneas con clorosis aumentan y se empiezan a tornar de color café oscuro. **D.** Las líneas de color café oscuro van en aumento y la hoja se empieza a marchitar en la punta.

<sup>18</sup> PORTAL, Orelvis, et al. Comportamiento del Virus del Estriado del Banano en plantas propagadas in vitro de los cultivares de Musa híbridos FHIA 20 y FHIA 21. [En línea]. En: Biotecnología Vegetal. Cuba: Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Vol. 4, no 3 (julio-septiembre, 2004); p 177-181. ISSN: 2074-8647. Fecha de la cita: 31 de octubre de 2018] Disponible en: <<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/435/403>>

<sup>19</sup> LOPÉZ-CARDONA, Nathali, et al. Evaluación de incidencia y pérdidas ocasionadas por virus que afectan cultivos de plátano y banano (Musa spp.) en la zona central cafetera. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 22 No.1. p 22-35. 2014. ISSN: 0568-3076.

<sup>20</sup> ALARCÓN-RESTREPO, John Jairo. Enfermedades en la producción de Heliconias en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 15 No.1. p 45-61. 2007. ISSN: 0568-3076.

<sup>21</sup> MANZO-SÁNCHEZ, Gilberto, et al. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (Musa sp.). En: Revista mexicana de fitopatología, México. Vol.32, No 3, (2008); p. 103. ISBN 0185- 3309.

## Sigatoka Negra o raya negra<sup>22</sup>



Características para la detección de manifestación por *Mycosphaerella fijiensis* Morelet en cultivos de Banano y Plátano.

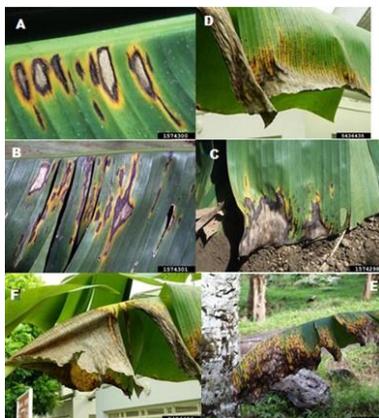
**Reino:** *Fungi*  
**Phylum :** *Hongo*  
**Ascomycota Clase:**  
*Dothideomycetes1*  
**Orden:** *Capnodiales*  
**Familia:** *Mycosphaerellaceae*  
**Género:** *Mycosphaerella*  
**Especie:** *Mycosphaerella fijiensis* Morelet

### SINTOMATOLOGÍA

“**Estado 1.** Pequeñas lesiones o puntos de color blanco- amarillento a marrón, de 1 mm de longitud, denominadas piczas, apenas visibles en el envés de las hojas. **Estado 2.** Rayas o estrías cloróticas de 3–4 mm de longitud por 1 mm de ancho, de color marrón. **Estado 3.** Las rayas o estrías se alargan y amplían dando la impresión de haber sido pintadas con pincel, sin bordes definidos y de color café, que pueden alcanzar hasta 2 cm de longitud.

**Estado 4.** Manchas ovaladas de color café en el envés y negro en el haz. **Estado 5.** Manchas negras rodeadas de un anillo negro.

**Estado 6.** Manchas con centro seco y hundido, de coloración marrón clara, rodeadas de tejido clorótico”<sup>23</sup>.



### Factores favorables

Alta temperatura, alta humedad, mal drenaje, mala nutrición.

**A.** Manchas pequeñas en la parte de la hoja. **B.** Evolución a estrías o rayas. **C.** Los bordes de las hojas también se ven afectador. **D.** Aumento de la sigatoka negra en la hoja. **E.** Hoja en su estado evolutivo por afectación de sigatoka negra. **F.** Muerte de la hoja.

<sup>22</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. La Sigatoka negra en plátano y banano. Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. Julio 2013. [En línea]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/019/as089s/as089s.pdf>>

<sup>23</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, Op. cit.

## Sigatoka amarilla<sup>2425</sup>

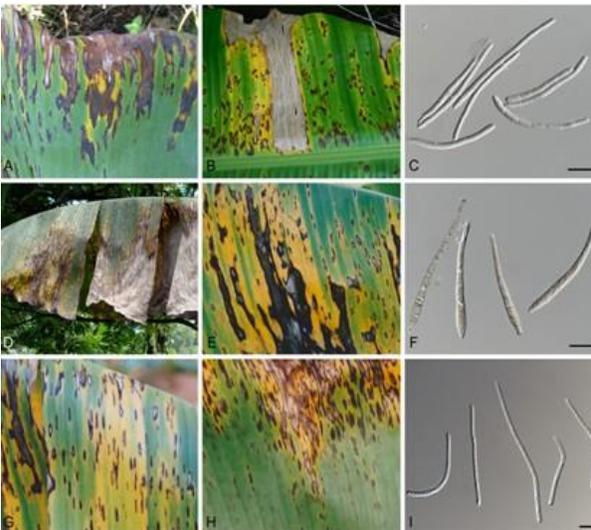


**Reino:** *Fungi*  
**Phylum :** *Hongo*  
**Ascomycota Clase:**  
*Dothideomycetes1 Orden:*  
*Capnodiales*  
**Familia:** *Mycosphaerellaceae*  
**Género:** *Mycosphaerella*  
**Especie:** *Mycosphaerella musicola*

Identificación de *Mycosphaerella musicola* en un cultivo de banano; nótese la morfología característica.

### SINTOMATOLOGÍA

“**Estado 1.** Pequeño punto amarillo o raya de color verde claro que aparece en el haz de las hojas. **Estado2.** Los puntos se estiran en rayas amarillas de 3-4 mm; etapa óptima para el tratamiento. **Estado 3.** Las rayas se extienden y transforman en manchas, el centro toma un color rojizo. **Estado 4.** La mancha llega a su tamaño final (12-15 mm por 2-5 mm) y está rodeada por una zona amarilla. En el centro es de color café oscuro u negro. **Estado 5.** La zona central de la mancha se seca y adquiere un color grisáceo bordeado de negro y rodeado por un halo amarillo. La lesión se llama necrosis. A esta etapa aparecen las ascosporas que serán diseminadas viento”<sup>26</sup>.



### Factores favorables

Alta temperatura, alta humedad,  
mal drenaje, mala nutrición.

**A.** Manchas pequeñas en la parte de la hoja. **B.** Evolución a estrias o rayas. **C.** Los bordes de las hojas también se ven afectador. **D.** Aumento de la sigatoka negra en la hoja. **E.** Hoja en su estado evolutivo por afectación de sigatoka negra. **F.** Muerte de la hoja.

<sup>24</sup> SIMBIOTI-K. La Sigatoka amarilla en banano. Diciembre 2016. [En línea]. Disponible en: <<http://www.simbioti-k.com/la-sigatoka-amarilla-del-banano/>>

<sup>25</sup> INSTITUT TECHNIQUE TROPICAL. Manejo de las sigatokas del Banano. 2014. [En línea]. Disponible en: <[http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC\\_IT2\\_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses\\_ESP\\_BD1.pdf](http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC_IT2_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses_ESP_BD1.pdf)>

<sup>26</sup> INSTITUT TECHNIQUE TROPICAL, Op. cit.

## Deficiencia Potasio<sup>27</sup>

### Sintomatología

Según Plátano del Quindío<sup>28</sup> los síntomas generales por deficiencia de Potasio se presentan cuando la hoja se seca y se torna en forma de un pico de loro, se quiebran y se caen los frutos, se torna un color amarillento (amarillo caterpillar) en la punta el cual va avanzando hacia la base y se presenta en las hojas más avanzadas.



### Función

Se requiere potasio como cofactor para más de 40 enzimas. Tiene un papel en los movimientos de los estomas mediante el mantenimiento de la electro-neutralidad en las células de las plantas. Es particularmente importante dado que estos procesos permiten el llenado de la fruta y, por lo tanto, el incremento del rendimiento.

## Deficiencia Nitrógeno

### Sintomatología

Plátano del Quindío<sup>29</sup> indica que entre sus síntomas presentados por la deficiencia de Nitrógeno están la coloración amarillenta generalizada con mayor intensidad en las hojas viejas o más antiguas, retardo en el crecimiento de la planta, escasa producción de hijos, celeridad de muerte de las hojas bajas, peciolo cortos y con los bordes y el pseudotallo presentando una coloración rojiza.



### FUNCIÓN

El nitrógeno es uno de los nutrientes primarios absorbidos por las raíces de las plantas de banano. Este nutriente es igualmente esencial para lograr una buena división celular, crecimiento de la planta y un proceso de respiración, adecuados.

El nitrógeno es el principal promotor del crecimiento. Induce el crecimiento vegetativo del pseudotallo y de las hojas, brindándoles un saludable y deseable color verde.

<sup>27</sup> PLATANO DEL QUINDIO. Deficiencia de potasio. Noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-potasio.html>>.

<sup>28</sup> PLATANO DEL QUINDIO, Op. cit.

<sup>29</sup> PLATANO DEL QUINDIO. Deficiencia de nitrógeno. Noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-nitrogeno.html>>.

## Deficiencia Fósforo<sup>30</sup>

### Sintomatología

Se evidencia según Plátano del Quindío<sup>31</sup> sus síntomas se presentan desde la detención de crecimiento, coloración verde oscura inicial a pasar a una clorosis marginal, bordes necrosados en las hojas donde se queman los bordes de las hojas antiguas, menor número de raíces y doblamiento de las hojas por el pseudo peciolo.

### FUNCIÓN

El fósforo ayuda a producir un rizoma sano y un sistema de raíces fuerte. Además, tiene influencia en la fijación de las flores y en el crecimiento vegetativo general. Es uno de los tres nutrientes primarios y es absorbido por las raíces de la planta de banana, principalmente en la forma de ortofosfato ( $H_2PO_4^-$ ). Ayuda a las plantas a acumular y a utilizar la energía de la fotosíntesis, a desarrollar las raíces, acelerar la madurez y resistir el estrés.



## Deficiencia Calcio<sup>32</sup>

### Sintomatología

Haifa Group<sup>33</sup> indica la siguiente sintomatología en deficiencia de calcio.

Los síntomas se encuentran en las hojas más jóvenes, provocan una hoja en punta en la que la lámina de las nuevas hojas se deforma y empeora la enfermedad Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*).

Clorosis intervenal cerca de los márgenes de las hojas Los síntomas aparecen luego de un pico de crecimiento Donde se aplican altos niveles de potasio



### FUNCIÓN

De acuerdo a Plátano del Quindío<sup>34</sup> el calcio es otro de los nutrientes secundarios de la planta, absorbido por las raíces de la planta como  $Ca^{2+}$ . El calcio es un componente de la pared celular de la lámina media como pectato de Ca. Es calcio es requerido como un cofactor por algunas enzimas involucradas en la hidrólisis del ATP y los fosfolípidos. Es un elemento importante para el desarrollo de la raíz y su funcionamiento, componente de la pared celular, y es requerido para producir flexibilidad cromosómica y división celular.

<sup>30</sup> PLATANO DEL QUINDIO. Deficiencia de fósforo. Noviembre 2014. [en línea]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-fosforo.html>>.

<sup>31</sup> PLATANO DEL QUINDIO, Op. cit.

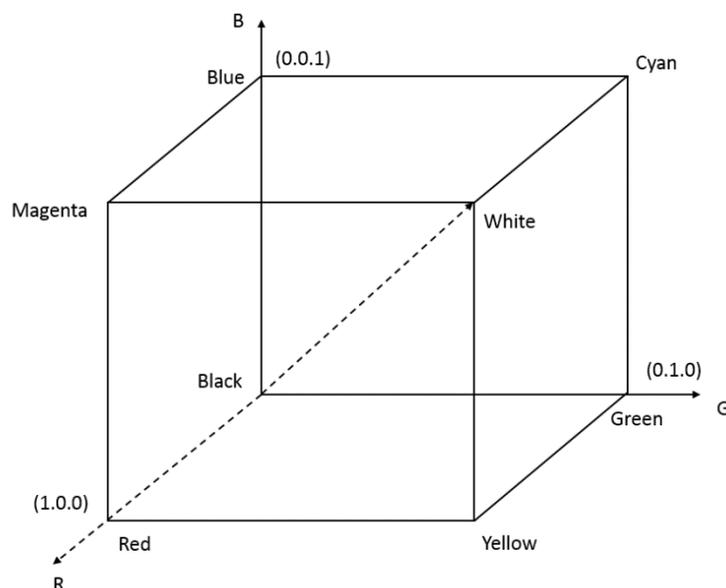
<sup>32</sup> PLATANO DEL QUINDIO. Deficiencia de calcio. Noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-calcio.html>>.

<sup>33</sup> HAIFA GROUP - specialty plant nutrition solutions. Recomendaciones nutricionales para banana. 2015. [En línea]. Disponible en: <<https://www.haifa-group.com/es/recomendaciones-nutricionales-para-banano>>.

<sup>34</sup> PLATANO DEL QUINDIO, Op. cit.

## El modelo RGB

Éste es un modelo de color basado en lo que se conoce como síntesis aditiva, con lo que es posible representar un color por la mezcla por adición de los tres colores primarios con los que se forma: rojo, verde y azul. Le asignamos un valor a cada uno de los colores primarios para indicar con qué proporción se mezcla cada color. Así, por ejemplo, el valor 0 significa que no interviene en la mezcla, y en la medida que ese valor aumenta, aportará más intensidad a la mezcla, hasta llegar al valor 255 o 1 si se normaliza. El valor de cada color primario se representa con un byte por lo que su valor puede llegar hasta 255. Este modelo está basado en el sistema de coordenadas cartesianas. El subespacio de color de interés es el tetraedro mostrado en la figura 2.1, en el cual los valores RGB están en tres vértices; cyan, magenta y amarillo, se sitúan en otros tres vértices, el negro corresponde al origen y el blanco en el vértice más alejado del origen.



**Figura.1** Modelo RGB

En este modelo la escala de grises se extiende desde el negro al blanco a lo largo de la diagonal que une esos dos puntos, y los colores son puntos dentro del tetraedro, definidos por vectores desde el origen.

## El modelo YUV

El modelo YUV define un espacio de color en términos de una componente de luminancia (Y) y dos componentes de crominancia (U, V). Codifica una imagen en color teniendo en cuenta la percepción humana, de este modo hace que sea más robusto ante cambios de iluminación. Este modelo es el utilizado en los sistemas de difusión de televisión PAL y NTSC, los cuales son los estándares en la mayoría del mundo. Es posible obtener los valores YUV de un píxel partiendo de los valores RGB del mismo mediante la utilización de la ecuación (1):

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.100 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

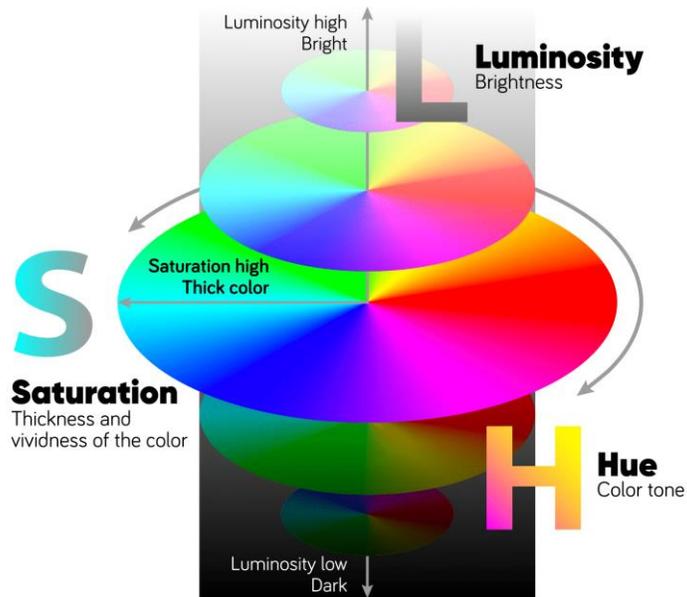
**Figura.2** Modelo YUV

Se asume que R, G y B están en el rango 0 a 1, con 0 representando la intensidad mínima y 1 la máxima. Y está en el rango 0 a 1, U está en el rango -0.436 a 0.436 y V está en el rango -0.615 a 0.615. Éste modelo de color es el empleado en la función recogepelotas desarrollado por Tekniker previamente a este proyecto. Entonces solo se tenía en cuenta el color para discriminar la pelota amarilla en un entorno cerrado de color negro.

### **El modelo HSL**

El modelo HSL es un modelo de representaciones considerado "natural", ya que se acerca bastante a la percepción fisiológica del color que tiene el ojo humano. En efecto, el modelo RGB (rojo, verde, azul) puede resultar adecuado para la representación de colores en el equipo o para su presentación en dispositivos de visualización, pero no permite seleccionar los colores con facilidad.

El modelo HSL define el espacio de color con tres características: tono (Hue), saturación (Saturation) y luminosidad (Luminance). Se denomina longitud de onda dominante a la luz que se ve y que corresponde a una determinada cantidad de tono.



**Figura.3** Modelo HSL

La saturación corresponde a la pureza del color. Corresponde a la proporción de la luz pura de longitud de onda dominante y la luz blanca necesaria para definir un color. Un color 100% puro tiene una saturación del 100% y no contiene luz blanca. Colores que se alejen del color puro contienen una mezcla entre la luz blanca y el color puro comprendida entre el 0% y 100%.

La luminosidad es la cantidad de luz que tiene un color determinado. Cualquier valor de tono con una luminosidad del 100% será el color blanco. En cambio, si presenta un valor de 0% de luminosidad se tratará del color negro.

### Imágenes espectrales

Según BOTINA, Deivid., et al<sup>35</sup>. Las imágenes espectrales son aquellas fundamentadas en la captura de espectros de reflectancia a través de dispositivos capaces de percibir estas señales. Los colores emiten señales u ondas imperceptibles para el ojo humano, las cuales son analizadas e interpretadas por dispositivos especiales que convierten las longitudes de onda recibidas de cada color en información entendible para las personas, garantizando así una mayor exactitud por ejemplo a la hora de analizar tejido cardiovascular como lo muestra dicho autor.

<sup>35</sup> BOTINA, Deivid., et al. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES BIOLÓGICAS: UN CASO DE ESTUDIO EN TEJIDO CARDIOVASCULAR. [En línea]. Armenia. En: Journal of Research of the University of Quindío, 2015, vol. 27, no 1. [Citado: 30/10/2018]. Disponible en: <[http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27\\_61-66.pdf](http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27_61-66.pdf)>.

La utilización de imágenes espectrales trajo consigo grandes beneficios como la metodología que consiste en el análisis de imágenes espectrales que las convierte un grupo de píxeles similares en un solo objeto con diferentes atributos a los grupos de píxeles cercanos según indica PEREA, Alberto Jesús., Et al<sup>36</sup>.

Gran cantidad de software está siendo utilizado en la actualidad para el análisis de imágenes espectrales, y de estos casi todos están basados en redes neuronales e inteligencia artificial la cual está por así decirlo en constante aprendizaje ya que la base de datos se alimenta automáticamente con cada patrón nuevo que va percibiendo; a este procedimiento que PEREA, Alberto Jesús., Et al<sup>37</sup>. Denomina algoritmo de clasificación de expertos y sobre el cual realiza una importante descripción.

Como deja indicado CÁCERES- FLÓREZ, Camilo Andrés., et al<sup>38</sup>. Las imágenes espectrales no solo se fundamentan en el reconocimiento de longitudes de onda como fue mencionado anteriormente, hay alguna metodología también que permite modificar las características de la imagen hasta hacerla más fácil de analizar para una aplicación. Ésta consiste en unos filtros realizados con base en algoritmos matemáticos como lo son el filtro morfológico que permiten resaltar características que se deseen de la imagen, filtro HSI el cual suaviza y elimina píxeles basura, el filtro de desenfoque gaussiano que permite eliminar el ruido existente luego de haber aplicado el filtro HSL, y por último la binarización con la que se obtiene una imagen en blanco y negro.

### **Sistema de información geográfica (SIG)**

Es un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas integrado de manera perfecta para hacer posible la recolección de datos, su almacenamiento, procesamiento y posterior análisis.<sup>39</sup>

La finalidad de los sistemas de información geográfica es modelar la realidad de la manera más cercana posible por medio de coordenadas e información espacial.

---

36 PEREA, Alberto Jesús., Et al. Algorithms of Expert Classification Applied in Quickbird Satellite Images for Land Use Mapping. Chilean J. Agric. Res. [Online]. 2009, vol.69, n.3, pp.400-405. [Cited: 28/10/2018] Available in: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392009000300013&Ing=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392009000300013&Ing=es&nrm=iso)>.

37 Ibíd., p.

38 FLÓREZ, Camilo Andrés Cáceres., et al. Procesamiento de imágenes para reconocimiento de daños causados por plagas en el cultivo de Begonia semperflorens (flor de azúcar). En: Acta Agronómica, Bogotá. vol. 64, no 3 2015; p. 273-279. ISSN 0120-2812

<sup>39</sup> LÓPEZ DE LA SIERRA, Alberto. Planificación de vuelos fotogramétricos para UAS sobre cliente QGIS. La rioja: EEA La Rioja. 2016. p. 4



**Gráfico.1** Modelo SIG

Fuente: LÓPEZ DE LA SIERRA, Alberto. Planificación de vuelos fotogramétricos para UAS sobre cliente QGIS. La rioja: EEA La Rioja. 2016. p. 4

## **ArcGis**

Es una plataforma de representación cartográfica y análisis desarrollada por ESRI (Environmental Systems Research Institute), que proporciona herramientas para el mapeo y el razonamiento espacial y que cuenta con diferentes herramientas de análisis espacial por medio de analítica de datos para la toma de decisiones, una de las bibliotecas de imágenes más grandes del mundo, sensores, mapeo y visualización de los datos de fácil acceso en cualquier dispositivo<sup>40</sup>.

ArcGis contiene los siguientes módulos<sup>41</sup>:

- **ArcMap.** Es el aplicativo central para la manipulación de los datos.
- **ArcCatalog.** Permite gestionar los archivos como mapas o las bases de datos.
- **ArcToolBox.** Procesa la información geográfica obtenida como lo es el análisis de datos espaciales y la conversión de formatos.
- **ArcScene.** Se emplea para la visualización de los datos en 3D.

## **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)**

El índice de diferencia normalizada como se traduce en español es un test de vigor que se realiza a la vegetación por medio de la comparación de las bandas infra-rojo cercano y el

<sup>40</sup> MAS, Cartoteca Rafael. Tutorial (nivel básico) para la elaboración de mapas con ArcGIS. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2011. p. 5.

<sup>41</sup> *Ibíd.*, p. 6.

rojo. Por medio de éste es posible determinar la vitalidad de las plantas a fin de conocer si están siendo afectadas por alguna enfermedad o deficiencia<sup>42</sup>.

Normalmente para el cálculo de NDVI es buscar la relación entre la banda infrarrojo cercano (700-1300 nm) y la banda del rojo<sup>43</sup> ((650 nm) y la fórmula para hallarlo es:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{IRC}-\text{R})}{(\text{IRC}+\text{R})}$$

Dónde: IRC es la reflectividad en el infrarrojo cercano y R es la reflectividad en el rojo.

Los sistemas de información geográfica como ArcGis y Qgis realizan este cálculo de manera casi automática en el momento de ingresar una imagen espectral para su procesamiento, solo basta con realizar la configuración de las bandas y los parámetros a obtener de la imagen para realizar dicho cálculo en el software.

## 4.2 MARCO LEGAL

**4.2.1 Resolución No. 251 / 2015:** “Operación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) o conocidas como DRONES o Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS)”<sup>44</sup>.

**4.2.2 Circular reglamentaria N° 002.** “Requisitos de Aeronavegabilidad y Operaciones necesarias para obtener permiso de acuerdo a reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), en lo relacionado con la operación de sistemas de aeronaves pilotadas a distancia – RPAS diferentes a las de recreación y deporte”<sup>45</sup>.

**4.2.3 Resolución No. 16 / Octubre 08 de 2007:** “Para los efectos de esta resolución, las necesidades de inversión para la reconversión de cultivos, comprenden: plantación y mantenimiento en nuevas áreas y renovación de cultivos de tardío rendimiento que terminen su ciclo económico útil, renovación de cultivos de banano de exportación que terminen su ciclo económico útil, adquisición de maquinaria y equipo, adecuación de tierras, infraestructura para la producción agropecuaria, acuícola y pesca e infraestructura y equipos para transformación primaria y comercialización. De igual manera, las necesidades de inversión requeridas para mejoramiento de la productividad del sector agrícola y pecuario, comprenden: adecuación de tierras y manejo del recurso hídrico, infraestructura para la producción agropecuaria, adquisición de maquinaria y equipo, equipos pecuarios, y equipos de transformación primaria y comercialización”<sup>46</sup>.

---

<sup>42</sup> MANRIQUE, E. G. Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. En TELEDETECCIÓN. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España. 1999. p. 217-219.

<sup>43</sup> *Ibíd.*, p. 217-219.

<sup>44</sup> Dirección general de Aviación civil. Resolución No 251/2015. Septiembre 2015.

<sup>45</sup> Aeronáutica civil de Colombia. Circular reglamentaria N° 002. Requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2). Septiembre 2015.

<sup>46</sup> Comisión nacional de crédito agropecuario. Resolución No. 16 de 2017. 08 de octubre de 2007.

**4.2.4 Resolución No. 2398 / Mayo 31 de 2011:** “Por medio de la cual se prohíbe el ingreso al país de cualquier material de plátano, banano y musáceas ornamentales provenientes de los países que tengan reporte de la presencia del hongo *Fusarium oxysporum* f.sp. Cubense raza tropical 4 (Foc RT-4)”<sup>47</sup>.

**4.2.5 Resolución No. 3002 / Abril 28 de 2017:** “Por medio del cual se establecen los requisitos para la certificación en buenas prácticas agrícolas en producción primaria de vegetales y otras especies para consumo humano”<sup>48</sup>.

**4.2.6 Resolución No. 3330 / Julio 22 de 2013:** “Por medio de la cual se establecen medidas fitosanitarias tendientes a prevenir la diseminación en el territorio nacional de la enfermedad conocida como Moko del plátano y banano, ocasionada por la bacteria *Ralstonia solanacearum*”<sup>49</sup>.

**4.2.7 Resolución No. 2017 / octubre 02 de 2017:** “Por la cual se acepta una solicitud de Acceso a Recursos de biopesticidas y biofertilizantes con base en bacterias aisladas de *Musa sp*”<sup>50</sup>.

**4.2.8 Resolución No. 304 / Junio 28 de 2012:** “Por la cual se reglamenta la utilización de bolsa plástica en cultivo de banano y plátano en el departamento de Caldas”<sup>51</sup>.

---

<sup>47</sup> Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 2398. 31 de mayo de 2011.

<sup>48</sup> Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 3002. 28 de Abril de 2017.

<sup>49</sup> Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 3330. 22 de julio de 2013.

<sup>50</sup> Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución No. 2017. 02 de Octubre de 2017.

<sup>51</sup> Corporación Autónoma Regional De Caldas. Resolución No. 004. 28 de Junio de 2012.

### 4.3 MARCO REFERENCIAL

La teledetección por medio de herramientas tecnológicas está siendo cada vez más importante en la agricultura, y los cultivos de banano no son la excepción, ya que las cámaras multispectrales con las que están equipados los drones y las que proveen los satélites, permiten analizar características de las plantas que en la mayoría de los casos no es detectado fácilmente con el recorrido rutinario a la plantación.

En la zona bananera del Urabá antioqueño en Colombia; Casanova<sup>52</sup> muestra un estudio que analizó el cambio en el NDVI (Índice de vegetación de Diferencia Normalizada), el cual es un índice que indica la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación de las plantas. La toma de estos datos se realizó en diferentes sitios de América y no solamente a cultivos de banano, sino también, en diferentes cultivos tales como arroz, caña de azúcar y pastos. Para el estudio se realizaron muestras en diferentes zonas con la intención de encontrar la mayor diferencia de ambientes y nubosidad para así poder comparar las variaciones dependiendo de climas. Por medio de sensores y cámaras espectrales que son los encargados de recibir y convertir la emisión de ondas electromagnéticas producidas por las plantas en información entendible para nosotros, luego de obtener todas las imágenes se debieron analizar cada una de ellas con el fin de eliminar los imperfectos que la imagen presentaba debido a que las tomas son hechas con diferentes cambios de luz. Ya para la visualización y posterior interpretación de los datos se utilizó un programa llamado TiSeG el cual permite analizar cadenas de NDVI en diferentes ambientes, estos datos anteriores por ejemplo nos entregan información sobre el nivel de estrés hídrico de las plantas en ciertas zonas tropicales, y de cómo afecta el clima la vegetación de dichas plantas.

En Ecuador en el año 2017, Quirola y Stevens<sup>53</sup> muestra un proyecto de finalización de carrera que se realizó con el fin de analizar la mitigación del impacto ambiental con la implementación de drones. El proyecto consistía en incrementar la fumigación por medio de drones en vez de hacerla de la manera tradicional (con la utilización de aviones), ya que el drone Primero envía imágenes multi espectrales donde se muestran las zonas más afectadas del cultivo generando un mapa de las zonas con puntos estratégicos para luego realizar la fumigación más precisa por medio de los mismos. El drone puede realizar las fumigaciones a menor altura y con menor consumo de pesticidas disminuyendo la contaminación ambiental y a su vez evitando afectaciones en la salud de los agricultores y personas adyacentes al cultivo sin dejar a un lado el ahorro de los costos, gracias a la reducción de pesticidas.

Aunque existen algunos estudios y proyectos implementados en el sector bananero, hasta el momento no se ha encontrado evidencia documental sobre teledetección para el control de enfermedades y deficiencias en dicho cultivo, la mayoría de proyectos se centran en el análisis del nivel de estrés hídrico de las plantas, y también a las buenas prácticas a la hora de las aplicaciones químicas. Por esto se considera que han sido pocos los esfuerzos encaminados a la detección de enfermedades y deficiencias en los cultivos de banano, ya que estas son las mayores causantes de la baja calidad de muchos cultivos y la poca duración de los mismos.

---

<sup>52</sup> Quirola, L & Stevens, G. Mitigación del impacto ambiental en el sector bananero con la implementación de drones para la aerotomización. 2017.

<sup>53</sup> Quirola, L & Stevens, G. Mitigación del impacto ambiental en el sector bananero con la implementación de drones para la aerotomización. 2017.

#### 4.3.1 USO DE LA TELEDETECCIÓN Y LOS SIG EN DIFERENTES CAMPOS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

Según estudios realizados sobre el uso e implementación de la teledetección en el campo de la agricultura, Garrido-Rubio et al<sup>54</sup>., realizaron la investigación para predecir las necesidades hídricas requeridas de un cultivo de maíz para su trabajo normal con una semana de antelación mediante el uso de la teledetección y la meteorología, donde se lleva un monitoreo constante del cultivo apoyados de series de imágenes multi espectrales, las cuales obtienen valores e índices que son analizados y a su vez de forma lineal trabajan con datos derivados de la temperatura para realizar una predicción y una aplicación adecuada de agua de riego, mejorando así la gestión de explotaciones agrícolas de regadío.

A su vez, Murillas y Londoño<sup>55</sup>, llevaron a cabo una investigación para la estimación de la Evapotranspiración (ET) en cultivos de arroz donde por medio de imágenes suministrada por satélites equipada con sensores remotos, se recopilaron datos del comportamiento del cultivo, los cuales fueron posteriormente analizados y estudiados con algoritmos SEBAL con apoyo de FEDEARROZ logrando estimar las necesidades hídricas de riego y balances de energía, de igual manera con base a mapas obtenidos y a la aplicación de metodologías se consiguió resultados de las estimaciones diarias o a nivel mensual de la Evapotranspiración en cultivos de arroz, todo esto a medida de cálculos parciales y de variables necesarias del balance de energía y necesidades hídricas brutas de riego, por lo cual cada resultado fue comparado con los arrojados con meses anteriores y tener una precipitación, presentaciones y estimaciones cercanos utilizando los métodos recomendados por la FAO.

Así mismo Villacís Sánchez<sup>56</sup>, presentó su investigación en Detección de maleza en el cultivo de caña de azúcar en el ingenio Valdez mediante teledetección, donde se pretendía realizar un software que fuese capaz de recibir las imágenes tomadas por un drone y efectuar una segmentación y así diferenciar y detectar la maleza en cultivos de caña de azúcar, en la cual se demostró por medio de las imágenes tomadas y trabajo de segmentación las diferencias de suelo en la vegetación y a su vez una detección cercana de la maleza por su diferenciación, en lo que se realizó la operación y etiquetado de regiones, operaciones de cierre, detección de bordes y demás cálculos de área de la maleza del cultivo.

De igual manera Sáez Paguay<sup>57</sup>, realizó en el año 2016 un estudio donde busca por medio de nuevos métodos que incluyan el uso de fotografías aéreas y satelitales en diversas bandas del espectro electromagnético, evaluar la evapotranspiración y otros parámetros

---

<sup>54</sup> Garrido-Rubio, J., González Gómez, L., Arellano Alcázar, I., Madurga del Cura, C., Navarro Comalrena de Sobregrau, M.A., López Tapia, J., Calera Belmonte, A., et al. Predicción de las necesidades hídricas con una semana de antelación mediante teledetección y meteorología en la finca experimental del center para cultivos de maíz, 2015. p 1-3.

<sup>55</sup> Murillas Rayo, Andrés, Londoño Cruz, Edward Arley, Estimación de la evapotranspiración en cultivos de arroz con sensores remotos. 2015. p 1-9.

<sup>56</sup> Villacís Sánchez, Daysi Valeria (2017). Detección de maleza en el cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Valdez mediante teledetección. Trabajo de graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Computación Gráfica. Carrera de Ingeniería en Computación Gráfica. Quito: UCE. 68 p.

<sup>57</sup> Sáez Paguay, Miguel Ángel. (2016). Determinación de la evapotranspiración mediante imágenes aéreas en bandas del espectro visible e infrarrojo cercano para cultivos de papa solanum spp. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

que los cultivos puedan presentar, de tal manera buscando ser desarrollado acorde a las condiciones ambientales y fisiológicas con la que cuenta el país de Ecuador, todo esto demostrado por medio de cálculos de evapotranspiración del cultivo multiplicados por la evapotranspiración de referencia (evapotranspiración de la atmósfera) y luego por el coeficiente del cultivo, lo cual presentó resultados similares y logrando mostrar variaciones de los ciclos de desarrollo del cultivo.

En este sentido, Hernández González y Francisco-Bethencourt<sup>58</sup> llamado Estimación de la fertilidad en suelos volcánicos (Tenerife-España) para el cultivo de trigo por medio de teledetección y SIG, en el cual se busca métodos para aumentar la productividad en cultivos de trigo, analizar la disponibilidad y el patrón de nutrientes para determinar los elementos que favorecen y determinan los índices para lograr una predicción de los niveles de fertilidad apoyado de tecnología en cuanto al uso de herramientas analíticas, sistema de información geográfica e imágenes satelitales, por lo que se apoyan en características cuantitativas, realizaron relaciones de parámetros de fertilidad, utilización de variables predictoras estimadas y datos correspondientes al campo, los cuales fueron analizados permitiendo establecer un modelo para la estimación de fertilidad.

Del mismo modo, Lasso Garzón<sup>59</sup> elaboró un trabajo de investigación de Aplicación de tecnologías de percepción remota con cámaras multiespectrales y equipos de vuelo no tripulados en la estimación de condición de cultivos para el Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey, donde se trabaja específicamente en tres cultivos (avena, maíz y chile) y en el cual por medio de una aeronave no tripulada y adaptándole una cámara con infrarrojo se recolectan imágenes que son enviadas a un software llamado ArcMap para la elaboración de mosaicos que permiten junto a los índices calculados y valores de píxeles capturados con el índice de área foliar en campo mejorar las condiciones de los cultivos a los agricultores.

Hernández<sup>60</sup>, muestra su tesis doctoral en la cual desarrolló un sistema de visión artificial, para ubicar por medio de cámaras y sensores la línea del cultivo de maíz y las malas hierbas que están presentes en él, con el fin de poder guiar de manera precisa al tractor para que este no afecte el cultivo al momento de realizar el manejo de las hierbas, todo esto realizado primeramente con una captura de imágenes de alta calidad, luego realizar una segmentación de la imagen tomada logrando así identificar en el cultivo la mala hierba y por último estrategias de identificación precisas de líneas de cultivo aplicando geometría para el control del solapamiento de las zonas del cultivo.

Rodríguez<sup>61</sup> elaboró un trabajo sobre el uso de drones en conjunto con la responsabilidad social empresarial que se aplica desde las organizaciones en el ámbito económico y cultural, partiendo desde la agricultura de precisión en Colombia fomentando la

---

<sup>58</sup> Hernández González, M., & Francisco-Bethencourt, D. 2017 Nov 15. Estimation of fertility in volcanic soils (Tenerife, Spain) on winter wheat using remote sensing and GIS. Spanish Journal of Soil Science. [Online] 7:3

<sup>59</sup> Lasso Garzón, Freddy Xavier. (2015). Aplicación de Tecnologías de Percepción Remota con Cámara Multiespectrales y Equipos de Vuelo no Tripulado en la Estimación de condición de cultivos. (Trabajo de titulación de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Sistemas Ambientales). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. México. 165 p.

<sup>60</sup> Hernández, J.M. Sistema de visión para agricultura de precisión: identificación en tiempo real de líneas de cultivo y malas hierbas en campos de maíz. 2015. P 13.

<sup>61</sup> Alfonso Rodríguez, Maryi Xiolesmy. El uso de drones y su impacto en la responsabilidad social empresarial de la agricultura de precisión en Colombia. 2017.

implementación de drones en diferentes cultivos con el fin de generar mejores beneficios tanto sobre los recursos como en el impacto ambiental, en el cual realizaron programas de formación, capacitación y concientización a los grupos de interés con el fin de brindar y promover buenas prácticas para el desarrollo y conjunto de drones abarcando componentes de RSE para generar compromiso ético y social.

Urbano<sup>62</sup>, presenta un sistema con una red de sensores inalámbricos, con el fin de aplicar agricultura de precisión en cultivos de café en Colombia, en el cual se utilizan los sensores para temperatura y humedad del suelo, temperatura de las hojas, radiación y solar, donde todos estos datos recolectados son enviados a un servidor. Se demostró en trabajo de campo las variables recolectadas por medio de los sensores, la temperatura de las hojas y la radiación solar, donde estaba conectado a un reloj en tiempo real enviando los datos y toda su implementación se realizó en el mismo soporte de una estación climatológica existente abarcando tecnología de red inalámbrica para el aumento y producción de café, además de ser un sistema que utilizaba cantidad de energía mínima apoya y contribuye al ahorro de costos de la cosecha.

Según Lara-Núñez, R. S.; Mares-Ruiz, M. J.<sup>63</sup> realizaron un proyecto encaminado al reconocimiento de patrones en imágenes con un sistema embebido apoyados en Linux y librerías de OpenCv (Biblioteca de algoritmos computacionales), en el cual se realizaron pruebas para el reconocimiento facial y a su vez se realizan pruebas con una señal de tránsito STOP con el algoritmo Cascade Classifier, obteniendo resultados esperados gracias a diferentes imágenes que contaban con variedad de ángulos y tomas.

Contreras Murillo<sup>64</sup> en su tesis denominada la Segmentación de Imágenes de Color Inspirado en la Percepción Humana del Color, donde propone limitar la percepción humana del reconocimiento del color empleando redes neuronales artificiales de tipo competitivas, donde por medio de algoritmos basados en el reconocimiento de los colores en el modelo de espacio de color RGB y HSV se realiza pruebas de identificación en diferentes imágenes con el fin de verificar su desempeño, agrupando imágenes por sus característica de color que se basan en métodos o técnicas principalmente fuzzy C-means (algoritmo) y arrojando resultados positivos, dado a que las redes neuronales no deben ser entrenadas para reconocer cada imagen, sino que tendría una ventaja al ser capaz de reconocer la cromaticidad de los colores.

A si mismo Etxeberria<sup>65</sup> plantea en su tesis llamada Algoritmo de reconocimiento de forma y color para una plataforma robótica, la implementación de un robot equipado con una cámara el cual sea capaz de capturar imágenes y con una configuración se pueda detectar

---

<sup>62</sup> Urbano, F. M. (Agosto de 2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 5(1), 46-52. Recuperado el 02 de Marzo de 2017

<sup>63</sup> Núñez, Laura R. S.; Mares-Ruiz, M. J. (2016). Reconocimiento de patrones en imágenes con un sistema embebido. Trabajo de obtención de grado, Especialidad en Sistemas Embebidos. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.

<sup>64</sup> CONTRERAS MURILLO, Miguel. Segmentación de Imágenes de Color Inspirado en la Percepción Humana del Color. Texcoco, 2016. Tesis de Maestría (Maestro en Ciencias de la Computación). Universidad autónoma del estado de México centro universitario UAEM Texcoco.

<sup>65</sup> ETXEBERRIA, Jon Aristondo. Algoritmo de reconocimiento de forma y color para una plataforma robótica. San Sebastián, 2010. Tesis de Maestría ().Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.

distintos objetos ya sea por la forma del objeto o por el color característico deseado, donde se realizan pruebas con tomas fotográficas a 3 pelotas de tenis que tienen diferentes colores y por medio de algoritmos y métodos de filtros de espacio de color RGB, YUV y HSL se evidencia la identificación deseada de los objetos por medio de su color.

De igual manera Arévalo Vázquez, Zúñiga López, Villegas Cortes y Avilés Cruz<sup>66</sup> en su investigación conocida como la Implementación de reconocimiento de objetos por color y forma en un robot móvil, el cual se buscó por medio de un robot analizar un objeto con base a su color y a su forma por medio del procesamiento de imágenes, por lo cual se explica cómo se realiza la captura de imágenes desde una cámara ordinaria por el cual se realiza un pre-procesamiento aplicando filtros y convertir la imagen a escala de grises al igual apoyados en un filtro gaussiano para suavizar la imagen y eliminar el mayor ruido posible, de igual manera se realiza la segmentación de la imagen filtrada por medio del algoritmo Canny para lograr una imagen binaria que muestre los bordes, luego de tener la imagen binaria se busca el conjunto de coordenadas de los contornos encontrados en la imagen y por último con los contornos encontrados se analiza y se la forma encontrada, pero no obstante se realiza sobre la imagen original se transforma de color RGB al modelo HSV que de igual manera pasa a binaria y se compara con la imagen primeramente resultante para identificar el objeto deseado.

Jiménez González<sup>67</sup>, presenta una investigación llamada Técnicas de percepción activa para seguimiento de objetos mediante robots móviles en entornos urbanos, en el cual demuestra como por medio de un robot dotado de diferentes herramientas puede detectar, seguir o esquivar objetos diferentes de la naturaleza, en lo que explica cómo funcionan los algoritmos de segmentación de color, como de estimación-Maximación basado en mezclas Gaussianas y con espacios de color HSL, que a si vez busca segmentar la imagen en un conjunto de características geométricas de los objetos de la imagen apoyados en librerías de código libre OpenCV, con esto se busca identificar un objeto con su forma y color correspondiente a una imagen aplicando filtros y algoritmos que permitan un resultado de detección de objetos.

Por otra parte Córdova Fraga, Álvarez Gutiérrez, Contreras Gaytán y Gómez Aguilar<sup>68</sup> muestran su proyecto de Procesamiento digital de imágenes con LabVIEW: Aplicación en sistemas biológicos y nanomateriales, donde se busca por medio de algoritmos implementación con operación de filtrado y cuantificación de píxeles, pero apoyados en un entorno de programación conocido LabVIEW, que es utilizado como modelo de utilidad que es capaz de utilizar diferentes algoritmos y con el poder medir, cuantificar, determinar las características, cambios y formas en células obtenidas del fémur de un animal.

---

<sup>66</sup> AREVALO-VAZQUEZ<sup>66</sup>, Efraín Ernesto. ZUÑIGA-LOPEZ, Arturo. VILLEGAS-CORTEZ y Juan. AVILES-CRUZ, Carlos. Implementación de reconocimiento de objetos por color forma en un robot móvil. En: Investigación en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, México, D.F. 2015. pp. 21–31. ISSN 1870-4069

<sup>67</sup> JIMÉNEZ GONZÁLEZ, Adrián. Técnicas de percepción activa para seguimiento de objetos mediante robots móviles en entornos urbanos. 2009. Tesis de Maestría (Master en Robots Móviles). Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingenieros.

<sup>68</sup> CÓRDOVA FRAGA, T., ÁLVAREZ GUTIÉRREZ, J. A., CONTRERAS GAYTÁN, C. R., GÓMEZ AGUILAR, J. F. Procesamiento digital de imágenes con LabVIEW: Aplicaciones en sistemas biológicos y nanomateriales. En: Investigación en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, México, D.F. 2017. pp. 125–130; rec. 2017-05-17; acc. 2017-11-17. ISSN 1870-4069

Teniendo en cuenta la investigación de Laura Murillo<sup>69</sup>, se desarrolló un framework multiplataforma para el procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones basado en HTML5, en el cual se apoyaron en una implementación orientada a objetos, donde se implementaban las características de las imágenes en unas variables las cuales mediante algoritmos de cálculo y procesamiento de matrices se realizan los procesos de detección del color y los datos arrojados son utilizados para localizar patrones y obtención de histogramas de color.

Según Laura Murillo, “Una imagen contiene elementos numéricos matriciales definidos por el ancho y la altura los cuales permiten que nuestros sentidos visuales puedan interpretarlo como una representación pictórica de la realidad. Este elemento matricial es el color, el cual está representado generalmente por el modelo RGB (componentes Rojo, Verde y Azul) que tiene una representación tridimensional en el espacio del color, y como tal es posible aplicar los conceptos de geometría del espacio y en nuestro caso métodos estadísticos de regresión, medias y series de tiempo para optimizar la transición del color y generar la mejor representación gráfica de ellos, se puede generar un histograma y suavizarlo mediante técnicas estadísticas”<sup>70</sup>.

BOTINA, Deivid, et al<sup>71</sup>. Realizo un estudio con el fin de analizar y mejorar las técnicas en el procesamiento de imágenes multi-espectrales para el análisis de tejido biológico, en su mayoría cardiovascular. Describió el sistema multi-espectral como el hardware el cual se divide en 6(seis) partes como son:

- Fuente de luz.
- El arreglo de lentes que coliman la luz
- Filtro
- Muestra
- Cámara
- Computador

El software utilizado es el Zeiss Axioskop (Carl Zeiss Microimaging, Thornwood, NY). El cual concatena las series de imágenes tomadas que forman una sola imagen.

El autor inicia con la descripción de toda la bibliografía encontrada y explicando que se hizo en cada una y que será de utilidad para el proyecto, luego en la etapa experimental realiza se realizan pruebas con dos algoritmos los cuales permiten la descomposición de la imagen obtenida dependiendo de las longitudes de onda que estas emiten, con el fin de obtener mayores características de los tejidos por medio de la agrupación de estas.

---

<sup>69</sup> LAURA MURILLO, Ramiro Pedro. Framework multiplataforma para procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones basado en html5. Puno, 2015. Teses de Maestría (Magister scientiae en informática). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela de postgrado programa de maestría.

<sup>70</sup> Ibid., p. 16

<sup>71</sup> BOTINA, Deivid., et al. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES BIOLÓGICAS: UN CASO DE ESTUDIO EN TEJIDO CARDIOVASCULAR. [En línea]. Armenia. En: Journal of Research of the University of Quindío, 2015, vol. 27, no 1. [Citado: 30/10/2018]. Disponible en: <[http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27\\_61-66.pdf](http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27_61-66.pdf)>.

PEREA, Alberto Jesús, et al<sup>72</sup>. Elaboró una metodología para la clasificación de imágenes aéreas digitales la cual tuvo como base la clasificación tradicionalmente usada para el cálculo del NDVI (índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), mediante la clasificación orientada a objetos, la cual consiste en el análisis del conjunto de píxeles similares que forman un objeto, y así sucesivamente hasta que la imagen ya queda discriminada en objetos y no píxeles, haciendo que las diferencias en cada zona de la misma sean más evidentes, disminuyendo las confusiones causadas normalmente por píxeles semejantes, mínimamente afectados por la reflectancia.

Para su realización el autor utilizó 6(seis) imágenes multi-espectrales de diferentes satélites las cuales fueron codificadas a 16 bits y a diferentes bandas; imágenes que capturaron la superficie de los cultivos sometidos a estudio.

Para este presente proyecto se utilizó el software ERDAS Imagine 9.0 (Leica Geosystems Geospatial Imaging, Norcross, Georgia, EE. UU.), el cual cuenta con un algoritmo que permite la toma de decisiones por medio de inteligencia artificial basado en árboles de decisión, y el software utilizado para la agrupación de los píxeles hasta convertirlos en objetos fue el software eCognition Professional 5.0.

La primera parte del proceso consistió en el tratamiento de la imagen espectral con ayuda de filtros y correcciones, para luego agrupar por medio del software encargado los píxeles y formar un objeto, hasta que finalmente la imagen original quedara dividida en gran cantidad de objetos los cuales fueran analizados de forma coincidente por el software de clasificación de expertos.

Moreno y Salgado<sup>73</sup>, realizaron un estudio el cual consistió en el cálculo de los índices de vegetación NDVI y VARI en un cultivo de maíz, por medio de un dron equipado con una cámara multi espectral y RGB, a fin de identificar zonas del cultivo que se encuentran con deficiencias nutricionales las cuales pueden ser combatidas para aumentar la producción del cultivo y reducir costos en el manejo sanitario del mismo. Para el procesamiento de las imágenes y posterior obtención de los índices de vegetación los autores utilizaron los programas Arcgis, Qgis y DroneDeploy.

---

<sup>72</sup> PEREA, Alberto Jesús., Et al. Algorithms of Expert Classification Applied in Quickbird Satellite Images for Land Use Mapping. Chilean J. Agric. Res. [Online]. 2009, vol.69, n.3, pp.400-405. [Cited: 28/10/2018] Available in: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392009000300013&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392009000300013&lng=es&nrm=iso)>.

<sup>73</sup> MORENO TORO, Alexander; SALGADO POLO, Edisson. Análisis de cultivo de maíz para ensilaje utilizando imágenes desde un UAV. Manizales, 2019. Tesis (Especialista en Información Geográfica). Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

## 5. METODOLOGÍA

### 5.1 TIPO DE TRABAJO

Este proyecto corresponde a una Investigación explicativa, la cual de acuerdo a Hurtado de Barrera<sup>74</sup>, busca comprender el por qué y cómo de distintos fenómenos, llegando a conocer causas y explicaciones a algunas situaciones analizadas, por el cual se parte desde el conocimiento en los cultivos de banano y en entender detalladamente las enfermedades y deficiencias que en estos ocurren, partiendo de porque ocurren o cómo puede un cultivo verse afectado por estos factores, generando una mejor comprensión a una situación analizada.

En él se incluirán aspectos de las disciplinas de sistemas de información geográfica, fitopatología, informática, inteligencia artificial.

El proyecto está avalado por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones en su línea Geomática...

### 5.2 PROCEDIMIENTO

**5.2.1 Fase 1. Identificación de las manifestaciones sintomatológicas, en las hojas de banano, de las diversas etapas de la enfermedad y deficiencia.** Se parte de una revisión bibliográfica de los antecedentes de proyectos que se hicieron y que se están realizando en el presente, con el fin de poder utilizar las herramientas ya existentes y prevenir errores ya solucionados, y donde además se pudo evaluar las falencias que han podido tener y el valor agregado que brinda el presente proyecto.

· **Actividad 1. Revisión y documentación de bibliografía.** Para la ejecución de la siguiente actividad se procedió con la investigación rigurosa de los proyectos similares que se han realizado o se encuentran en ejecución; para ellos se acudió al buscador de Google Académico y bases de datos científicas a fin de tener en cuenta solamente documentos científicos que han sido elaborados en los últimos 5 años. Además de esto se realizó investigación en la región con docentes pertenecientes al SENA o Universidades de la ciudad, con los cuales se pudo establecer que proyectos se encuentran actualmente en proceso o fueron elaborados en las entidades anteriormente mencionadas.

· **Actividad 2. Identificación de las características de plantas y focos con la afectación.** Fue necesario luego de la primera visita al cultivo y de una entrevista con el administrador del mismo, el cual nos indicó a grandes rasgos las características fitopatológicas presentadas para la época, realizar el cronograma de visitas donde se indica la frecuencia de los recorridos y los instrumentos a utilizar en las mismas.

En las primeras semanas del segundo semestre del 2018 se inició con el cronograma de visitas, dentro de las cuales se contó con la presencia del docente adscrito a la facultad de ciencias e ingeniería de la Universidad de Manizales Omar Antonio Vega y el Ingeniero

---

<sup>74</sup> HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. Metodología de la investigación, guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas Ciea-Sypal, 2010

Agrónomo Dennis Santana de la Alcaldía del municipio de Chinchiná, con los cuales se recorrió el cultivo para conocer las enfermedades y deficiencias que padecía éste y así ir sectorizando e identificando las zonas afectadas para poder guardar registro fotográfico de la evolución de las mismas en las plantas contaminadas.

Gracias al acompañamiento de las personas antes mencionadas y la gran bibliografía consultada, se pudieron identificar en los recorridos enfermedades tales como: Mal de panamá, Moko, Erwinia, sigatoka y deficiencia de potasio en su mayoría, de las cuales en el Anexo metodología se podrán observar sus respectivos registros fotográficos y sus principales características.

Como estaba indicado en el cronograma de visitas, cada fin de semana se realizaron registros fotográficos con una cámara profesional (ficha técnica en el Anexo metodología) de manera terrestre, con el propósito de identificar características de hojas y plantas afectadas. De todas estas visitas se obtuvo un compendio de imágenes desde una gran variedad de ángulos y con diferentes lentes de la cámara, fotografías que fueron realizadas por la diseñadora gráfica Yesenia Moreno y las cuales reposan en el Anexo metodología.

La necesidad de realizar un recorrido aéreo más detallado al cultivo llevo a solicitar el préstamo de los drones con que cuenta la facultad de ingeniería de la Universidad de Manizales, además del acompañamiento de su piloto Jonathan Vallejo. Previamente en compañía del director del proyecto se hizo el respectivo análisis de las zonas en las cuales se realizarían los sobrevuelos teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Zonas en donde las plantas no hayan iniciado su vida productiva.
- Zonas en donde las plantas ya estén en su etapa productiva.
- Zonas más sanas del cultivo.
- Zonas de mayor incidencia y afectación de enfermedades y deficiencias.

Luego de la coordinación con el director del proyecto, piloto del dron y estudiantes se programó la visita para el 29 de septiembre de 2018, mediante la cual se realizaron recorridos a diferentes alturas específicamente a 3 zonas del cultivo en un lapso de tiempo de 2 horas y 30 minutos, de las cuales se tienen como características, por ejemplo: en un vuelo de 8 minutos a una altura de 58 metros el dron capturo 92 fotografías, todas estas especificaciones reposan en el Anexo metodología.

Luego de la recolección fotográfica, fue necesario iniciar con la consulta bibliográfica de los modelos y procedimientos para el procesamiento de imágenes, tema de vital importancia, siendo la principal herramienta para el análisis de las imágenes capturadas.

Se consultó gran variedad de autores y modelos, analizando el costo que pudiese tener dicho procesamiento y comparando las ventajas que cada uno de ellos brinda, además de la adaptabilidad que tendría en cultivos de banano.

**5.2.2 Fase 2. Identificación de las condiciones de obtención de imágenes aéreas por medio de NDVI con la utilización de imágenes satelitales para los cultivos de banano en zonas de ladera.** Fue necesario conocer de manera precisa el entorno del cultivo, para

establecer las condiciones para la captura de la imagen y en qué condiciones se pueden utilizar, y que variables se deben tener en cuenta si en algún caso se desea realizar un sobre vuelo al cultivo con un vehículo aéreo no tripulado.

· **Actividad 1. Reconocer el entorno del cultivo.** Inició el primer semestre del año 2018, donde se eligió la finca el Rosario ubicada en el peaje las pavas de acceso a Chinchiná-Caldas vía autopista del café, la cual cuenta con un cultivo de banano iniciando su vida productiva (Aproximadamente 14.5 meses), plantío que cuenta con algo más de 37.000 plantas, y que fue sembrado en los primeros meses del año 2017.

En la primera visita realizada, en la cual se contó con la presencia del Director del proyecto Jonathan Vallejo adscrito a la facultad de ingeniería de la Universidad de Manizales, encargado del pilotaje del drone propiedad de dicha universidad el cual cuenta con la ficha técnica que se evidencia en el anexo metodología. En ésta se realizó un sobrevuelo del cultivo para conocer su topografía, límites y demás características del mismo, durante el sobrevuelo se realizaron tomas fotográficas aéreas a gran parte del cultivo (Anexo metodología).

La vereda el Rosario cuenta según la Alcaldía de Manizales<sup>75</sup>, con una temperatura promedio de 20° centígrados, piso térmico entre 1000 – 2000 m.s.n.m y topografía escarpada ondulada. El cultivo se ubica en la unidad de suelo 10 o unidad Chinchiná, tiene como característica principal en su material las cenizas volcánicas, que son en su mayoría ácidas y de grano medio. En la tabla 2 se recoge la información del perfil típico de este tipo de suelos.

**Tabla 2.** Perfil típico de suelos unidad de suelo Chinchiná.

Capa	Espesor Cm.	Textura	Estructura	Estabilidad	Color	PH	Observaciones
I	0 – 40	FL	Granular	Muy alta	Negro	5,5	Alto contenido de materia orgánica
II	40 – 50	FL	Granular	Muy alta	Marrón	5,5	
III	50 - X	FA fino	Granular	Muy alta	Pardo amarillento	5,2	Presencia de Krotovinas y hierro

Fuente: CENICAFÉ. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná: Cenicafé, 1975. P. 220.

· **Actividad 2. Revisión y documentación de las diferentes opciones tecnológicas (tipo de cámara, tipo de vehículo, lentes, accesorios y satélite) para la captura u obtención de la fotografía aérea.** Se realizó la revisión y posterior documentación de las herramientas utilizadas para la obtención de las imágenes espectrales y RGB. El listado y la descripción

<sup>75</sup> ALCALDÍA DE MANIZALES. Capítulo 1. Suelo. Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales. Diagnóstico Integral del Territorio. Área rural. [en línea]. Alcaldía de Manizales. Manizales. 2007, p. 4. [Fecha de consulta: 12/07/2020]. Disponible en: <<https://manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201505192047291914.pdf>>

de herramientas necesarias para la obtención de imágenes aéreas por medio de un vehículo aéreo no tripulado quedaron registrados en el documento denominado Anexo metodología.

Mediante el desarrollo del presente proyecto, se determinó usar imágenes satelitales, ya que por su aplicación y combinación de bandas espectrales permiten una ejecución apropiada para el cálculo de NDVI, estas imágenes fueron descargadas de un host gratuito llamado Earth Explorer del servicio Geológico de los Estados Unidos, del cual se descargaron imágenes tipo Landsat 8, ya que por sus 11 bandas permiten amplias posibilidades de combinación permitiendo generar gran cantidad de información.

Se eligió el sitio Earth Explorer por su facilidad y sencillez para buscar y descargar imágenes satelitales, el cual tiene una amplia forma de interactuar con los datos y descargar variedad de tipo de imágenes, además de permitir descargar imágenes con fechas específicas.

· **Actividad 3. Análisis y documentación de las condiciones adecuadas para la captura de la imagen.** Teniendo en cuenta que la página Earth Explorer permite aplicar varios criterios para la búsqueda y descarga de imágenes satelitales, se buscaron imágenes relacionadas a las fechas en que se realizaron visitas de trabajo de campo a la finca ubicada en el municipio de Chinchiná, estas imágenes satelitales tienen fechas del, 30/07/2018, 15/08/2018, 16/09/2018, 02/10/2018, 03/09/2019 y 16/01/2020; Se descargaron imágenes preferiblemente con baja nubosidad, con el fin de aplicar mejor la detección de elementos en las imágenes quitando objetos no necesarios para el cálculo de NDVI.

### **5.2.3 Fase 3. Revisión, análisis y documentación de los programas informáticos para la geo localización y procesamiento de las imágenes de los focos de la enfermedad.**

Gracias a la extensa consulta bibliográfica realizada y a la consulta del mercado en cuanto a los programas informáticos a utilizar en el presente proyecto se logró identificar los posibles programas con los que se podrá realizar los mapas con la respectiva geo localización.

· **Actividad 1. Socialización de las necesidades computacionales e informáticas del proyecto.** Luego de las visitas realizadas y de estudiar a fondo las diferentes imágenes a manipular, el entorno del cultivo, el tipo de mapa que se desea crear y las demás variables que puedan afectar la elaboración del proyecto se logró establecer que se hace necesario la utilización de los siguientes programas:

- Software para la elaboración de los mapas.
- Software para el procesamiento de los datos.
- Software para la visualización de la información.

· **Actividad 2. Análisis y documentación de las herramientas informáticas para el tratamiento de las imágenes.** Se utilizó la herramienta Arcmap 10.7 la cual fue suministrada por la facultad de ingeniería de la Universidad de Manizales con la cual se podía realizar procesamiento de imágenes. Se procede a realizar la carga de un mapa base para ubicar visualmente el lote o terreno de trabajo del proyecto y se busca la finca deseada.



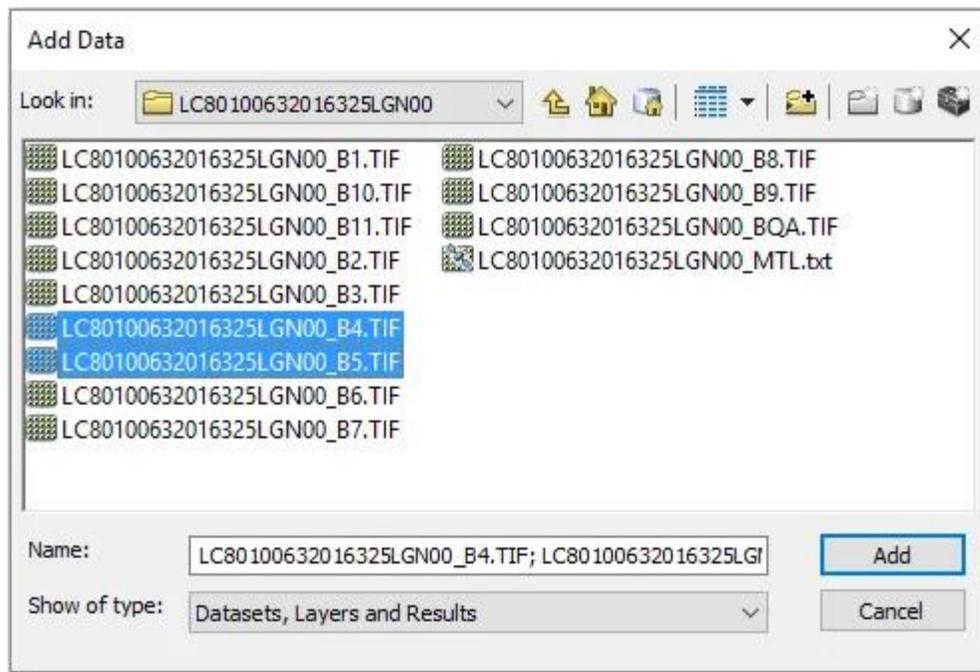
**Figura. 4** Ubicación de la finca

Luego de ubicar la finca, se realiza un shape file tipo polígono para tener el contorno y área del terreno.



**Figura.5** Área de la finca

Luego de tener ubicada la finca y de tener descargadas las imágenes satelitales, se descomprimen los archivos permitiendo visualizar las diferentes capas espectrales de la imagen, se realiza la carga en Arcmap de las capas 4 y 5 con la opción Add data.



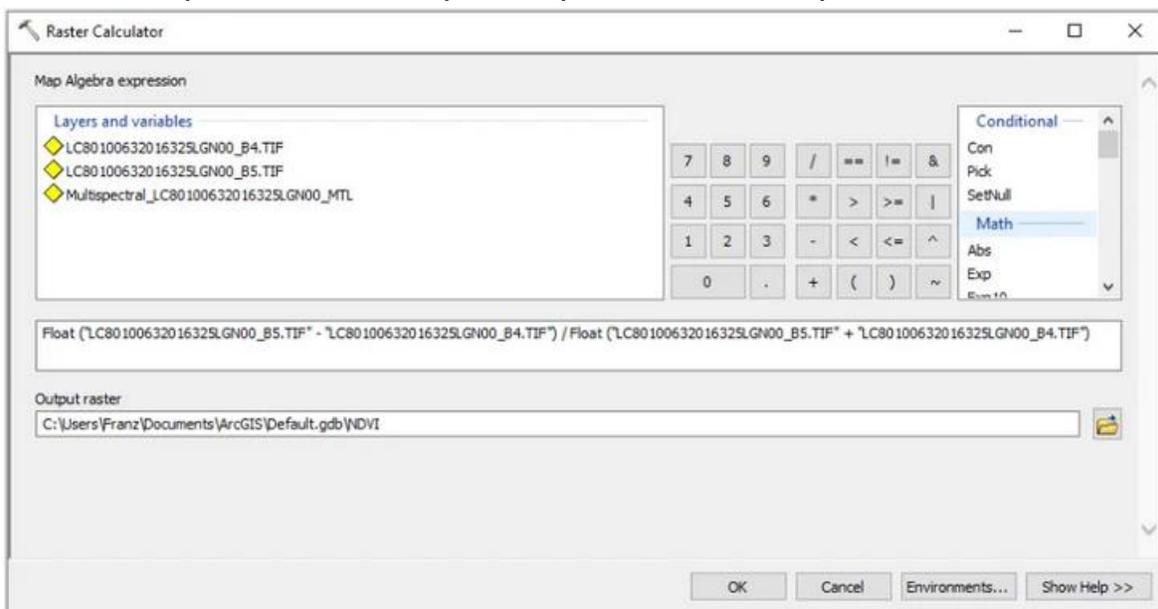
**Figura.6** Carga de datos

Una vez cargadas las bandas, desde la caja ArcToolbox, abrir la siguiente herramienta:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator

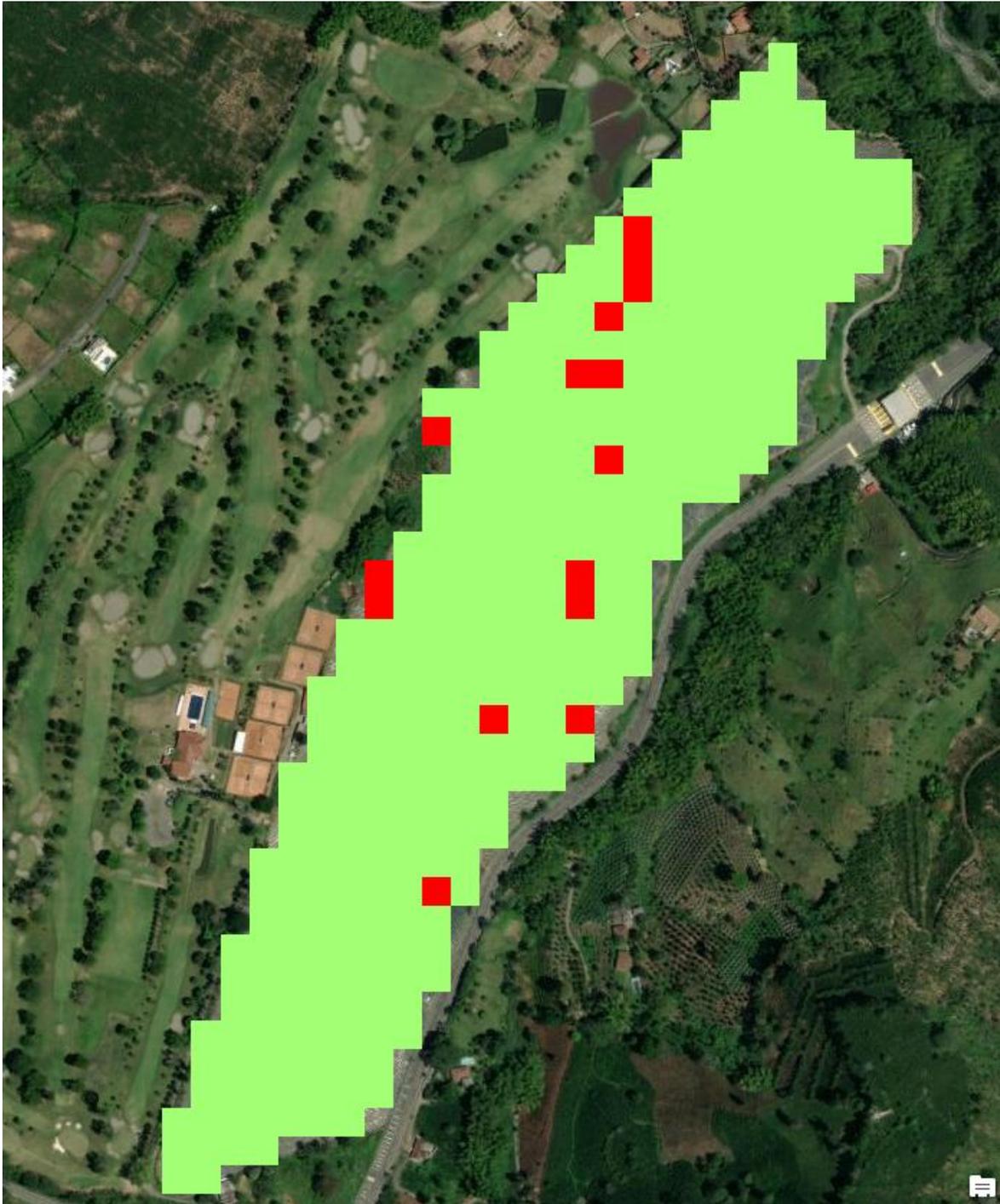
Para obtener los valores NDVI en imágenes Landsat 8 usando ArcGIS se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = \text{Float}(\text{banda 5} - \text{banda 4}) / \text{Float}(\text{banda 5} + \text{banda 4})$$



**Figura.7** Raster calculator

El resultado es una imagen ráster que contiene valores que van desde -1 a 1 (siendo los valores más cercanos a 1 la vegetación más vigorosa). Generalmente la imagen del NDVI se muestra en una escala de grises, para dar un aspecto más agradable y de fácil interpretación, se elige la opción propiedades del ráster y seleccionar una paleta de colores en la pestaña de simbología (clic derecho > Properties > Symbology).



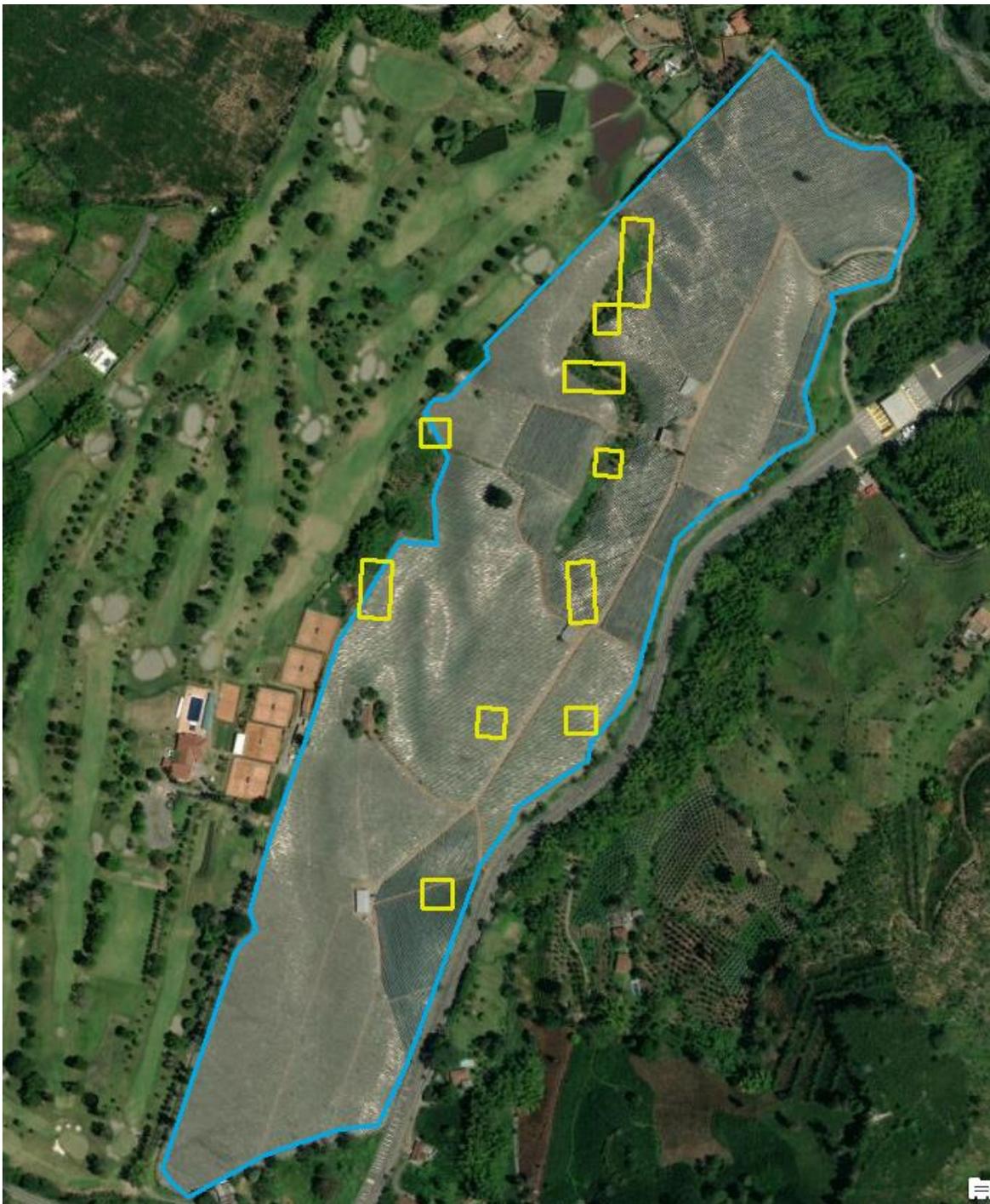
**Figura.8** Calculo NDVI (Índice de Vegetación Diferencial Normalizado)

Luego se realiza la ubicación de las plantas enfermas de acuerdo al NDVI previamente calculado, este proceso se realiza por medio de un shape file tipo punto para ubicar las zonas afectadas en el terreno.



**Figura.9** Ubicación de zonas afectadas.

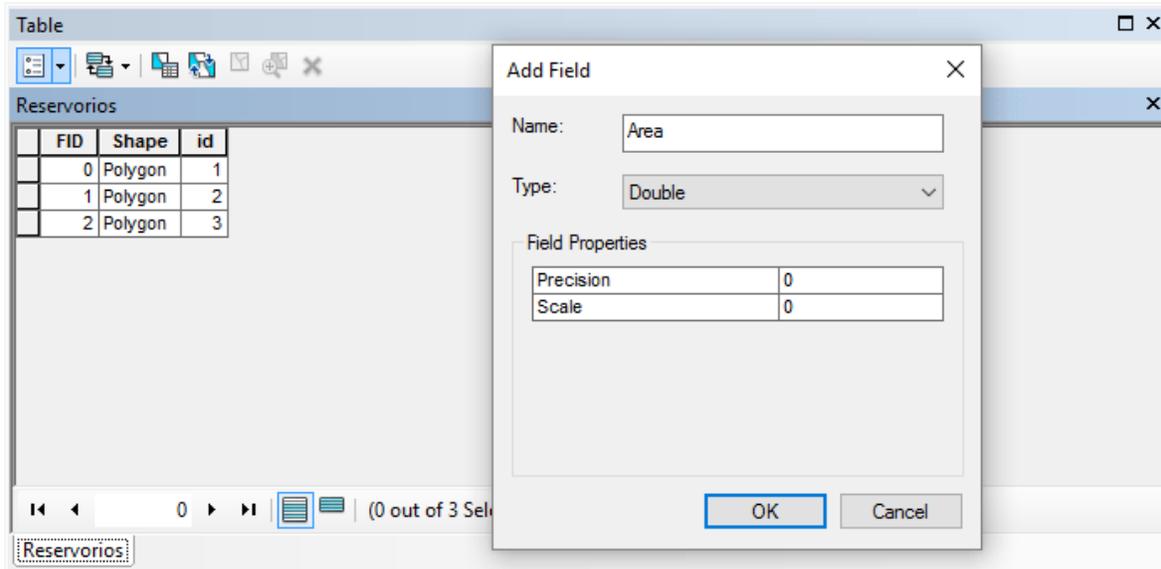
De acuerdo al NDVI calculado, se realiza un shapefile tipo polígono para identificar las áreas de las zonas afectadas.



**Figura. 10** Tamaño de áreas afectadas.

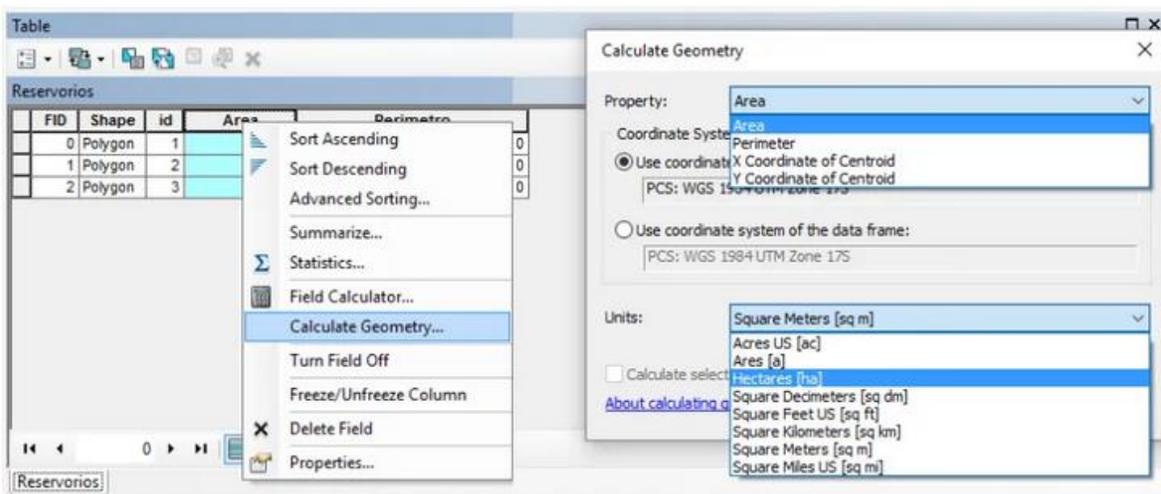
Luego de tener los polígonos de las áreas afectadas se procede a realizar una tabla de datos para calcular el área de cada polígono, para este proceso se selecciona la capa que

tiene los polígonos de las áreas de los focos afectados y con clic derecho se elige la opción **Open Attribute Table** para abrir la tabla de atributos. En **Table Options** se selecciona **Add Field**. Se asigna un nombre (Área), y en **Type** selecciona **Double** y acepta los cambios.



**Figura. 11** Crear campo Área.

Después, se da clic derecho en el encabezado del campo requerido (Área) y selecciona la herramienta **Calculate Geometry**. Se selecciona la propiedad geométrica (**Área**), el sistema de coordenadas y las unidades (**ha**) que desee utilizar.



**Figura. 12** Calcular Área.

Luego de tener el tamaño del área de los polígonos, se repite el paso anterior y se crea el campo Cantidad\_plantas y se le aplica la siguiente fórmula para calcular la cantidad aproximada de plantas afectadas en cada foco identificado.

Formula= Área / (Distancia entre surco \* Distancia entre plantas)

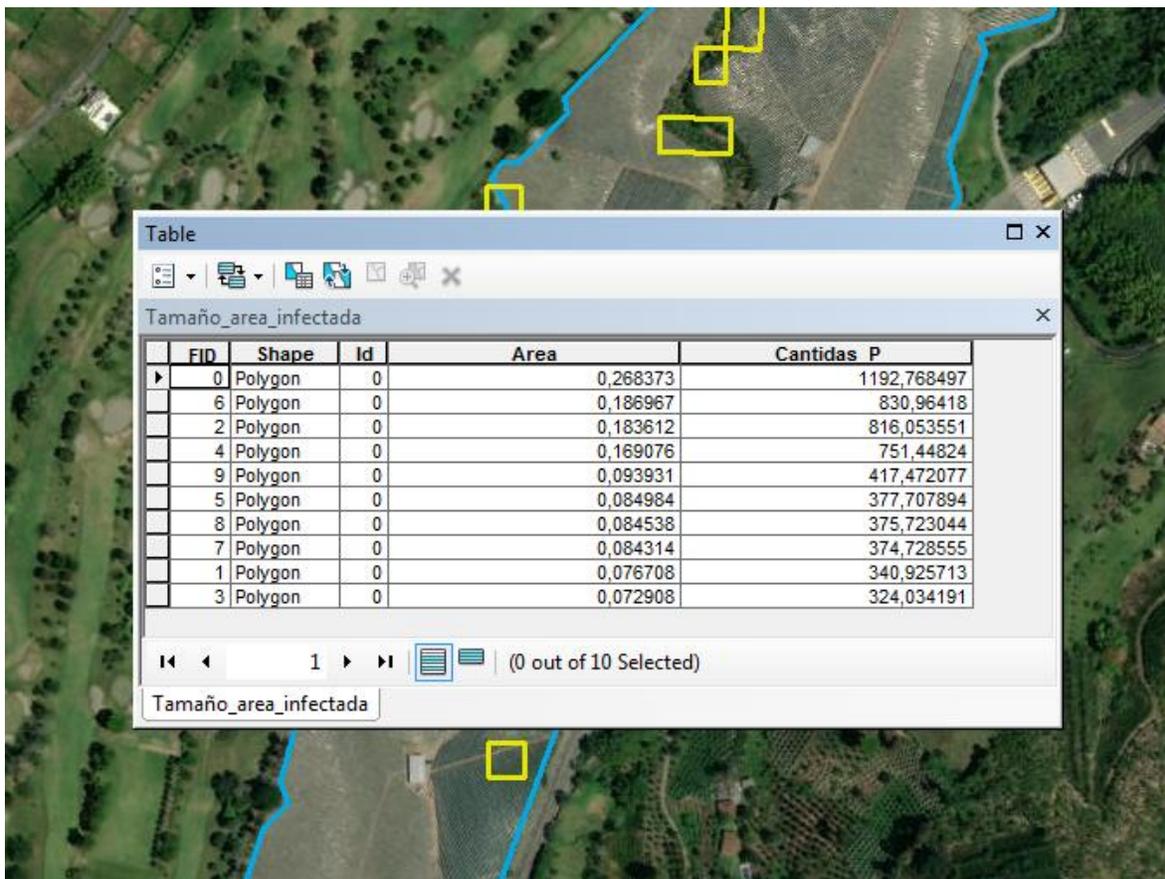


Figura.13 Cantidad aproximada de plantas afectadas.

**5.2.4 Fase 4. Diseño e implementación de un sistema de información geográfica para la visualización de los mapas.** De nada sirve tener información incomprendible para el usuario, es por esto que se construyó un sistema de información geográfica en línea para la visualización de la información obtenida, el cual permite la correcta interacción entre el usuario y la información de su cultivo.

- **Actividad 1. Diseño de la aplicación informática integradora.** Debido a que el procesamiento de las imágenes satelitales es realizado por medio del software licenciado ArcGIS y gracias a las diferentes herramientas que éste brinda, se buscó una opción que facilitará el intercambio de información entre la aplicación de escritorio y la información visible en internet. Por ello se empleó una arquitectura toda del software Arcgis en la cual se realiza el procesamiento de las imágenes satelitales en la aplicación de escritorio, se envían las diferentes capas a un mapa en Arcgis online y éste a su vez es publicado en el portal arcgis Hub, que es la aplicación de Arcgis que permite entregar a un usuario final información geográfica o de diferentes tipos.

- **Actividad 2. Construcción de la aplicación informática.** Como ya fue mencionado para la construcción de la aplicación informática fue empleada la herramienta de Arcgis llamada

Arcgis Hub. Para ello se utilizó la cuenta de Arcgis licenciada de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Manizales dentro de la cual se creó el portal “teledetección en Banano”, el cual contiene información que se consideró la columna vertebral en la elaboración del presente proyecto, además de contar con el resultado obtenido en forma de mapas del cálculo del NDVI en diferentes capas. Dicha información será mencionada a continuación:

- Ficha técnica de las enfermedades y deficiencias nutricionales más destacadas en cultivos de banano y plátano.
- Descripción de los antecedentes más relevantes obtenidos en el proceso investigativo.
- El mapa con las capas de la ubicación de zonas afectadas con NDVI, límites del cultivo, tamaño de los polígonos o de las zonas de afectación y capa con las etiquetas donde se muestra información de la cantidad de plantas afectadas por sitio.
- Galería de imágenes capturadas con diferentes cámaras durante la realización del proyecto.
- Sitios de interés de las entidades competentes para descargar mapas satelitales, temas legales en agricultura, y páginas con información sobre la botánica de éste tipo de cultivos y el tratamiento de afectaciones que éste padezca.

El portal brinda además una plantilla totalmente personalizable que requiere el manejo de conceptos en lenguaje de etiquetas o programación web, dicha plantilla permite manejo de videos, campos de texto, enlaces a diferentes páginas, imágenes, galería de datos para el tratamiento de mapas o nuevos sitios dentro del portal, entro otras.

**- Actividad 3. Realización de las respectivas evaluaciones y ajustes de la aplicación.**

Para garantizar la calidad del producto obtenido se realizaron las siguientes pruebas dentro y fuera del sistema de información geográfica:

- Cálculo del NDVI en imágenes satelitales descargadas de diferentes sitios pero de la misma zona geográfica.
- Comparación de la información obtenida del cálculo del NDVI en el Arcgis Desktop con la publicada en el Arcgis Online.
- Verificación de la estabilidad y visualización de la herramienta SIG en diferentes dispositivos.
- Validación con el administrador del cultivo sobre las zonas que registra afectada el software.
- Análisis de las imágenes obtenidas con un ingeniero agrónomo.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Luego de realizar el procesamiento de la imagen satelital del cultivo se obtiene como resultado una imagen ráster que contiene valores que van desde -1 a 1 (siendo los valores más cercanos a 1 la vegetación más vigorosa). Generalmente la imagen del NDVI se muestra en una escala de grises, con lo cual se debe asignar una paleta de colores para su correcta identificación.

En la imagen resultante, se obtuvieron 10 zonas del cultivo afectadas en su NDVI, con tamaños aproximados entre 0.07 a 0.26 ha. Teniendo identificados el tamaño de las áreas afectadas fue posible calcular la cantidad aproximada de plantas afectadas por foco, para lo cual fue necesario la utilización de la siguiente formula:

**Cantidad plantas = Área / (Distancia entre surco \* Distancia entre plantas)**

### 6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego del procesamiento de las imágenes satelitales y de obtener el mapa de calor con las zonas del cultivo cuyo NDVI de las plantas se encuentra afectado, se evidencia coherencia en los datos obtenidos al constatar con el administrador del cultivo y determinar que las zonas allí mencionadas presentan alguna afectación de enfermedades o deficiencias. Lo anterior mencionado, aunque no es concluyente para determinar el tipo de afectación que presenta el cultivo si permite al agricultor un panorama más claro para la toma de decisiones en cuanto a labores fitosanitarias del cultivo y la distribución del personal dentro del mismo.

Cabe mencionar que aunque se logró establecer gracias al tamaño de los focos afectados la cantidad aproximada de plantas que se encuentran en los sitios señalados en el mapa con NDVI, el agricultor con el análisis visual podrá establecer que tan grave es la afectación y las medidas a tomar en dicha zona; pero la estadística que se puede observar dentro del mapa generado en el sistema de información geográfica permite un mejor manejo administrativo del cultivo en cuanto a proyecciones futuras y estado del cultivo.

## 7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de la bibliografía consultada, y de los resultados obtenidos en el presente estudio, el equipo de trabajo considera que se logran obtener las siguientes conclusiones:

- Por medio del software ArcGIS se logra un mejor procesamiento y aprovechamiento de imágenes satelitales y de sus diferentes bandas.
- Aunque es posible establecer la zona afectada en su NDVI no es posible determinar a qué se debe la afectación de la misma.
- En cultivos de banano de pequeñas extensiones la inclusión de la agricultura de precisión ha sido poca, por lo que se considera una gran oportunidad para el desarrollo de proyectos futuros.
- El procesamiento de imágenes satelitales resulta más económico para cultivos con extensiones pequeñas, además permite el análisis de varios cultivos cercanos en una misma imagen.
- Ya que las enfermedades foliares padecidas por las plantas de banano presentan manifestaciones similares en cuanto a color se refiere, y además algunas de estas en su etapa inicial están dispersas en partes mínimas en las hojas, se considera pertinente descartar metodologías como el reconocimiento de imágenes RGB el cual se centra solo en la manipulación por medio de tres colores fundamentales y el porcentaje de los mismos en la imagen, limitando la discriminación de la imagen en sus diferentes componentes, y además de esto no muestra una clara solución a la afectación de luz que pueda sufrir la imagen.

## **8. RECOMENDACIONES**

Aunque el procesamiento y cálculo de NDVI por medio de imágenes satelitales reduce costos, el procesamiento de esta imagen resulta más lento debido a que el tamaño de la imagen es muy grande, por lo que se podrá considerar la opción de la obtención de imágenes espectrales a partir de un vehículo aéreo no tripulado las cuales además permitirán hallar por ejemplo el tipo de afectación que tiene la planta.

Gracias a la bibliografía consultada es recomendable a la hora de realizar proyectos de teledetección en cultivos, capturar imágenes por medio de cámaras espectrales, ya que permiten interceptar las emisiones de ondas producidas por las plantas de manera temprana, es decir antes que las afectaciones sean evidentes aún en las hojas, permitiendo una mejor prevención y mitigación de la enfermedad en sus inicios; Aunque es importante mencionar que los costos son más elevados.

## BIBLIOGRAFÍA

Aeronáutica civil de Colombia. Circular reglamentaria N° 002. Requisitos generales de aeronavegabilidad y operaciones para RPAS (Numeral 4.25.8.2). Septiembre 2015.

AGRONEGOCIOS. Producción local de banana. Febrero 2020. [En línea]. Disponible en: <<https://www.agronegocios.co/agricultura/la-produccion-local-banano-supero-las-100-millones-de-cajas-al-cierre-de-2018-2827238>>

ALARCÓN, John Jairo, & JIMÉNEZ, Yaneth. Manejo fitosanitario del cultivo del Plátano (*Musa spp.*) Medidas para la temporada invernal. Bogotá (Colombia): Instituto Colombiano Agropecuario. ICA. P. 47. ISBN 00-09-52-12.

ALARCÓN-RESTREPO, John Jairo. Enfermedades en la producción de Heliconias en los departamentos de Caldas, Risaralda y Quindío. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 15 No.1. p 45-61. 2007. ISSN: 0568-3076.

ALCALDÍA DE MANIZALES. Capítulo 1. Suelo. Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales. Diagnóstico Integral del Territorio. Área rural. [En línea]. Alcaldía de Manizales. Manizales. 2007, p. 86. [Fecha de consulta: 12/07/2020]. Disponible en: <<https://manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201505192047291914.pdf>>

ALFONSO RODRÍGUEZ, Maryi Xiolesmy. (2017). El uso de drones y su impacto en la responsabilidad social empresarial de la agricultura de precisión en Colombia. Trabajo de grado (Especialista en Alta Gerencia). Universidad militar nueva granada, Facultad de estudios a distancia. Especialización en alta gerencia. Bogotá D.C., Colombia.

ALMODÓVAR, Wanda., & DÍAZ, Manuel. Identificación y manejo de sigatoka negra y otras enfermedades de plátano y guineo [en línea] Puerto, Rico. US: Servicio de Extensión Agrícola. Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. 2008. [30/08/2018]. Disponible en: <[http://academic.uprm.edu/walmodovar/HTMLobj-276/Manual\\_ID\\_y\\_MIP\\_de\\_SN\\_y\\_Enferm\\_Plat\\_y\\_Guineo.pdf](http://academic.uprm.edu/walmodovar/HTMLobj-276/Manual_ID_y_MIP_de_SN_y_Enferm_Plat_y_Guineo.pdf)>

ALVAREZ, Elizabeth, et al. Estado del arte y opciones de manejo del Moko y la Sigatoka negra en América Latina y el Caribe. Cali, Colombia: Centro internacional de agricultura tropical, 2013. 40 p. ISBN: 978-958-694-123-5.

ANAYA, Jesús Andrés y VALENCIA, German Mauricio. Fenología de ambientes tropicales en el marco de la teledetección. En: GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. No 13\_2 (2013); P 192-211. ISSN: 1778-5157

ARENAS, Adriana, et al. Efecto de prácticas ecológicas sobre la población de *Ralstonia solanacearum* Smith, causante de Moko de plátano. En: fitopatología colombiana. Cali, Colombia. 2004. Vol. 28, No.2. ISSN 0120-0143.

AREVALO-VAZQUEZ, Efraín Ernesto. ZUÑIGA-LOPEZ, Arturo. VILLEGAS-CORTEZ y Juan. AVILES-CRUZ, Carlos. Implementación de reconocimiento de objetos por color forma en un robot móvil. En: Investigación en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, México, D.F. 2015. pp. 21–31. ISSN 1870-4069

BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L. El cultivo del Plátano (*Musa ABB Simomonds*) en el trópico. Armenia (Colombia): Instituto Colombiano Agrícola.1991. P. 376. ISBN: 09-31-050-91.

BOLAÑOS, Luciano Martínez. Ficha técnica No.2. Mal de Panamá *Fusarium oxysporum f. sp. Cubense* raza 4 Schlecht. México: Laboratorio nacional de referencia epidemiológica fitosanitaria, 2013. 25 p. ISBN: 978-607-715-115-9.

BOLAÑOS, Luciano Martínez. Moko del plátano. *Ralstonia solanacearum* raza 2 Smith. México: Laboratorio nacional de referencia epidemiológica fitosanitaria, 2013. 24 p. ISBN: 978-607-715-115-9.

BOTINA, Deivid., et al. Adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales biológicas: un caso de estudio en tejido cardiovascular. [En línea]. Armenia. En: Journal of Research of the University of Quindío, 2015, vol. 27, no 1. [Citado: 30/10/2018]. Disponible en: <[http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27\\_61-66.pdf](http://blade1.uniquindio.edu.co/uniquindio/revistainvestigaciones/adjuntos/pdf/3c27_61-66.pdf)>.

BOTINA, Deivid., et al. Adquisición y procesamiento de imágenes multiespectrales biológicas: un caso de estudio en tejido cardiovascular. [En línea]. Armenia. En: Journal of Research of the University of Quindío, 2015, vol. 27, no 1. [Citado: 30/10/2018].

CASTELLANOS-GALEANO, Francisco Javier., & ÁLVAREZ-BARRETO, Cristina Inés. MUSÁCEAS, INVESTIGACIÓN CON PROPÓSITO. En: Vitae, Vol. 23, no supl 1. Revista Dinero. Las frutas se abren paso en el mundo. [En línea]. En: Revista Dinero. Bogotá D.C – Colombia 2018. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<https://www.dinero.com/edicion-impres/pais/articulo/exportacion-de-frutas-colombianas-en-2018/258606>>

CENICAFÉ. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná: Cenicafé, 1975.

CÓRDOVA FRAGA, T., ÁLVAREZ GUTIÉRREZ, J. A., CONTRERAS GAYTÁN, C. R., GÓMEZ AGUILAR, J. F. Procesamiento digital de imágenes con LabVIEW: Aplicaciones en sistemas biológicos y nanomateriales. En: Investigación en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Departamento de Electrónica, México, D.F. 2017. pp. 125–130; rec. 2017-05-17; acc. 2017-11-17. ISSN 1870-4069

Corporación Autónoma Regional De Caldas. Resolución No. 004. 28 de Junio de 2012.

CONTRERAS MURILLO, Miguel. Segmentación de Imágenes de Color Inspirado en la Percepción Humana del Color. Texcoco, 2016. Tesis de Maestría (Maestro en Ciencias de la Computación). Universidad autónoma del estado de México centro universitario UAEM Texcoco.

Comisión nacional de crédito agropecuario. Resolución No. 16 de 2017. 08 de octubre de 2007.

Dirección general de Aviación civil. Resolución No 251/2015. Septiembre 2015.

DITA, M., ECHEGOYÉ, et al. Plan de contingencia ante un brote de la raza 4 tropical de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ubense* En un país de la región del OIRSA. OIRSA, San Salvador, El Salvador. 2013. 155p.

El TIEMPO. El banano sigue abriéndose a nuevas áreas comerciales. Las apuestas de los productores son conseguir diferentes mercados y más proyectos agroindustriales. Agosto 2018. [En línea]. Disponible en: <<https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-banano-sigue-abriendose-a-nuevas-areas-comerciales-261202>>

ETXEBERRIA, Jon Aristondo. Algoritmo de reconocimiento de forma y color para una plataforma robótica. San Sebastián, 2010. Tesis de Maestría ().Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial.

EVORA JIMENEZ, Ernesto. Sistema de procesamiento de imágenes NIR e IR aéreas para agricultura de precisión. Santa Clara, 2016, 71 p. Tesis Doctoral (Especialidad en Ingeniería en Automática). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales.

FAO 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Análisis del mercado del banano. Panorama general de febrero de 2020. Roma 2020. [En línea]. Disponible en: <<http://www.fao.org/3/ca9212es/ca9212es.pdf>>

FAO 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Análisis del Mercado del Banano 2018. Roma 2020. [En línea]. Disponible en: <<http://www.fao.org/3/ca5626es/CA5626ES.pdf>>

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La Sigatoka negra en plátano y banano. Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. Julio 2013. [En línea]. Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/019/as089s/as089s.pdf>>

FLÓREZ, Camilo Andrés Cáceres., et al. Procesamiento de imágenes para reconocimiento de daños causados por plagas en el cultivo de *Begonia semperflorans* (flor de azúcar). En: Acta Agronómica, Bogotá. vol. 64, no 3 2015; p. 273-279. ISSN 0120-2812

GARRIDO-RUBIO, J.; GONZÁLEZ GÓMEZ, L.; ARELLANO ALCAZAR, I.; MADURGA DEL CURA, C.; NAVARRO COMALRENA DE SOBREGRAU, M.; LÓPEZ TAPIA, J.; CALERA BELMONTE, A. Predicción de las necesidades hídricas con una semana de antelación mediante teledetección y meteorología en la finca experimental del center para cultivos de maíz. En XXXIII congreso nacional de riegos. Valencia 16-18 Junio de 2015. Editorial

Universitat Politècnica de Valencia. doi:10.4995/CNRriegos.2015.1496 ISBN: 9788490483749

GONZÁLEZ-ARIAS, Gloria, et al, DIAGNÓSTICO DE VIRUS VEGETALES A NIVEL DE GRUPO EN EL CULTIVO DEL PIMIENTO (CAPSICUM ANNUUM L.) MEDIANTE LA TÉCNICA DE MICROSCOPIA ÓPTICA. [En línea]. En: Fitosanidad. Vol.6, No.3 (Septiembre, 2008). ISSN: 1562-3009. [Fecha de consulta: 31 de octubre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=209118292001>>

GONZÁLEZ, Adrián, et al. Drones Aplicados a la Agricultura de Precisión. En: Publicaciones e Investigación. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia., vol. 10(2016), p. 23-37. ISSN 1900-6608 e 2539-4088.

GUERRERO, Mauricio. Guía técnica curso taller: Manejo integrado del cultivo de plátano. Universidad Nacional Agraria La Molina. Huancayo-Junín, Perú, 2011.

HAIFA GROUP - specialty plant nutrition solutions. Recomendaciones nutricionales para banana. 2015. [En línea]. Disponible en: < <https://www.haifa-group.com/es/recomendaciones-nutricionales-para-banano>>.

HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, M., & BETHENCOURT, Francisco, D. 2017 Nov 15. Estimation of fertility in volcanic soils (Tenerife, Spain) on winter wheat using remote sensing and GIS. Spanish Journal of Soil Science. [Online] 7:3

HERNÁNDEZ GONZÁLEZ, María Mercedes, FRANCISCO BETHENCOURT, Desiderio Alberto, (2017), Estimación de la fertilidad en suelos volcánicos (Tenerife, España) para el cultivo de trigo por medio de teledetección y SIG. En: Spanish Journal of Soil Science, Vol 7 No. 3 (2017). ISSN: 2253-6574

HERNÁNDEZ, José Miguel. Sistema de visión para agricultura de precisión: identificación en tiempo real de líneas de cultivo y malas hierbas en campos de maíz. Madrid, 2015, P 13. Tesis doctoral (Memoria para optar al grado de doctor). Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Informática. Departamento de Ingeniería de Software e Inteligencia Artificial.

HOYOS-LEYVA, Javier Darío, et al. Caracterización física, morfológica y evaluación de las curvas de empastamiento de musáceas (Musa spp.). En: Sistema de información científica Redalyc. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. Acta Agronómica, vol. 61, núm. 3, 2012; p. 214-229. ISSN: 0120-2812

HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. Metodología de la investigación, guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas Ciea-Sypal, 2010

Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 2398. 31 de mayo de 2011.

Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 3002. 28 de Abril de 2017.

Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 3330. 22 de julio de 2013.

INSTITUT TECHNIQUE TROPICAL. Manejo de las sigatokas del Banano. 2014. [En línea]. Disponible en: <[http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC\\_IT2\\_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses\\_ESP\\_BD1.pdf](http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC_IT2_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses_ESP_BD1.pdf)>

JIMÉNEZ GONZÁLEZ, Adrián. Técnicas de percepción activa para seguimiento de objetos mediante robots móviles en entornos urbanos. 2009. Tesis de Maestría (Master en Robots Móviles). Universidad de Sevilla. Escuela Técnica Superior de Ingenieros.

LAURA MURILLO, Ramiro Pedro. Framework multiplataforma para procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones basado en html5. Puno, 2015. Teses de Maestría (Magister scientiae en informática). Universidad Nacional del Altiplano Puno, Escuela de postgrado programa de maestría.

LASSO GARZÓN, Freddy Xavier. (2015). Aplicación de Tecnologías de Percepción Remota con Cámara Multiespectrales y Equipos de Vuelo no Tripulado en la Estimación de condición de cultivos. (Trabajo de titulación de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Sistemas Ambientales). Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. México. 165 p.

LOPÉZ-CARDONA, Nathali, et al. Evaluación de incidencia y pérdidas ocasionadas por virus que afectan cultivos de plátano y banano (*Musa spp.*) en la zona central cafetera. En: Revista Agronomía. Manizales: Universidad de Caldas. Vol. 22 No.1. p 22-35. 2014. ISSN: 0568-3076.

MANZO-SÁNCHEZ, Gilberto, et al. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa sp.*). En: Revista mexicana de fitopatología, México. Vol.32, No 3, (2008); p. 96-97. ISBN 0185- 3309.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. Resolución No. 2017. 02 de Octubre de 2017.

MORENO-MENA, Jorge M. Identificación y manejo integrado de PLAGAS en banano y plátano Magdalena y Urabá Colombia. Medellín (Colombia): CEP. 2009. 63 p. ISBN 978-958-99167-0-4

MORENO TORO, Alexander; SALGADO POLO, Edisson. Análisis de cultivo de maíz para ensilaje utilizando imágenes desde un UAV. Manizales, 2019. Tesis (Especialista en Información Geográfica). Universidad de Manizales. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

MURILLAS RAYO Andrés, LONDOÑO CRUZ Edward Arley, Estimación de la evapotranspiración en cultivos de arroz con sensores remotos. Santiago de Cali, 2014, Trabajo de grado (Ingeniero Topográfico). Universidad del Valle, Escuela de ingeniería civil y geomática, Facultad de ingeniería.

NÚÑEZ, LAURA R. S.; MARES-RUIZ, M. J. (2016). Reconocimiento de patrones en imágenes con un sistema embebido. Trabajo de obtención de grado, Especialidad en Sistemas Embebidos. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.

OROZCO-Santos, M., GARCÍA-Mariscal, K., MANZO-Sánchez, G., Guzmán-González, S., Martínez-Bolaños, L., Beltrán-García, M., Garrido-Ramírez, E., Torres-Amezcu, J.A. y Canto-Canché, B. 2013. La sigatoka negra y su manejo integrado en banano. Libro Técnico

Núm. 1. SAGARPA, INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Tecomán. Tecomán, Colima, México. 152 p.

PLÁTANO DEL QUINDÍO. Enfermedades del fruto y del follaje del plátano [En línea]. En: Portal plátano del Quindío. Armenia-Quindío 2010. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2010/09/enfermedades-del-follaje-y-del-fruto.html>>

PLÁTANO DEL QUINDÍO. Deficiencias nutricionales. Noviembre 2014. [En línea]. Armenia-Quindío 2014. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencias-nutricionales.html>>.

PORTAL, Orelvis, et al. Comportamiento del Virus del Estriado del Banano en plantas propagadas in vitro de los cultivares de Musa híbridos FHIA 20 y FHIA 21. [En línea]. En: Biotecnología Vegetal. Cuba: Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Vol. 4, no 3 (julio-septiembre, 2004); p 177-181. ISSN: 2074-8647. Fecha de la cita: 31 de octubre de 2018] Disponible en: <<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/435/403>>.

PEREA, Alberto Jesús., Et al. Algorithms of Expert Classification Applied in Quickbird Satellite Images for Land Use Mapping. Chilean J. Agric. Res. [Online]. 2009, vol.69, n.3, pp.400-405. [Cited: 28/10/2018] Available in: <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-58392009000300013&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392009000300013&lng=es&nrm=iso)>.

QUIROLA LEÓN, Giovanny Stevens. Mitigación del impacto ambiental en el sector bananero con la implementación de drones para la aerotomización. Machala, 2015, 33 p. trabajo de titulación (análisis de casos). UTMACH. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Unidad académica de ciencias agropecuarias.

QUIROLA, L & STEVENS, G. Mitigación del impacto ambiental en el sector bananero con la implementación de drones para la aerotomización. 2017.

RODRÍGUEZ Alfonso, Maryi Xiolesmy. El uso de drones y su impacto en la responsabilidad social empresarial de la agricultura de precisión en Colombia. 2017.

SÁEZ PAGUAY, Miguel Ángel. (2016). Determinación de la evapotranspiración mediante imágenes áreas en bandas del espectro visible e infrarrojo cercano para cultivos de papa solanum spp. Trabajo de grado (Biofísico). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Facultad de ciencias, Escuela de física y matemática.

SIMBIOTI-K. La Sigatoka amarilla en banano. Diciembre 2016. [En línea]. Disponible en: <<http://www.simbiotik.com/la-sigatoka-amarilla-del-banano/>>

SOLIS ROSALES, Adalberto. EL CULTIVO DE PLÁTANO (Género musa) EN MÉXICO. México, 2018. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo en Horticultura). Universidad autónoma agraria "Antonio Navarro", División de Ingeniería, Ingeniería Agronómica en horticultura.

TORRADO-JAIME, M., & CASTAÑO-ZAPATA, J. (2008). Incidencia y severidad de las sigatokas negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet) y amarilla (*Mycosphaerella musicola* Leach et Mulder) del plátano según los estados fenológicos. *Agronomía Colombiana*, 26(3), 435-442. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11475/12121>

URBANO-MOLANO, F. A. (2013). Redes de Sensores Inalámbricos Aplicadas a Optimización en Agricultura de Precisión para Cultivos de Café en Colombia. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, Vol.5, No.1, 46-52. 2013. ISSN 2145-2628.

VALERO UBIERNA, Constantino; NAVAS GRACIA, Luis Manuel; GONZÁLEZ HERRERO, Fernando; GÓMEZ GIL, Jaime; RUIZ, Gonzalo; BARREIRO ELORZA, Pilar; ANDÚJAR SÁNCHEZ, Dionisio; DIEZMA IGLESIAS, Belén; BAGUENA ISIEGAS, Eva y GARRIDO IZARD, Miguel. *Ahorro y eficiencia energética en la Agricultura de Precisión*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2010. 106 p. ISBN 978-84-96680-51-7.

VILLACÍS SÁNCHEZ, Daysi Valeria, CAMPUZANO NIETO, Gonzalo Bayardo (2017). Detección de maleza en el cultivo de caña de azúcar en el Ingenio Valdez mediante teledetección. Trabajo de graduación, previo a la obtención del Título de Ingeniera en Computación Gráfica. Carrera de Ingeniería en Computación Gráfica. Quito: Universidad Central de Ecuador. 68 p.

VIVAS CANTERO, Fulvio Yesid; CORRALES, Juan Carlos; RAMÍREZ GONZÁLEZ, Gustavo Adolfo. Aproximación a un modelo contextual para la calidad de datos en agricultura de precisión. *En: Revista Ingenierías*. Medellín: Universidad de Medellín. Vol. 15, No 29 (2016); p. 100-111. ISSN 1692-3324

**ANEXO A  
ANEXO METODOLOGÍA**

**CONTENIDO**

	<b>Pág.</b>
1. UBICACIÓN CULTIVO	2
2. FICHA TÉCNICA DE LOS INSTRUMENTOS UTILIZADOS	2
3. RECONOCIMIENTO PRIMERA VISITA	3
4. RECONOCIMIENTO DE ENFERMEDADES DEL CULTIVO	4
5. EVIDENCIA DE LAS VISITAS SEMANALES	9
6. EVIDENCIA RECORRIDO AÉREO 29 DE SEPTIEMBRE DE 2018	12
BIBLIOGRAFÍA	19

## 1. Ubicación cultivo.

Finca el Rosario ubicada en el peaje las pavas de acceso a Chinchiná-Caldas vía autopista del café, cuenta con un cultivo de banano iniciando su vida productiva (Aproximadamente 14.5 meses), plantío que a vez tiene algo más de 37.000 plantas. Ver figura 1.



**Figura 1.** A. Ubicación satelital del predio. B. Fotografía aérea del cultivo de banano.

## 2. Ficha técnica de los instrumentos utilizados.

### Mavic Pro de DJI

- 27 MINS Tiempo de vuelo
- 7 KM Rango de control
- 65 KM/H Velocidad
- 3-axis Gimbal
- 4K Resolución de Vídeo
- 12 MP Cámara resolución
- 5 sensores visuales y una cámara de 4K

### Inspire

- Modelo: T600
- Peso: 6.27 lbs
- Velocidad máxima controlable Parcela: 120 ° / s Pan: 180 ° / s

### Cámara

- Nombre: X3
- Modelo: FC350
- Píxeles totales: 12.76M
- Píxeles efectivos: 12.4M
- Rango de altitud: 5-500 cm

### Cámara Profesional EOS Rebel T5i

- Tipo  
Cámara digital réflex de lentes intercambiables AF/AE con flash integrado

- Medios de grabación  
Tarjeta SD, tarjeta SDHC, tarjeta de memoria SDXC.
- Formato de imagen  
Aprox. 22.3 mm x 14.9 mm (APS-C)
- Lente compatible  
Lentes Canon EF (incluye las lentes EF-S)
- Base del lente  
Base Canon EF
- Tipo  
Sensor CMOS
- Píxeles  
Píxeles efectivos: aprox. 18.0 megapíxeles
- Unidad de píxel  
4.3  $\mu\text{m}$  cuadrados
- Total de píxeles  
Píxeles totales: aprox. 18.50 megapíxeles
- Relación de aspecto  
3:2 (Horizontal: Vertical)
- Sistema de Filtro de Color  
Filtros de colores primarios RGB
- Filtro de paso bajo  
Posición fija en la parte frontal del sensor de imagen

### 3. Reconocimiento primera visita.

Se realizó con el fin de conocer las características topográficas del cultivo, además de conocer el estado del cultivo, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Capturas realizadas en la primera visita.

Descripción	Imagen
<p>Las primeras tomas aéreas se realizaron a la mayor altura posible con el fin de reconocer algunos de los límites del cultivo, las demás fotografías fueron capturadas a diferentes alturas para identificar con qué nivel de detalle es posible observar desde</p>	

el aire hojas y plantas con alguna enfermedad.	
--	--

#### 4. Reconocimiento de enfermedades del cultivo.

En las tablas 2 a la 6 se evidencian las enfermedades halladas en la visita realizada en compañía del director del proyecto Omar Vega y el agrónomo Dennis Santana al cultivo de la finca el Rosario, además se indica la sintomatología normalmente presentada según diferentes autores.

Tabla 2. Foco de mal de panamá en cultivo de la finca el Rosario.

<b>Mal de Panamá</b>	
<p><b>Sintomatología</b>          Los primeros síntomas externos se hacen visible en las hojas adultas con un amarillamiento de afuera hacia adentro, hasta terminar con un amarillamiento en toda la planta y secamiento total de la misma. Si se presenta la enfermedad antes que la planta de su fruto, cuando éste sale es de un tamaño demasiado pequeño imposibilitando su desarrollo; cabe mencionar que en plantas pequeñas es poco común la contaminación por Mal de Panamá aunque se han visto algunos casos.</p>	 <p>A) Planta de aproximadamente cuatro (4) meses con gran avance de <i>f. oxysporum</i>. B) misma planta contaminada, pero con fotografía realizada con diferente iluminación. C) imagen ilustrativa sobre contaminación delseudotallo por <i>f. oxysporum</i>.</p>

Tabla 3. Afectación por Moko en el cultivo.

<b>Moko</b>	
-------------	--

### Sintomatología

Según Belalcázar<sup>76</sup> en las plantas pequeñas, las hojas manifiestan un amarillamiento intenso y secamiento en su borde iniciando de la hoja más joven (Bandera), hacia las hojas adultas. Según lo indica Manzo-Sánchez, G et al<sup>77</sup>. La primera, segunda y tercera hoja más joven se torna de color verde amarillento y eventualmente se fractura en o arriba de la unión del pecíolo y la lámina. Las hojas más viejas (las más bajas) también se marchitan y se fracturan rápidamente. Cuando la planta se encuentra consumida en su totalidad se puede observar el marchitamiento y doblamiento de sus hojas.



A) Planta de banano a punto de bellotear con gran avance de Moko. B) Muerte de hoja principal (bandera) en banano. C)seudotallo de color más pálido debido a la afectación por Moko.

Tabla 4. Evidencia de ataque de sigatoka en el cultivo.

<b>Sigatoka amarilla</b>	
Sintomatología	

<sup>76</sup> BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L. El cultivo del Plátano (Musa ABB Simomonds) en el trópico. Armenia (Colombia): Instituto Colombiano Agrícola.1991. P. 281. ISBN: 09-31-050-91.

<sup>77</sup> MANZO-SÁNCHEZ, Gilberto, et al. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (Musa sp.). En: Revista mexicana de fitopatología, México. Vol.32, No 3, (2008); p. 96-97. ISBN 0185- 3309.

Los estados de la enfermedad son:

**Estado 1.** Pequeño punto amarillo o raya de color verde claro que aparece en el haz de las hojas.

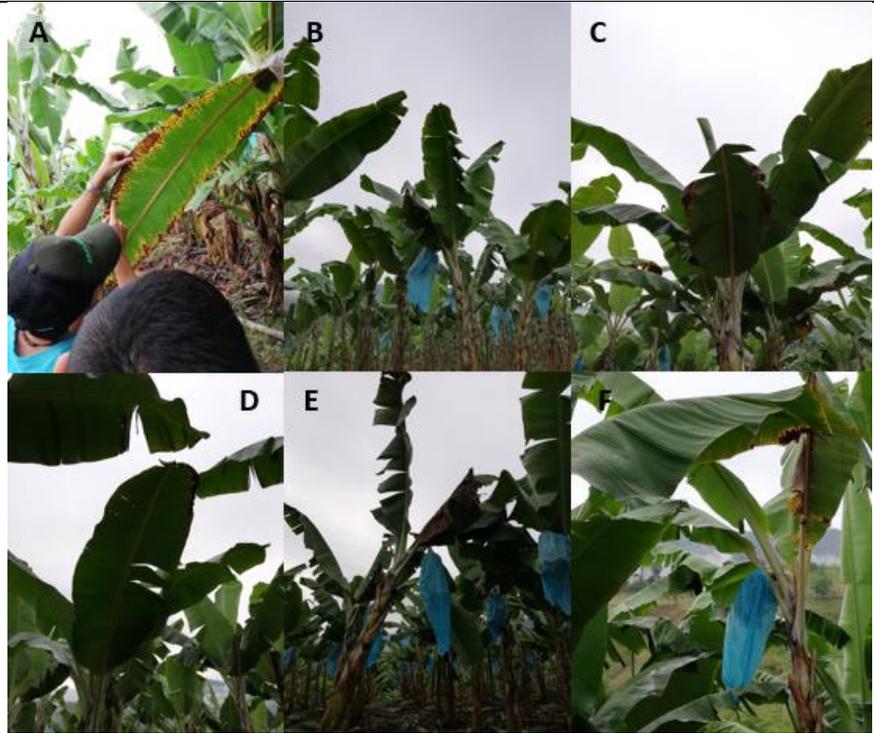
**Estado 2.** Los puntos se estiran en rayas amarillas de 3-4 mm; etapa óptima para el tratamiento.

**Estado 3.** Las rayas se extienden transformándose en manchas, el centro toma un color rojizo.

**Estado 4.** La mancha llega a su tamaño final (12-15 mm por 2-5 mm) y está rodeada por una zona amarilla. En el centro es de color café oscuro u negro.

**Estado 5.** La zona central de la mancha se seca y adquiere un color grisáceo bordeado de negro y rodeado por un halo amarillo. La lesión se llama necrosis. A esta etapa aparecen las ascosporas que serán diseminadas por el viento.

Todo lo anterior según lo indica Institute Technique Tropical<sup>78</sup>



A) Hoja con afectación en un 50% por sigatoka B) Planta en etapa productiva con poca cantidad de hojas a causa de la sigatoka C) Planta joven con afectación en hojas adultas. D) Hoja con afectación aproximadamente en un 15%. E) Planta con afectación casi total de la enfermedad. F) Foco afectado por sigatoka.

<sup>78</sup> Institute Technique Tropical. Manejo de las sigatokas del Banano. 2014. [En línea]. Disponible en: <[http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC\\_IT2\\_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses\\_ESP\\_BD1.pdf](http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC_IT2_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses_ESP_BD1.pdf)>

Tabla 5. Célula causante de la Erwinia, además de la evidencia de planta afectada por dicha enfermedad.

<p><b>Erwinia</b></p>	
<p><b>Agente causante</b>                  Reino: Bacteria                  Filo: Proteobacteria                  Clase:                  Gammaproteobacteria                  Orden:                  Enterobacteriales                  Familia:                  Enterobacteriaceae                  Género: Erwinia                  Especie: Erwinia chrysanthemi p.v</p>	<div data-bbox="651 411 1263 892" data-label="Image"> </div> <p>A célula de la misma cepa B) La misma célula expuesta al ácido fosfotúngstico.</p>
<p><b>Factores favorables</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sequía</li> <li>• Deficiencia nutricional</li> </ul>	

**Sintomatología**

Enfermedad que solo se hace visible en las hojas cuando se encuentra en un estado avanzado, las cuales presentan un amarillamiento de abajo hacia arriba, además de doblamiento al inicio del peciolo según Arango y Fernández<sup>79</sup>.

Las primeras manifestaciones se ven reflejadas en el seudotallo, debido a que se torna de color pálido y cuando está más avanzada la enfermedad el color se va tornando castaño oscuro por franjas. Según Belalcazar<sup>80</sup>.



Planta con marchitamiento, secamiento y pudrición del seudotallo a causa de Erwinia.

Fuente: ALCORN, Stanley M., et al. Taxonomy and pathogenicity of *Erwinia cacticida* sp. Nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 1991, vol. 41, no 2, p. 197-212.

Tabla 6. Evidencia y sintomatología de deficiencia de potasio.

<b>Potasio</b>	
<b>Sintomatología</b>	
Según Plátano del Quindío <sup>81</sup> , los síntomas generales por deficiencia de Potasio se presentan cuando la hoja se seca y se torna en forma de	

79 ARANGO-BERNAL, Luis G. & FERNANDEZ-BORRERO, Octavio. Chinchiná (Colombia): Cenicafé, 1984. No. 119. ISSN 0120 – 0178.

80 BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L. El cultivo del Plátano (*Musa ABB Simmonds*) en el trópico. Armenia (Colombia): Instituto Colombiano Agrícola.1991. P. 285-286. ISBN: 09-31-050-91.

81 Plátano del Quindío. Deficiencia de potasio. Noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-potasio.html>>.

un pico de loro, se quiebran y se caen los frutos, se torna un color amarillento (amarillo caterpillar) en la punta el cual va avanzando hacia la base y se presenta en las hojas más avanzadas



A) Primeras manifestaciones de deficiencia de potasio. B) Afectación en un 20% de la deficiencia de potasio en plantas jóvenes. C) Hojas con bordes afectados en diferentes plantas por deficiencia de potasio D) Amarilla miento de hoja principal (bandera) por la deficiencia. E) Planta joven con marchitamiento y amarilla miento por la deficiencia.

### 5. Evidencia de las visitas semanales.

Al momento de ubicar una característica de afectación por enfermedad en la planta, se realizaron diferentes capturas fotográficas con diferentes lentes y contrastes como se muestra en la tabla 7, con el fin de analizar qué tanto incide la luz en las capturas y con qué grado de detalle se puede detectar la enfermedad.

Tabla 7. Comparativo de imágenes capturadas con diferente configuración de lente.

Cámara en modo automático	Cámara en modo manual (alteración de contraste)





### 6. Evidencia recorrido aéreo 29 de septiembre de 2018

Fueron cuatro los sobrevuelos que se realizaron en tres zonas del cultivo que pueden ser observadas en la figura 2. Tres de los cuales se ejecutaron con el dron Mavic Pro y el último fue efectuado con el Inspire, además dichos drones fueron configurados para realizar capturas automáticas cada 5 segundos a diferentes alturas. Ver tabla 8.



Figura 2. Zonas del cultivo sobrevoladas.

Tabla 8. Características técnicas de los vuelos con su respectiva captura.

Zona	Dron	Altura vuelo (metros)	Tiempo aprox (min)	Captura
1	Mavic pro	35	2,30	
2	Mavic pro	35	5	
3	Mavic pro	35	8	

				
3	Inspire	56	6	

## BIBLIOGRAFÍA

ALCORN, Stanley M., et al. Taxonomy and pathogenicity of *Erwinia cacticida* sp. Nov. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 1991, vol. 41, no 2, p. 197-212.

ARANGO-BERNAL, Luis G. & FERNANDEZ-BORRERO, Octavio. Chinchiná (Colombia): Cenicafé, 1984. No. 119. ISSN 0120 – 0178.

BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L. El cultivo del Plátano (*Musa ABB Simomonds*) en el trópico. Armenia (Colombia): Instituto Colombiano Agrícola.1991. P. 281. ISBN: 09-31-050-91.

BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L, Op. cit., P. 285-286.

Institute Technique Tropical. Manejo de las sigatocas del Banano. 2014. [En línea]. Disponible en: [http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC\\_IT2\\_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses\\_ESP\\_BD1.pdf](http://www.it2.fr/wp-content/uploads/2014/11/DOC_IT2_2014-Fiche-manuel-BGM-n1-Cercosporioses_ESP_BD1.pdf)

MANZO-SÁNCHEZ, Gilberto, et al. Enfermedades de importancia cuarentenaria y económica del cultivo de banano (*Musa sp.*). En: Revista mexicana de fitopatología, México. Vol.32, No 3, (2008); p. 96-97. ISBN 0185- 3309.

PLÁTANO DEL QUINDÍO. Deficiencia de potasio. Noviembre 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencia-de-potasio.html>.

## **ANEXO Z RESUMEN ANALÍTICO**

Título del proyecto	Geolocalización fitosanitaria a partir de fotografías aéreas por medio de índice de diferencia normaliza (NDVI) en banano
Autor(es)	SUÁREZ BOHÓRQUEZ, Sergio Srsuarez9@gmail.com URQUIJO GUTIÉRREZ, Jhonnatan Tatayjhon1092@hotmail.com
Presidente	VALLEJO CARDONA, Johnatan jvallejoc@umanuzales.edu.co Magíster, Docente, Universidad de Manizales
Tipo de documento	Trabajo de grado
Referencia documento	SUÁREZ-BOHÓRQUEZ, Sergio & URQUIJO-GUTIÉRREZ, Jhonnatan. Geolocalización fitosanitaria a partir de fotografías aéreas por medio de índice de diferencia normalizado (NDVI) en banano. Manizales, 2020. Designación de trabajo de grado (Ingeniero de sistemas y telecomunicaciones). Universidad de Manizales. Ciencias e Ingeniería.
Institución	Ingeniería de Sistemas y Telecomunicaciones, Ciencias e ingeniería, Universidad de Manizales
Palabras claves	Agricultura de precisión, control fitosanitario, dron, enfermedad foliar, NDVI.
Descripción	El presente proyecto pretende contribuir al mejoramiento de la calidad de los cultivos de banano, que se ha visto seriamente afectada debido a los métodos de detección de enfermedades y deficiencias convencionales que practican los agricultores. Dicho método consiste en el recorrido y análisis visual del plantío, el cual es poco efectivo ya que la planta de banano al ser de gran altura dificulta la visualización de su parte más alta (hoja bandera), que es donde hace visible los primeros síntomas de la enfermedad.

El objetivo principal del proyecto es la geo localización de focos de enfermedades y deficiencias en banano, a partir de la utilización del NDVI de imágenes aéreas obtenidas de un satélite, para facilitar la toma de decisiones en cuanto al manejo agronómico y administrativo.

Con el primer sobrevuelo al cultivo se pretende ir conociendo las zonas más afectadas para geo referenciarlas en un mapa satelital, el cual permite elaborar un cronograma de acción en donde se planea la frecuencia con que se va a recorrer la parcela y que zonas van a ser prioridad. Esto ofrecerá al agricultor un claro panorama para la toma de decisiones, podrá ser más preciso al elegir el agroquímico utilizar o que control fitosanitario realizar. Cabe mencionar que gracias a que se tienen identificadas las zonas más afectadas no será necesario aplicar dichos controles a todo el cultivo por lo que se reducirán los costes de mantenimiento del mismo.

#### Fuentes

- BELALCÁZAR-CARVAJAL, Silvio L. El cultivo del Plátano (Musa ABB Simomonds) en el trópico. Armenia (Colombia): Instituto Colombiano Agrícola.1991. P. 376. ISBN: 09-31-050-91.
- ALMODÓVAR, Wanda., & DÍAZ, Manuel. Identificación y manejo de sigatoka negra y otras enfermedades de plátano y guineo [en línea] Puerto, Rico. US: Servicio de Extensión Agrícola. Colegio de Ciencias Agrícolas. Universidad de Puerto Rico. 2008. [30/08/2018]. Disponible en: <[http://academic.uprm.edu/walmodovar/HTMLobj-276/Manual\\_ID\\_y\\_MIP\\_de\\_SN\\_y\\_Enferm\\_Plat\\_y\\_Guineo.pdf](http://academic.uprm.edu/walmodovar/HTMLobj-276/Manual_ID_y_MIP_de_SN_y_Enferm_Plat_y_Guineo.pdf)>
- GUERRERO, Mauricio. Guía técnica curso taller: Manejo integrado del cultivo de plátano. Universidad Nacional Agraria La Molina. Huancayo-Junín, Perú, 2011.
- PLÁTANO DEL QUINDÍO. Deficiencias nutricionales. Noviembre 2014. [En línea]. Armenia-Quindío 2014. [Fecha de la cita: 30/08/2018]. Disponible en: <<http://www.platanodelquindio.com/2014/11/deficiencias-nutricionales.html>>.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. La Sigatoka negra en plátano y banano. Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar. Julio 2013. [En línea]. Disponible en:<<http://www.fao.org/docrep/019/as089s/as089s.pdf>>.

## Contenido

El presente documento cuenta con área problemática en la cual se identifican y describen las falencias presentadas específicamente en cultivos de banano y se plantea el enunciado problema a solucionar, en los objetivos se describen el objetivo general y los específicos, más adelante se describe la justificación del proyecto donde se muestra la novedad presentada, las personas que podrían mostrar interés en el proyecto y que utilidad brindara el mismo.

Dentro del marco teórico se describen los conceptos necesarios para contextualizar el entorno de este tipo de proyectos, las normativas que le rigen y los antecedentes realizados por diferentes autores aplicados a diferentes cultivos.

Además de relatar la metodología utilizada para la construcción del proyecto, se pueden observar la descripción de los resultados, discusión sobre los mismos, las conclusiones a las cuales se llegó, finalizando con unas recomendaciones a la hora de abordar este tipo de proyectos.

Por último se presenta la bibliografía consultada y los anexos que hacen parte del proyecto.

## Metodología

Este proyecto corresponde a una Investigación explicativa, la cual de acuerdo a Hurtado de Barrera<sup>82</sup>, busca comprender el por qué y cómo de distintos fenómenos, llegando a conocer causas y explicaciones a algunas situaciones analizadas, por el cual se parte desde el conocimiento en los cultivos de banano y en entender detalladamente las enfermedades y deficiencias que en estos ocurren, partiendo de porque ocurren o cómo puede un cultivo verse afectado por estos factores, generando una explicación a una situación analizada.

En él se incluirán aspectos de las disciplinas de sistemas de información geográfica, fitopatología, informática, inteligencia artificial.

El proyecto está avalado por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones en su línea Geomática.

---

<sup>82</sup> HURTADO DE BARRERA, Jacqueline. Metodología de la investigación, guía para la comprensión holística de la ciencia. Caracas Ciea-Sypal, 2010

Luego de realizar una buena revisión bibliográfica y al iniciar con la elaboración de la fase 1, más específicamente en la actividad 1, la cual consistió en la identificación de características de plantas afectadas. Se realizaron diferentes visitas a la finca el Rosario en Chinchiná – Caldas, de las cuales se obtuvieron gran variedad de imágenes capturadas por medio de dos drones a diferentes alturas y en diferentes zonas del cultivo. También para contrastar con estas imágenes aéreas, se efectuaron visitas con el fin de capturar imágenes terrestres de las hojas con una cámara profesional manipulando los diferentes lentes posibles a utilizar para así alterar la luminosidad de la imagen.

Cuando se recolectaron las respectivas imágenes, se procedió a consultar diferentes antecedentes sobre procesamiento de imágenes, para poder identificar que software, metodología y materiales son necesarios.

En las fases y actividades siguientes del presente documento se realizó la descarga de imágenes satelitales a procesar dentro del Arcgis y se va mostrando el paso a paso hasta la visualización de los mapas con los resultados obtenidos y su posterior análisis.

## Conclusiones

A partir del análisis de la bibliografía consultada, y de los resultados obtenidos en el presente estudio, el equipo de trabajo considera que se logran obtener las siguientes conclusiones:

- Por medio del software Arcgis se logra un mejor procesamiento y aprovechamiento de imágenes satelitales y de sus diferentes bandas.
- Aunque es posible establecer la zona afectada en su NDVI no es posible determinar a qué se debe la afectación de la misma.
- En cultivos de banano de pequeñas extensiones la inclusión de la agricultura de precisión ha sido poca, por lo que se considera una gran oportunidad para el desarrollo de proyectos futuros.

- El procesamiento de imágenes satelitales resulta más económico para cultivos con extensiones pequeñas, además permite el análisis de varios cultivos cercanos en una misma imagen.

- Ya que las enfermedades foliares padecidas por las plantas de banano presentan manifestaciones similares en cuanto a color se refiere, y además algunas de estas en su etapa inicial están dispersas en partes mínimas en las hojas, se considera pertinente descartar metodologías como el reconocimiento de imágenes RGB el cual se centra solo en la manipulación por medio de tres colores fundamentales y el porcentaje de los mismos en la imagen, limitando la discriminación de la imagen en sus diferentes componentes, y además de esto no muestra una clara solución a la afectación de luz que pueda sufrir la imagen.

Anexos

Anexo metodología