

PROCEDIMIENTO TÉCNICO APLICADO A
EMPREDIMIENTO DE SERVICIO DE AGRICULTURA
DE PRECISIÓN, PARA SECTORIZACIÓN DE FERTILIDAD
EN TERRENO AGRÍCOLA CON ANOMALÍAS
ESPECTRALES.

Santiago Bedoya Ramírez

Proyecto de grado como requisito para optar por el lo go

Asesor:

Maria Isabel Marin Cerón
Jesús Adolfo Anaya Acevedo

Departamento de Ciencias de la Tierra

Universidad EAFIT Medellín

Octubre de 2019



Agradecimientos

Quiero dar las gracias a mi familia por su apoyo incondicional, por ser fuente de inspiración y recordarme las cosas esenciales en el camino de la vida, agradezco a mis amigos y compañeros por hacer parte de mi experiencia hacia el profesionalismo. Gracias Geovany Bedoya y José Fernando Duque, por creer en una idea, que en combinación con la ciencia y el emprendimiento, puede sacarse delante de manera óptima. Doy gracias a Luis Miguel Rúa por ser un guía y un gran impulso para desarrollar ideas e innovar con ellas.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	6
2. Generalidades.....	7
2.1 Marco Conceptual	7
2.1.1. Teledetección	7
2.1.2. Ciencia del suelo	8
2.1.3. Vehículos aéreos no tripulados (VANT)	9
2.1.4. Agricultura de precisión.....	9
2.2 Definiciones	10
2.2.1. Sensor Multiespectral	10
2.2.2. RGB	10
2.2.3. NIR.....	10
2.2.4. IR	10
2.2.5. NDVI	10
2.2.6. GNDVI.....	11
3. Procedimiento.....	12
3.1. Etapa teledetección:	12
3.1.1. Captura.....	13
3.1.2. Procesamiento	19
3.1.3. Análisis	24
3.1.4. Resultados.....	26
3.2. Etapa análisis de suelos:.....	27
3.2.1. Muestreo.....	27
3.2.2. Análisis	30
3.2.3. Interpretación resultados	33
3.2.4. Correlación con datos multiespectrales.....	37
3.2.5. Mapas de Fertilidad	37
4. Conclusiones	41
Bibliografía	42
CAPTA: proyecto de emprendimiento	44

Lista de Figuras

FIGURA 1. COMPONENTES TÉCNICOS ETAPA DE TELEDETECCIÓN	12
FIGURA 2 DIAGRAMA DE LA AERONAVE PHANTOM 4 PRO	16
FIGURA 3 CÁMARA MULTIESPECTRAL MICA SENSE REDEEDGE	17
FIGURA 4 EJEMPLO TRAYECTORIA DRON	18
FIGURA 5 MAPA CONCEPTUAL DE LOS PASOS DEL PROCESAMIENTO EN PIX4D MAPPER PRO	19
FIGURA 6 EJEMPLO FOTOGRAFÍAS TOMADAS EN LA RUTA DE VUELO	21
FIGURA 7 EJEMPLO DE AJUSTE DE PUNTOS DE CONTROL	22
FIGURA 8 TIPO DE CÁMARA Y ESPECTRO	22
FIGURA 9 EJEMPLO (MDS) MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE	23
FIGURA 10 EJEMPLO (MDT) MODELO DIGITAL DEL TERRENO	23
FIGURA 11 EJEMPLO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN NECESARIOS PARA IDENTIFICAR ANOMALÍAS DE ACUERDO AL CLIENTE	25
FIGURA 12 EJEMPLO MAPA DE ÍNDICE NDVI A LA IZQUIERA, Y ORTOFOTO RGB A LA DERECHA	26
FIGURA 13 DIAGRAMA PARA DETERMINACION DE TEXTURAS DE SUELO	31
FIGURA 14 ANALISIS Y EVALUACION DE ELEMENTOS NUTRITIVOS	33
FIGURA 15 PH DEL SUELO.....	34
FIGURA 16 NIVEL DE MATERIA ORGÁNICA SEGÚN TIPO DE SUELO	34
FIGURA 17 NIVEL DE FERTILIDAD PARA LAS DOS FORMAS DE NITROGENO MINERAL, NÍTRICO Y AMONÍACAL DETERMINADO POR MÉTODOS DE LABORATORIO PORTATIL.....	34
FIGURA 18 NIVELES DE FERTILIDAD PARA EL POTASIO, SEGÚN TIPO DE SUELO QUE SE ANALICE, DETERMINADO POR MÉTODOS DE LABORATORIO PORTATIL.....	35
FIGURA 19 NIVELES DE FERTILIDAD PARA FÓSFORO Y MAGNESIO DETERMINADOS POR MÉTODOS DE LABORATORIO PORTATIL	35
FIGURA 20 CONTENIDO NUTRITIVO DE LOS SUELOS Y LA RESPUESTA DE LOS CULTIVOS ANTE FERTILIZACIÓN SUMINISTRADA	36
FIGURA 21 CONTENIDO DE FÓSFORO EN SUELOS DE PANAMÁ	38
FIGURA 22 CONTENIDO DE POTASIO EN SUELOS DE PANAMÁ	38
FIGURA 23 CONTENIDO DE TEXTURAS EN SUELOS DE PANAMÁ	39
FIGURA 24 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE PANAMÁ	39
FIGURA 25 CONTENIDO DE PH EN SUELOS DE PANAMÁ	40

Lista de tablas

TABLA 1 EQUIPO REQUERIDO

14

1. Introducción

El avance de la tecnología ha resultado en grandes beneficios para la agricultura, siendo este un claro ejemplo de como a través de la ciencia se ha logrado vincular las necesidades alimenticias del ser humano con diversas profesiones que se relacionan con el campo.

Conceptos como agricultura de precisión han ido teniendo cada vez más acogida a lo largo del mundo y en países que aún se encuentran en estado de desarrollo, esta situación no es ajena en Colombia, un país rico en recursos, suelos y con gran potencial agrícola como consecuencia de su ubicación geográfica y resultado de una serie de procesos geológicos que lo han moldeado a lo largo del tiempo, y que en un periodo relativamente corto ha empezado a evidenciar la necesidad de cambios en el sector agrícola; a pesar de esto, la urgencia por la tecnificación de los procesos agrícolas aun existe, siguen siendo pocas personas las que han optado por invertir en tecnología para sus fincas, otros en su gran mayoría continúan con sistemas tradicionales, por falta de información, o por altos costos.

CAPTA es una iniciativa de emprendimiento, que busca ayudar al agricultor colombiano a tener información útil sobre las características de los terrenos y valoración de sus suelos, y que permite brindarle un contacto mucho más profundo con las anomalías que pueden tener sus plantaciones, de manera que se logre aumentar la productividad de la tierra y disminuir tanto el trabajo como los costos, interviniendo positivamente en el cultivo. En este documento entendemos por anomalía la presencia de factores no comunes y variables dentro del cultivo que pueden perjudicar al mismo.

El objetivo del procedimiento que se presenta a continuación es proporcionar como resultado final, mapas de fertilidad a través de un servicio de agricultura de precisión, que implementa el uso de drones (VANT) y cámaras multi espectrales. Logrando hacer una sectorización en términos de fertilidad de suelos, por medio de la correlación de datos de respuesta espectral junto con una serie de muestreos y análisis de suelos.

2. Generalidades

2.1 Marco Conceptual

La acogida de la agricultura como fuente económica y de desarrollo en zonas rurales ha sido de vital importancia para la población mundial, cabe decir que la fusión de conceptos técnicos proporciona una mejor manipulación y toma de decisiones para la transformación del campo. La agricultura que tiene como principal función la de suplir las necesidades alimenticias y ha tenido un gran avance a nivel tecnológico durante los últimos años, facilitando una producción mucho más controlada y eficiente, y es gracias a términos como la agricultura de precisión, que se ha permitido a los productores tener herramientas de tecnificación del campo a su mano.

En el proceso para el desarrollo de un servicio para el agro, acompañado de tecnología de precisión, se requiere de la interacción e intervención de múltiples disciplinas en relación con temáticas de ciencias de la Tierra, junto con metodologías que sustenten la validación y eficiencia del procedimiento.

Para dicho proceso se requiere de unos conocimientos técnicos previos relacionados con:

- 1) Teledetección
- 2) Ciencia del suelo
- 3) Agricultura de precisión
- 4) Vehículos aéreos no tripulados (VANT)

Debido a que estos 4 aspectos se relacionan directamente con el análisis e interpretación de los datos, se presentan como parte del proceso para el entendimiento de la ejecución del servicio.

2.1.1. Teledetección

De forma general, hace referencia a cualquier proceso o técnica de obtención de información sin tener contacto con ella, desde un ámbito más específico, desde las ciencias de la tierra, la teledetección se enfoca en la obtención, procesamiento y análisis de imágenes digitales tomadas desde sensores remotos, que puede incluir satélites hasta drones. Se abordan dentro de la acepción del término teledetección espacial, todos los problemas y procedimientos metodológicos y técnicos que en términos anglosajones quedan enclavados dentro del concepto remote sensing (Nieto, 2006)

De acuerdo con (Joseph, 2005), los distintos escenarios donde la teledetección toma forma son:

1. Origen de energía electromagnética (sol, transmisor cargado por el sensor)
2. Transmisión de energía desde la fuente hasta la superficie de la tierra y su interacción con la atmósfera.
3. La interacción de la energía con la superficie de la tierra (reflexión/absorción/transmisión) o auto emisión.

4. Transmisión de la energía reflejada/emitada al sensor remoto dispuesto en una plataforma adecuada a lo largo de la atmosfera intervenida.
5. Detección de energía a través del sensor, convirtiéndola en una de una imagen fotográfica o en una salida eléctrica.
6. Transmisión/grabación de la salida del sensor.
7. Preprocesamiento de los datos y generación del resultado de datos.
8. Colección de información certera del terreno y otra información colateral.
9. Análisis e interpretación de datos.
10. Integración de imágenes interpretadas con otros datos para el manejo de estrategias para varios temas y otras aplicaciones.

2.1.2. Ciencia del suelo

Dentro de las ramas de la ciencia del suelo se puede hacer distinción de los siguientes conceptos:

Pedología, en donde se considera el suelo como un cuerpo natural cuyas propiedades interesan para establecer su origen y su clasificación sin importar sus posibilidades de uso y **Edafología**, en donde el suelo es tomado como el soporte para las plantas, es decir, se estudia desde un punto de vista netamente práctico, orientado a obtener los mejores rendimientos agropecuarios posibles. (L. LITTLETON y Buckman, 1944)

La Sociedad Americana de la Ciencia del Suelo (1984) acepta la diferenciación hecha en el párrafo anterior al establecer dos definiciones para el término suelo:

Es el material no consolidado en la superficie de la tierra que sirve como medio natural para el crecimiento de las plantas terrestres, y es el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra que ha estado sometido a la influencia de factores geológicos y ambientales: Material parental, clima, macro y microorganismos y topografía, todos actuando durante un lapso de tiempo y generando un producto: el suelo, que difiere del material del cual se deriva en varias propiedades y características físicas, químicas, biológicas y morfológicas.

2.1.3. Vehículos aéreos no tripulados (VANT)

Son aviones o multirrotores controlados de forma remota o automática que siguen una trayectoria de vuelo preprogramada operando fuera del sistema de navegación interno. (Torres-Sánchez, 2013) Capaces de realizar una misión sin necesidad de tener una tripulación embarcada. Debe entenderse que esta condición no excluye la existencia de piloto, controlador de la misión y otros operadores, que pueden realizar su trabajo desde tierra. La extensión del concepto de vehículo a sistema, refleja que el VANT precisa, no solo de la aeronave adecuadamente instrumentada, si no también una estación en tierra, que complementa la instrumentación y capacidades embarcadas. (Mitsikostas, 2016/2017).

Según (Pilar Barreiro, 2014) los drones se caracterizan por disponer de varios motores (4, 6 u 8) con accionamiento directo sobre sus respectivos álabes. El control independiente de la velocidad de giro de cada rotor permite que el vehículo avance, cambie de dirección, o permanezca flotando en posición fija. La percepción es similar a la de una medusa en el mar. Esta enorme versatilidad hace que sean idóneos para adquirir imágenes casi en cualquier condición. Además los sistemas actuales de posicionamiento (DGPS, RTK, combinados con unidades inerciales IMUs) permiten establecer planes de vuelo complejos con el fin de obtener mosaicos de imágenes perfectamente georreferenciadas y niveladas.

Cuatro ventajas de los drones respecto a otros sistemas son:

- Estabilidad en vuelo (especialmente comparado con los helicópteros).
- Control preciso (comparados con los dirigibles).
- Posibilidad de efectuar vuelos a la demanda.
- Capacidad de selección de la resolución espacial variando la altura de vuelo (comparado con otros sistemas de teledetección).

2.1.4. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en el manejo controlado y eficiente de un área de cultivo. Para ello, se utilizan herramientas tecnológicas como el posicionamiento global, dispositivos de distribución de riego, fertilizantes y plaguicidas variables, sensores climatológicos de cultivo y, últimamente, los drones (J. Paneque-Gálvez, 2014). Estas herramientas en conjunto realizan el proceso de recolección de la información la cual es finalmente plasmada en mapas digitales sobre los cuales se toman decisiones de manejo (P.J. Zarco-Tejada, 2013)

El objetivo de la agricultura de precisión es la obtención de mayores rendimientos económicos, medioambientales y sociales, aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas. (Mitsikostas, 2016/2017)

La agricultura de precisión tiene como herramientas: el uso de tecnologías de posicionamiento global satelital (GPS), sensores láser en tierra para medir el nivel del terreno

e imágenes aéreas para evaluar las diferentes variables de cada determinada parcela y, claro está, el país debe contar con un buen sistema de información geográfica (M. Simard, 2012)

2.2 Definiciones

2.2.1. Sensor Multiespectral

Estos sensores pueden llegar a tomar valores de hasta 6 bandas espectrales, siendo posible seleccionar diferentes bandas mediante el empleo de filtros. Por regla general, estos sensores están diseñados para el estudio de parámetros relativos a la vegetación, por lo que las bandas están seleccionadas en los rangos del verde, rojo e infrarrojo cercano, donde la vegetación presenta su mayor respuesta de absorbancia y reflectancia. (Díaz García-Cervigón, 2015)

2.2.2. RGB

Es una sigla formada por los términos de la lengua inglesa Red, Green y Blue. El concepto suele emplearse para referirse a un modelo cromático que consiste en representar distintos colores a partir de la mezcla de estos tres colores primarios, se basa en lo que se conoce como síntesis aditiva de color. Empleando la luminosidad del rojo, el verde y en azul en diferentes proporciones, se produce el resto de los colores. (Porto & Merino., Definicion.de, 2014)

2.2.3. NIR

El infrarrojo cercano es considerado esa parte del espectro situada entre la región visible y la región infrarroja. El rango de longitudes de onda que el NIR cubre, está entre 750nm á 2,600nm, La vegetación saludable refleja fuertemente en esta longitud de onda. (Groenewald & Köster, 2006)

2.2.4. IR

La radicion infraroja, presenta una longitud de onda mayor que la luz visible. El rango de las longitudes de onda de la radiacion infraroja se ubica entre los 0,7 y los 1000 micrómetros. (Porto, Definicion.De, 2018)

2.2.5. NDVI

Indice de Vegetac de Diferencia Normalizada, es un concepto asociado a la vegetación, el cual se integra el contraste de la alta absorbancia (baja reflectancia) de la banda roja (R) del espectro visible con la alta reflectancia del infrarrojo cercano (NIR) (Jim nez, 2016)

2.2.6. GNDVI

(Índice Verde Normalizado de la diferencia de la vegetación se calcula con manera parecida que el NDVI, pero se utiliza la banda verde en vez del rojo. Se relaciona, con la radiación fotosintética cuantitativa absorbida y es linealmente correlacionada con el índice de área Foliar (LAI) y de la biomasa. (Mitsikostas, 2016/2017)

3. Procedimiento

El procedimiento está dividido en dos etapas: una primera esta determinada por un componente de teledetección y la segunda parte por un muestreo y análisis de suelos teniendo en cuenta parámetros de fertilidad edafológica, la integración de estas dos etapas permitirá realizar una correlación en términos de fertilidad del terreno evaluado, teniendo en cuenta anomalías espectrales, de manera mas completa y detallada.

3.1. Etapa teledetección:

A continuación, se muestran cada uno de los componentes técnicos necesarios para la realización de la etapa de teledetección, con el fin de arrojar resultados propicios para la primera sectorización del terreno:

- Captura
- Procesamiento
- Análisis
- Resultado

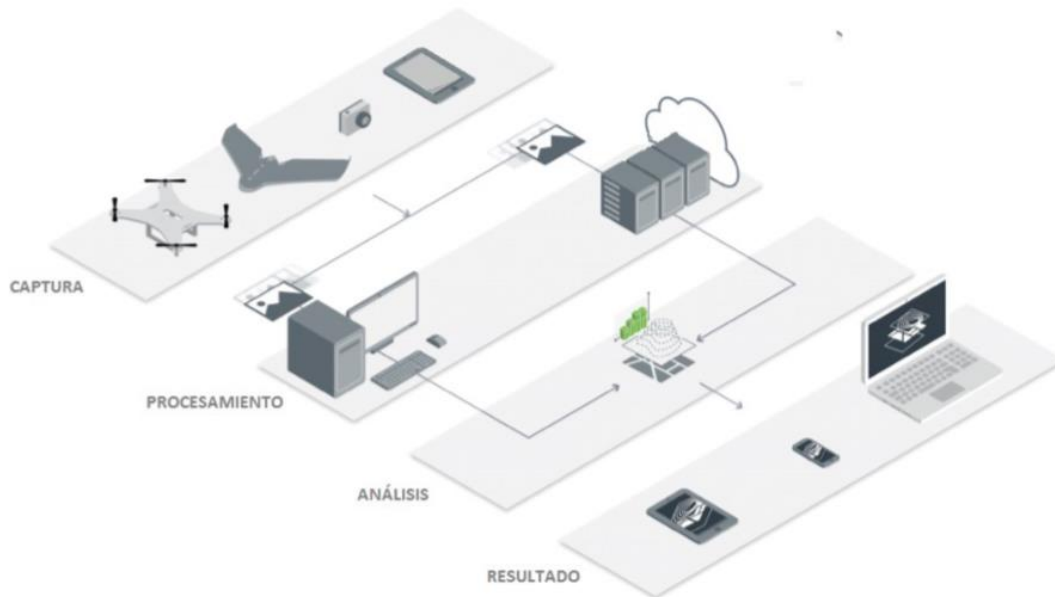


Figura 1. Componentes técnicos etapa de teledetección

Fuente: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6306/1/MedinaGarciaPedroAndres2017.pdf>

3.1.1. Captura

3.1.1.1. Entrada en contacto con agricultor

La ejecución del servicio de agricultura de precisión con drones da inicio desde el primer contacto con el cliente, que puede ser el agricultor o el proveedor de fertilizantes. Este punto es importante de forma que permite dar una idea superficial, de las necesidades del cliente, su localización, que tipo de cultivo maneja, extensión del terreno, a que quiere llegar a través de la contratación del servicio y la definición de costos por el trabajo.

3.1.1.2. Definición del enfoque

En esta etapa se define que tipo de enfoque tomará el trabajo de campo, este puede ser de carácter:

- Preventivo: con el fin de disminuir la posibilidad de que el cultivo sea afectado por enfermedades/plagas y/o poder manejar con anticipación una deficiencia nutritiva del suelo y deficiencia de agua.
- De monitoreo: con el fin de obtener información del patrón de dispersión de una enfermedad y el estado del contenido de humedad y nutrientes en el suelo.
- De control: con el fin de analizar la evolución del tratamiento aplicado para un déficit específico previamente reconocido.

3.1.1.3. Pre-campo

Uno de los factores para tener en cuenta durante la etapa del pre-campo es la climatología, si las condiciones no son favorables, vientos superiores a 10 m/s, lluvia, nieve o niebla, se debe evitar volar el dron.

3.1.1.3.1 Equipamiento

A continuación, se presenta información técnica del equipo para hacer posible el trabajo de la etapa número uno. Se aclara que no necesariamente debe implementarse específicamente cada uno de los siguientes, el proveedor del servicio es libre de escoger el dron, cámara multiespectral, computadora y softwares que más se le ajusten para su dinámica laboral.

Dentro de los implementos necesarios para el trabajo se encuentran:

Tabla 1 Equipo Requerido para etapa de teledetección

<p>DRON</p>	<p>Cuatro (4) baterías LiPo de 5.700 mAh como mínimo 4.</p> <p>Un (1) Cargador para 4 baterías Un (1) Dron con GPS Navegación TK</p> <p>Maleta de protección para guardar o transportar. Software de Planeación y Misionamiento Sistema gimbal sencillo o doble</p> <p>Controladores de vuelo programado y manual Juego extra de pilas Incluir una (1) tablet para control de vuelo de 64 Gb de memoria interna, Sistema operativo iOS, Pantalla de 7.9”, Bluetooth, Wi-Fi.</p>
<p>SENSOR VISUAL RGB DE 12 MP</p>	<p>Drivers para Windows 7 de 64 bit Formato Video: MP4/MOV (MPEG-4 AVC/H.264) Una (1) memoria expandible SD o Micro SD</p> <p>1.6 Formato Photo: JPEG, DNG Función grabado de la hora y el lugar de captura de imágenes.</p>
<p>SENSOR MULTI-ESPECTRAL</p>	<p>Sensor Multiespectral RGNIR con bandas espectrales: rojo, verde e infrarrojo</p>
<p>SOFTWARE DE PROCESAMIENTO</p>	<p>Licencia Generación ortomosaicos</p> <p>Proceso y manejo en diferentes archivos JPG, TIFF, KML, KMZ, 2D ,3D elaboración de ortofotos y algoritmos La ortofoto debe tener una proyección ortogonal que permita realizar mediciones precisas.</p>

<p>COMPUTADOR PARA GENERACIÓN DE ORTOFOTOS</p>	<p>Vale la pena destacar que estos programas requieren para su buen funcionamiento un computador que tenga procesador multi núcleo con velocidad superior a 3GHz y buena disponibilidad</p> <p>de memoria RAM. Windows 7 Procesador Core i7 2.9 GHz 8 Gb de RAM</p> <p>Disco duro de 3.6 GB por vuelo</p>
----------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Medina P. Niño J. Copyright 2017 por UNIVERSIDAD DISTRITAL – FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Reimpreso con permiso

3.1.1.3.1.1 VANT (DRON)

La selección del dron requiere de cuidado, teniendo en cuenta la capacidad de carga que este tenga, si la capacidad de carga es baja, es posible que el dron no pueda alzar vuelo con el peso de la cámara multiespectral, o por otro lado podría pasar a otro opuesto, donde la velocidad de vuelo sea muy alta como para no acoplarse al tiempo de disparo de la cámara. El dron referencia para este proceso es un multicoptero DJI Phantom 4 Pro, se puede visualizar un diagrama de su estructura en la siguiente imagen.

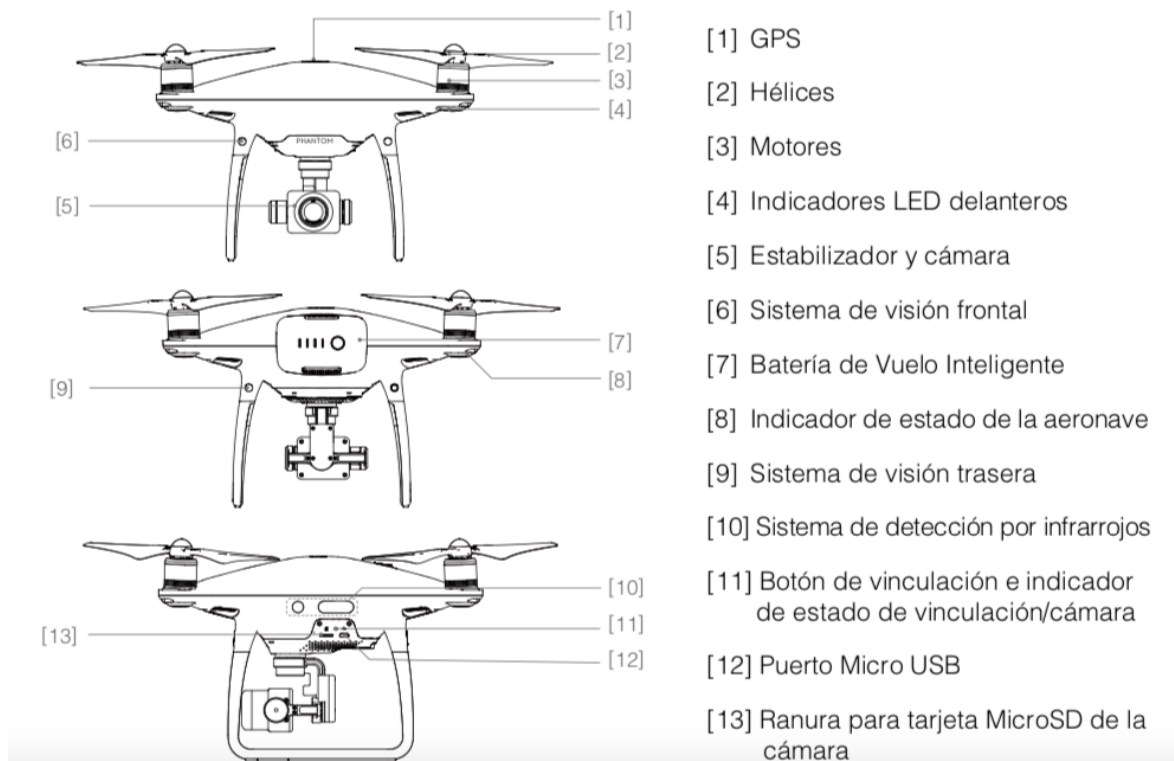


Figura 2 Diagrama de la aeronave Phantom 4 Pro

Fuente: https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_ES.pdf

3.1.1.3.1.2 Cámara Multiespectral

La cámara multiespectral referencia para el este proceso es la MicaSense RedEdge es una cámara avanzada, ligera, multiespectral, optimizada para su uso en pequeños sistemas de aeronaves no tripulados con 150 g de peso solamente, y disponible para su uso en aviones tripulados. La misma es diseñada fundamentalmente para proporcionar datos precisos en las bandas espectrales azul, verde, rojo, borde rojo y NIR simultáneamente para aplicaciones de teledetección agrícola. (Jimenez, 2016)

A continuación, una imagen de la cámara multiespectral:

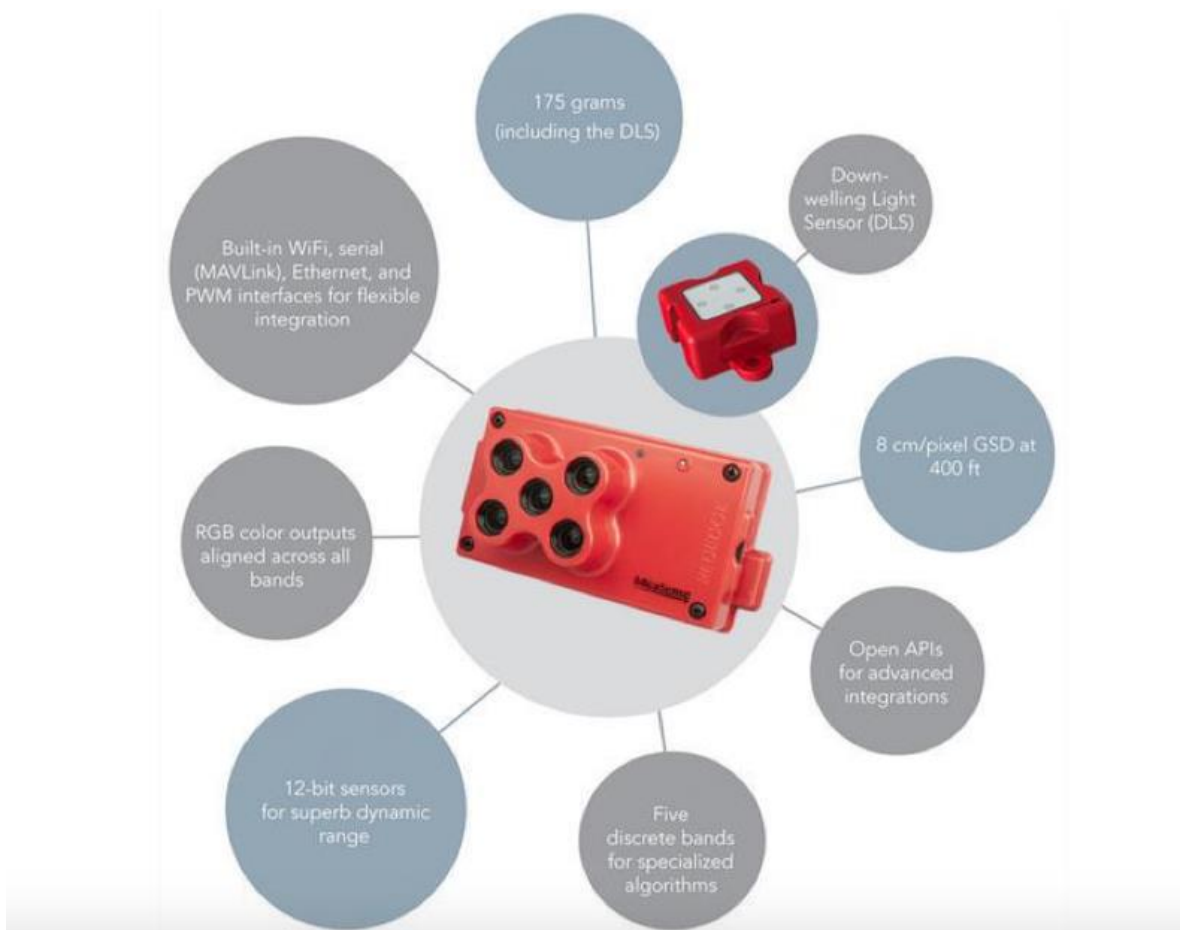


Figura 3 Cámara multiespectral Mica Sense RedEdge

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

3.1.1.3.2. Plan de vuelo

Previamente al vuelo de la aeronave, debe realizarse un chequeo general el cual asegurará la obtención de los resultados esperados, estos aspectos a revisar según (Ji z, 2016) son:

- Revisión del terreno
- Para trabajo de oficina se usa el software Mission Planner, con el se actualiza la cach de fotos de la zona de vuelo en el software y se traza la ruta del vuelo
- Fecha del trabajo.
- Zona para el despegue y aterrizaje de la aeronave.
- Tiempo de comienzo y finalización del vuelo. La hora optima para ejecución del vuelo es entre las 10 am y 12 pm.

- Condiciones de iluminac Nublado, soleado, oscuro o lluvioso. La condicion apropiada es que sea soleado.
- Veolocidad y direccion del viento: se toma con un anemómetro.
- Evaluar la altura del vuelo: depende de la visualiazacion que se quiera adquirir con el sensor.
- Calibracion de equipos.
- Examinar que las condiciones de la aeronave sean optimas:
 - Comprobar el voltaje de la bater
 - Comprobar si el motor y lice e apropiadamente sujetos.
 - Conectar las alas y asegurarse de que est n conectadas correctamente.
 - Comprobar la conex a 5V del sensor y la memoria interna del mismo que debe estar vac
 - Comprobar la frecuencia de disparo del sensor Mica RedEdge
 - Comprobar el estado de la bater el radio receptor.
 - Comprobar el estado de la bater e la PC til.
 - Instalar y conectar la bate al autopiloto.
 - Conectar el o de telemetr a la estac a tierra, poner en marcha el Mission Planner y establecer el enlace con el UAV.
- Cargar la ruta en la aeronave.

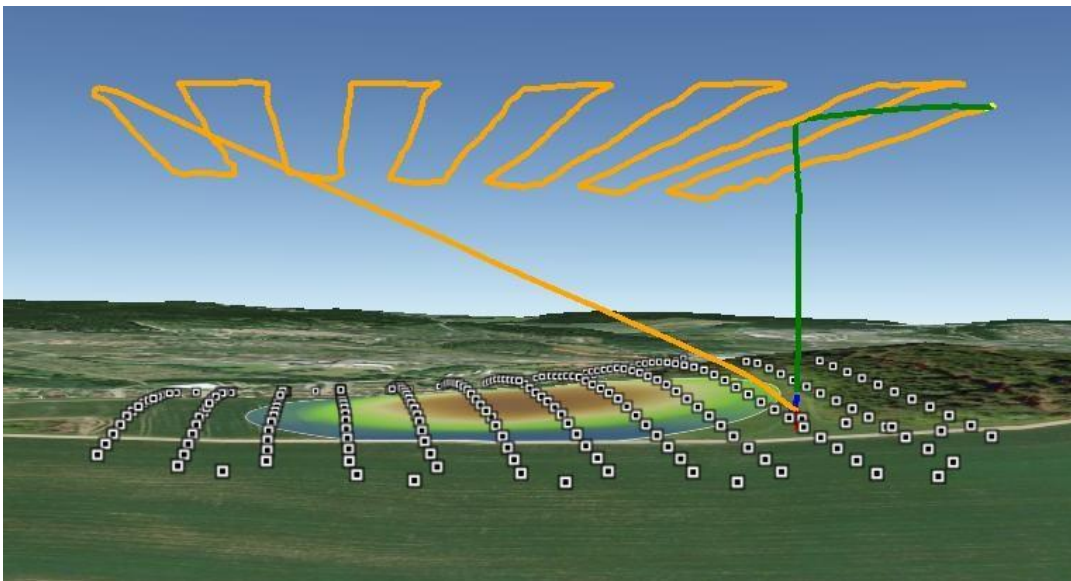


Figura 4 Ejemplo trayectoria dron

Fuente: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6306/1/MedinaGarciaPedroAndres2017.pdf>

3.1.1.3. Vuelo

Una vez todo organizado y dando continuación al plan de vuelo se ejecuta la ruta con la toma de fotografías y videos georreferenciados, será posible ir haciendo monitoreo de los datos siendo captados por la aeronave y el sensor multiespectral, desde una tablet, celular o computadora. Esto complementado también por su posicionamiento con el GPS interno y el estado de los equipos.

Finalizado el vuelo, debe descargarse la información del dron en el computador, para su posterior procesamiento.

3.1.2. Procesamiento

En el procedimiento planteado, se hará referencia al software Pix4D Mapper Pro, a continuación, se muestra un gráfico con los pasos a seguir para el cumplimiento de la fase de procesamiento del servicio con el software ya mencionado.



Figura 5 Mapa conceptual de los pasos del procesamiento en Pix4D Mapper Pro

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20a%C3%A9rea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

3.1.2.1 Softwares

Es importante tener en cuenta que el trabajo con información recolectada por las cámaras y sensores para este tipo de procesos tiene un carácter de peso considerable, es por esto que se recomienda, si se tienen los recursos, hacer uso de un software que se adapte a la capacidad

de trabajo de una buena computadora. Los softwares Pix4D Mapper Pro y Agisoft Photoscan son las mejores soluciones de fotogrametría para realizar el procesamiento de las imágenes multispectrales. (L, y otros, 2017)

3.1.2.1.1 Pix4D Mapper Pro

El software planteado es PIX4D Mapper Pro, el cual combina las imágenes aéreas tomadas por los sistemas aéreos remotamente pilotados (UAS/RPAS), convirtiéndolas en mapa 2D o 3D, mediante la obtención de nube de puntos, modelos digitales del terreno y superficie (MDS-MDT) y ortomosaicos (Unión de las fotografías en una sola), este software permite generar a parte de los ortomosaicos, nube de puntos, modelos de elevaciones, diferentes ficheros en formato (*.TIFF) con cada índice que se desee calcular. Dicho software, contiene los índices comunes y utilizados por defecto, pero aparte se puede calcular cualquier combinación de las diferentes bandas de las que se posea información. (Díaz García-Cervigón, 2015)

Los ortomosaicos, mapas de NDVI y de reflectancia generados por este software brindan una perspectiva aérea amplia de la salud de las plantas, la cual no es visible al ojo humano, pues incluye sensores en infrarrojo. El rango de sus aplicaciones va desde el monitoreo digital hasta el análisis y producción de mapas de fertilización variable para maquinarias. (Jiménez, 2016)

De acuerdo a (Jiménez, 2016) la fase de procesamiento se resumen en los siguientes pasos:

- Se realiza el procesado inicial donde las imágenes son calibradas y orientadas espacialmente.
- Se realiza la densificación de puntos a partir de las imágenes preprocesadas.
- Se genera a partir de la nube de puntos, el MDS (Modelo Digital de Superficie) y posteriormente el ortomosaico (unión de varias fotografías).
- El cálculo de índices de vegetación para ello se procesan de forma conjunta las imágenes NIR, IR y RGB a utilizar según las bandas espectrales de las que se necesitan los datos. Se configura y se edita la resolución del mapa. Se generan los mapas de índices de vegetación a partir de fórmulas predefinidas o creadas y guardadas por el usuario para la obtención de índices personalizados. Finalmente se editan los colores según la leyenda exportando el mapa con el esquema de colores apropiado y se puede realizar la calibración del mapa generado con lecturas realizadas a partir de sensores de radiación.

A continuación se presenta un ejemplo de una imagen con las fotografías tomadas sobre el terreno, demarcadas por puntos rojos donde se evidencia el punto de partida y final del recorrido del dron, con forma de círculo rojo en un tamaño mayor.



Figura 6 Ejemplo fotografías tomadas en la ruta de vuelo

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Los puntos de control son necesarios de marcar durante el procesamiento, para manejar los datos georeferenciados del vuelo de manera correcta, es recomendable que los mismos manejen un espaciamiento apropiado sobre la zona de trabajo, para que el ortomosaico a realizarse posteriormente, se ajuste de manera óptima.

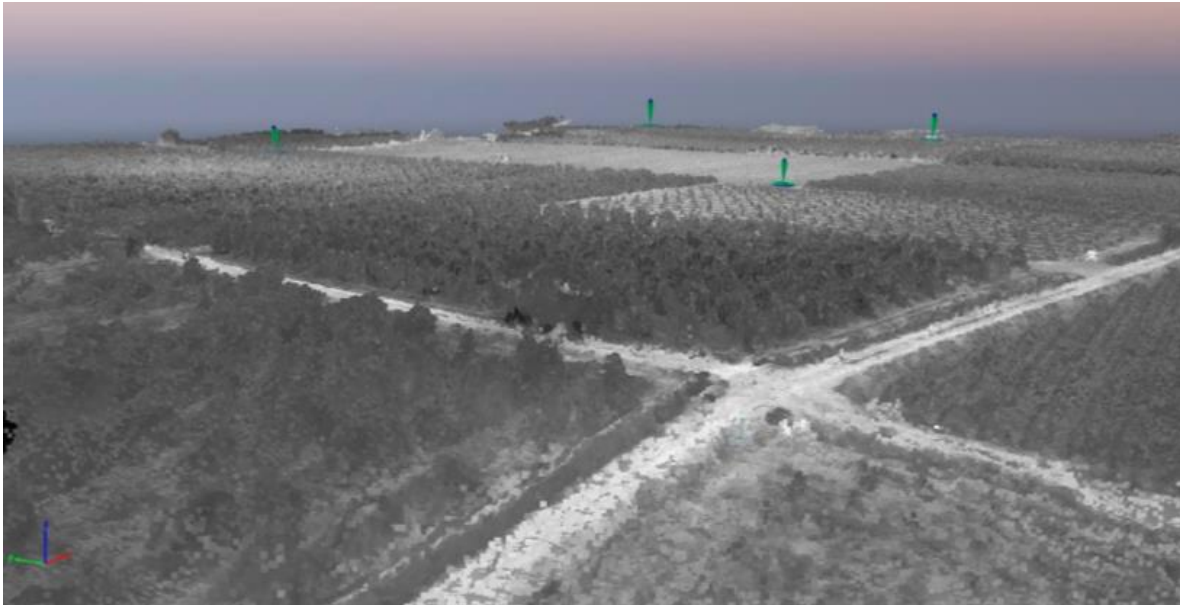


Figura 7 Ejemplo de Ajuste de puntos de control

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20a%C3%A9rea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

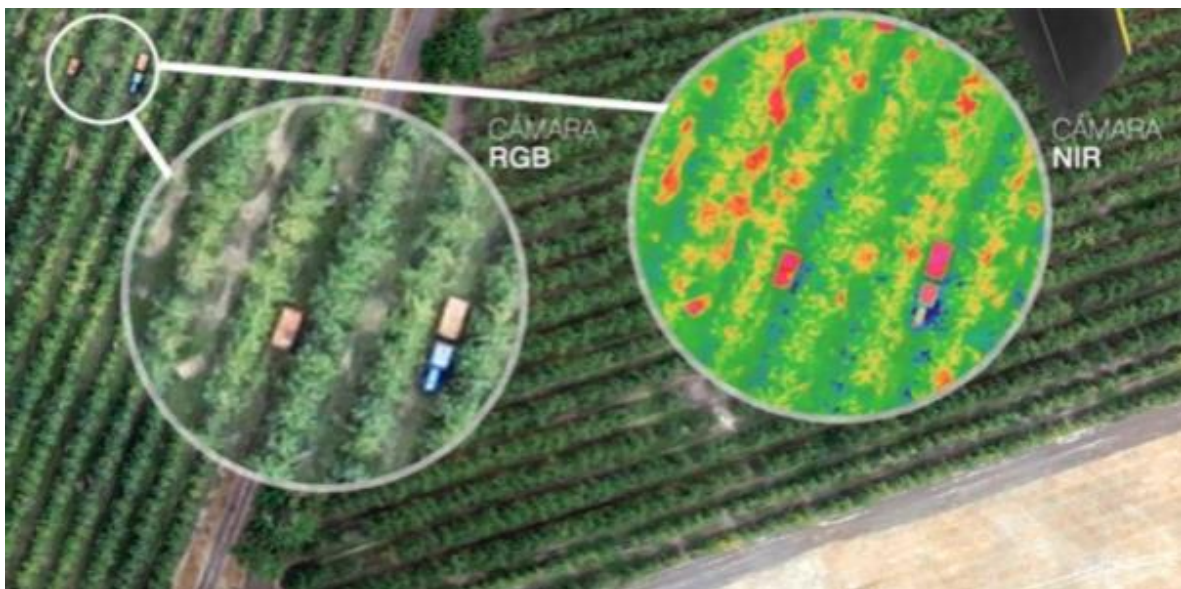


Figura 8 Tipo de cámara y espectro

Fuente: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6306/1/MedinaGarciaPedroAndres2017.pdf>

A continuación se evidencia un ejemplo de los dos modelos que deben obtenerse en el software, (MDS) Modelo Digital de Superficie y (MDT) Modelo Digital del Terreno.

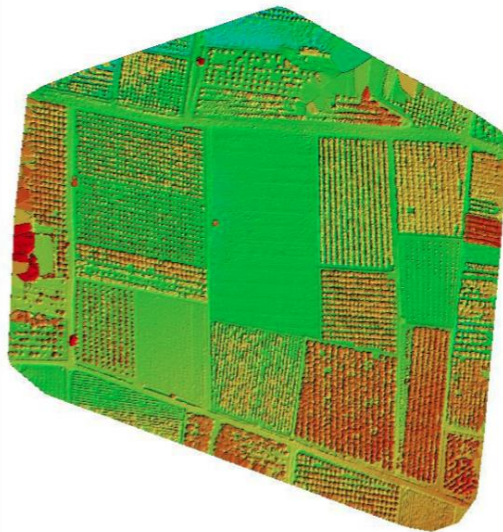


Figura 9 Ejemplo (MDS) Modelo Digital de Superficie

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

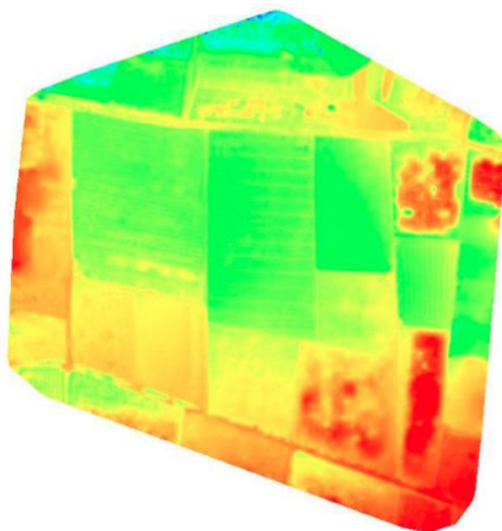


Figura 10 Ejemplo (MDT) Modelo Digital del Terreno

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

En la etapa final del procesamiento, se obtendrán los índices de vegetación que el técnico considere más apropiados de analizar de acuerdo a lo que se detecta dentro del terreno agrícola, ya que estos índices varían muchas veces los resultados de respuesta espectral, de acuerdo al cultivo y al terreno, por ello para cada caso específico no hay un resultado estándar.

3.1.3. Análisis

Generalmente las necesidades por las cuales se acudiría a un servicio de agricultura de precisión con drones y cámara multispectral son variación de contenido de nutrientes, deficiencias en contenido de agua y presencia de plagas o enfermedades.

Es por eso que en la etapa de análisis, es tan importante haber tenido una combinación de bandas pertinente, que permita detectar de manera concisa las zonas donde hay anomalías dentro del cultivo. Los datos obtenidos con los índices de vegetación, no separan que tipo de problema en específico está sufriendo el cultivo, es por eso que debe complementarse con análisis de datos de campo y/o observaciones hechas por el agricultor en un lapso de tiempo combinado con otro análisis espectral después de un tiempo determinado.

3.1.3.1 Índices de Vegetación

El cálculo de los índices de vegetación una vez realizado por la combinación de bandas espectrales del sensor en la etapa de procesamiento, se puede ir modificando en la medida que los resultados no tengan relevancia o mientras se vaya alcanzando el target deseado.

Las diferenciaciones en los valores de los índices de vegetación en la zona de los cultivos puede ser provocada por las propiedades del suelo, como es la diferenciación física, la estructura y las capas del suelo, la concentración de la materia orgánica del suelo, la humedad del suelo, la concentración de nutrientes del suelo y el pH del suelo, estas posibles causas se quedan como interpretaciones muy superficiales y sin comprobar, es por esto que lo ideal es realizar un trabajo en el campo que compruebe las posibles hipótesis que se sugieren desde el análisis. (Mitsikostas, 2016/2017)

El técnico en esta etapa del proceso debe mezclar las bandas espectrales hasta el punto en el que se obtenga mejor respuesta de la reflectancia de la radiación solar.

- El primer índice a ser implementado debe ser el Normalized Difference Vegetation index (NDVI), el cual normalmente responde muy bien en la mayoría de casos, este refleja el vigor de las plantas por medio de la combinación de las bandas rojo (RED) e infrarrojo cercano (NIR). Tener presentes sus valores, que van desde el -1 al 1.
- Seguido de este, es recomendable sacar el Green Normalized Difference Vegetation index (GNDVI), el cual es muy utilizado para determinar la absorción de agua y nitrógeno en el follaje del cultivo. (Jiménez, 2016) Tener presentes sus valores, que van desde el -1 al 1.

- Aparte de estos dos índices, se puede experimentar con los resultados de los índices, (OSAVI) Optimized Soil Adjusted Vegetation Index, (RVI) (Ratio Vegetation Index), entre otros, de manera que se puedan descartar más opciones con el propósito de ver cual o cuales índices se acoplan más a la respuesta real del cultivo.

A continuación se presenta una tabla con los índices de vegetación y sus fórmulas, que pueden brindar un acercamiento a los puntos críticos. Para cada cultivo no necesariamente sirven los mismos, cada situación de trabajo con variación en el tipo de cultivo y lugar, puede reflejar mejor su radiación con la utilización de índices diferentes.

Índice	Nombre	Fórmula	Referencia Bibliográfica
DVI	Difference Vegetation Index	$R_{NIR} - R_{RED}$	Κανδύλακης Ζ., 2013
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$	Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011
NDVire	Normalized Difference Vegetation Index Red Edge	$(R_{NIR} - R_{RE}) / (R_{NIR} + R_{RE})$	Taskos D.G. et al., 2014
RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{RED}) / \sqrt{R_{NIR} + R_{RED}}$	Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011
GNDVI	Green Normalized Difference Vegetation Index	$(R_{NIR} - R_{GREEN}) / (R_{NIR} + R_{GREEN})$	Candiago S. et al., 2015
MSR	Modified Simple Ratio	$(R_{NIR} / R_{RED} + 1) / [(R_{NIR} / R_{RED}) 0.5 + 1]$	Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011
OSAVI	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$(1 + 0.25) * (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED} + 0.25)$	Candiago S. et al., 2015
MCARI	Modified Cab Absorption in Reflectance Index	$[(R_{RE} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{RE} - R_{GREEN})] * (R_{RE} / R_{RED})$	Melamed S., 2014
TCARI	Transformed CARI	$3 * [(R_{RE} - R_{RED}) - 0.2 * (R_{RE} - R_{GREEN})] * (R_{RE} / R_{RED})$	Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011
MTVI1	Modified Triangulation Vegetation Index 1	$1.2 * [1.2 * (R_{NIR} - R_{GREEN}) - 2.5 * (R_{RED} - R_{GREEN})]$	Zarco-Tejada P. J., González-Dugo V., Berni J.A.J., 2011
CI	Cab Index	$(R_{NIR} / R_{RE}) - 1$	Taskos D.G. et al., 2014

Figura 11 Ejemplo de índices de vegetación necesarios para identificar anomalías de acuerdo al cliente

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%ADa%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

A continuación, se presenta un ejemplo con una imagen de un mapa final, con el índice de vegetación NDVI y una ortofoto RGB de un proyecto de agricultura de precisión sobre cultivos de caña de azúcar en Santa Clara Cuba, como referencia de lo que se debería obtener como resultado final después del procesamiento de datos y sobre el cual se hace el análisis final, las zonas por encima de (0,49) las parcelas mas saludables, las zonas (entre 0,21 y 0,39) reflejan un nivel bajo de salud y las zonas por debajo de (0,21) reflejan estados nulos, de pobre vegetación o suelo. (Kharuf-GutierrezI, Hernández-SantanaI, Orozco-MoralesI, DíazII, & MoraII, 2018)

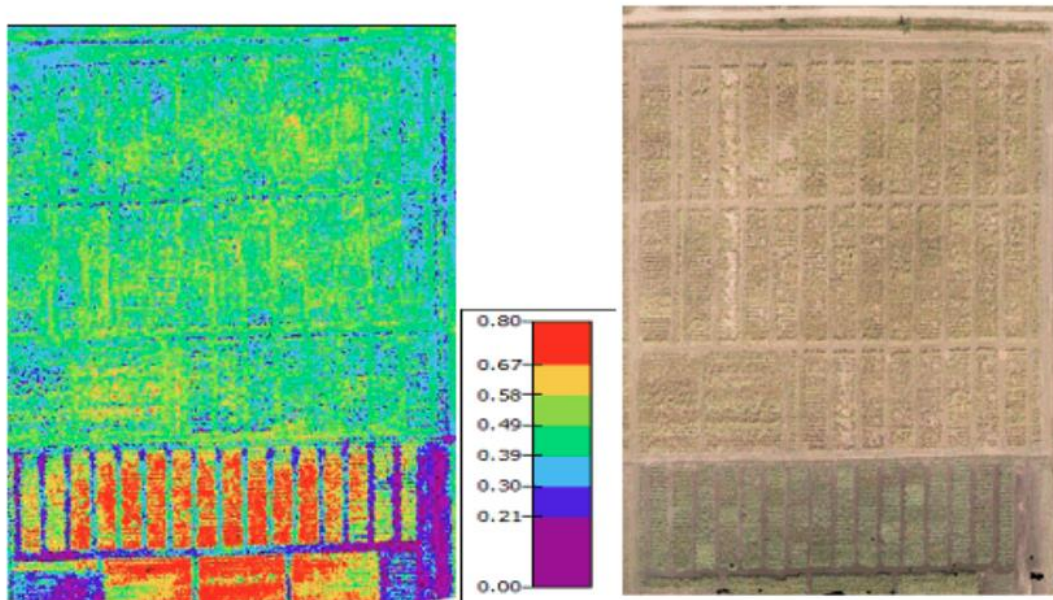


Figura 12 Ejemplo mapa de índice NDVI a la izquierda, y Ortofoto RGB a la derecha

Fuente: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000200007

3.1.4. Resultados

A partir de aquí es posible comunicarle al agricultor los resultados obtenidos con la distinción de las partes del cultivo con síntomas de estrés y con referencia en esto se prosigue a realizar un muestreo de suelos con un equipo básico de campo que permitirá correlacionar los mapas de deficiencias con resultados más concretos en las zonas críticas.

La presentación de resultados se hará de manera conjunta, incluyendo la parte de teledetección y el análisis de suelos con un mapa de fertilidad final, sacado de la correlación de ambas cosas.

3.2. Etapa análisis de suelos:

Con base en los resultados obtenidos en los mapas anteriores con los índices de vegetación para identificación de anomalías en el cultivo, se proseguirá con un muestreo sectorizado sobre el terreno, enfocado en las partes críticas, para validación de las anomalías y comprobación de cuales son las posibles causas de estas.

A continuación, se plantea un muestreo de suelos del ministerio de agricultura, pesca y alimentación de Madrid España, que servirá de complemento para este procedimiento, ya que aplica un método rápido de análisis de suelos, que se elabora completamente en campo, de esta forma actúa como complemento fundamental para correlacionar los datos del sensor multiespectral y reduce el tema de costos, sin necesidad de enviar muestras a un laboratorio por altas sumas de dinero.

Se divide en tres fases la etapa de análisis de suelos:

- Muestreo
- Análisis
- Interpretación de resultados

3.2.1. Muestreo

3.2.1.1. Pre-muestreo

El pre-muestreo, es el espacio para localizar en campo las zonas con anomalías detectadas desde los mapas de índice de vegetación, una vez en dicha área, se deben revisar indicadores foliares superficialmente, como coloración amarilla, roja, parda o enroscamiento de las hojas (*Figura 13*), esto da una señal de correlación con lo percibido a nivel digital con que afirmativamente puede haber un problema en ese sitio específico en términos de nutrientes, de enfermedades o por temas hídricos, estos indicadores, deben ser registrados en una libreta junto con su localización.

Síntomas visibles de desnutrición en el cafetal y su correctivo	
Nitrógeno	<p>La deficiencia causa amarillamiento de las hojas. Los síntomas ocurren primero en hojas viejas, las cuales caen. Los frutos se vuelven amarillo, crecen poco y caen con facilidad.</p> <p>Manera de corregirla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplique materia orgánica descompuesta: pulpa de café, cenichaza, gallinaza y composte. ✓ Aplique un fertilizante con alto contenido de Nitrógeno, como: Urea, Sulfato de amonio o Nitrato de amonio.
Fósforo	<p>Las hojas presentan manchas amarillas de diferentes tamaños en las cuales hay coloraciones rojizas que pueden cubrir casi toda la hoja. En casos severos se produce una caída total de las hojas de ramas con frutos en maduración.</p> <p>Manera de corregirla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aplicación de Superfosfato Doble o Superfosfato Simple por árbol.
Potasio	<p>Los bordes de las hojas y las puntas se enrollan hacia la cara superior. Al comienzo aparece un amarillamiento en la hoja el cual evoluciona a un color pardo oscuro. Cuando la deficiencia es grave mueren las partes de las hojas donde había manchas quedando de color gris. También las hojas caen.</p> <p>Manera de corregirla:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Con Sulfato de potasio. ✓ También puede usar cloruro de potasio.

Figura 13 Síntomas por deficiencia de N, P y K en plantas de café

Fuente: <https://es.slideshare.net/pipe69/deficienciasnutricionales>

Es fundamental tener claridad de cuales son los principales elementos que hacen composición del suelo agrícola, algunos se encuentran en mayores o menores proporciones, otros no están presentes en el, pero a su vez son necesarios para los procesos de formación de las plantas en el cultivo, de acuerdo con (García & Fernández, 1988) son:

Macroelementos primarios: requeridos por la planta en proporciones altas, normalmente no es suficiente con la cantidad del suelo.

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)

Macroelementos secundarios: las plantas requieren igualmente de grandes cantidades, pero en dicho caso, el suelo si alcanza a suplir esta necesidad generalmente.

- Calcio (Ca)
- Azufre (S)
- Magnesio (Mg)

Microelementos u oligoelementos: elementos que la planta requiere en proporciones menores y que el suelo generalmente es capaz de suplir

- Hierro
- Manganeso
- Cobre
- Zinc
- Boro
- Molibdeno
- Cloro

3.2.1.1.1. Equipos

Los equipos de trabajo que se recomiendan en este proceso para el análisis de suelo brindan una posibilidad de ahorro de capital, ya que los resultados se obtendrán directamente en el campo, no hay necesidad de mandar muestras a un laboratorio, son de carácter general y estimado, y serán o suficientemente prácticos y de gran ayuda para hacer el reconocimiento de las áreas con anomalía espectral y sus causas. Estos equipos constan de:

- Barrena o pala
- Maletín Plástico
- Botella con extractor de nutrientes
- Botellas con reactivos para coloración de la muestra
- Tarjetas de colores y tonalidad para el nivel del nutriente o dependiendo del dinero, un colorímetro con baterías.
- Embudo, tubos de ensayo, filtros de papel, gotero, cucharilla.
- Manual con instrucciones y tablas de correlación.
- Si se cuenta con los recursos, es recomendable la adquisición de un medidor de pH.
- GPS.
- Acido clorhídrico.

3.2.1.2. Muestreo

- El muestreo debe ser por unidades, es decir que cada muestra debe ser representativa de un punto determinado del suelo.
- Hacer separacion de unidades dependiendo de la extension de la zona a mostrar y dependiendo de la topografía, la selección del sitio para realizar el muestreo toma en consideración que sea uniforme en profundidad, color textura, pendiente, posición en la pendiente y uso anterior (homogéneo) (Mendoza & Espinoza, 2017)

- Se debe definir el sistema de muestreo, sea en ZigZag, cuadrícula o diagonales, según preferencia, o un muestreo aleatorio de acuerdo al interés en campo, muchos recomiendan hacer muestras compuestas, es decir la mezcla de muchas muestras representada en una sola, no es un método inválido, pero como los suelos son tan heterogéneos puede asimilarse una constante incorrecta para los demás tipos de suelo, si si los hay.
- Una vez seleccionado el punto de muestreo de interés por anomalías, se deben guardar las coordenadas del sitio de extracción de suelo.
- Con la pala o barrena, tomar la muestra a las siguientes profundidades sugeridas por (La Corpoica, 2012)
 - 0 a 10 cm para pastos utilizados en pastoreo
 - 0 a 25 cm para cultivos comerciales y pastos de corte
 - 0 a 25 y 25 a 50 cm para frutales y especies forestales, en general.
- El material recolectado debe pesar alrededor de 100 gr o un poco menos, producto del desecho de la parte superficial del suelo y el límite de profundidad establecido.
- El material recolectado debe ser puesto en bolsa plástica y correctamente marcado, se recomienda ir enumerando las muestras, poner las coordenadas del punto, profundidad, el número de parcela y en una libreta simultáneamente poner estos datos de identificación junto con la fecha y la persona que realizó el muestreo.
- El material recolectado debe ser secado y tamizado con tamiz de 2mm.
- Este procedimiento se aplica a alrededor de la zona de la primera muestra y en relación con la zona de interés unas 15 veces mínimo por hectárea, para generar mayor certeza.

3.2.2. Análisis

Esta fase se divide en dos grupos:

3.2.2.1. Análisis físico

El cual consta de los siguientes parámetros, los cuales se pueden realizar, en su mayoría de manera más rápida y a simple vista a diferencia de los análisis químicos.

- Textura (Es la composición granulométrica del suelo que porcentaje de arena gruesa, arena fina, limo o arcilla hay) con esta información y con ayuda de un gráfico se determina el tipo de suelo, a continuación, se muestra el diagrama para determinación de la textura.

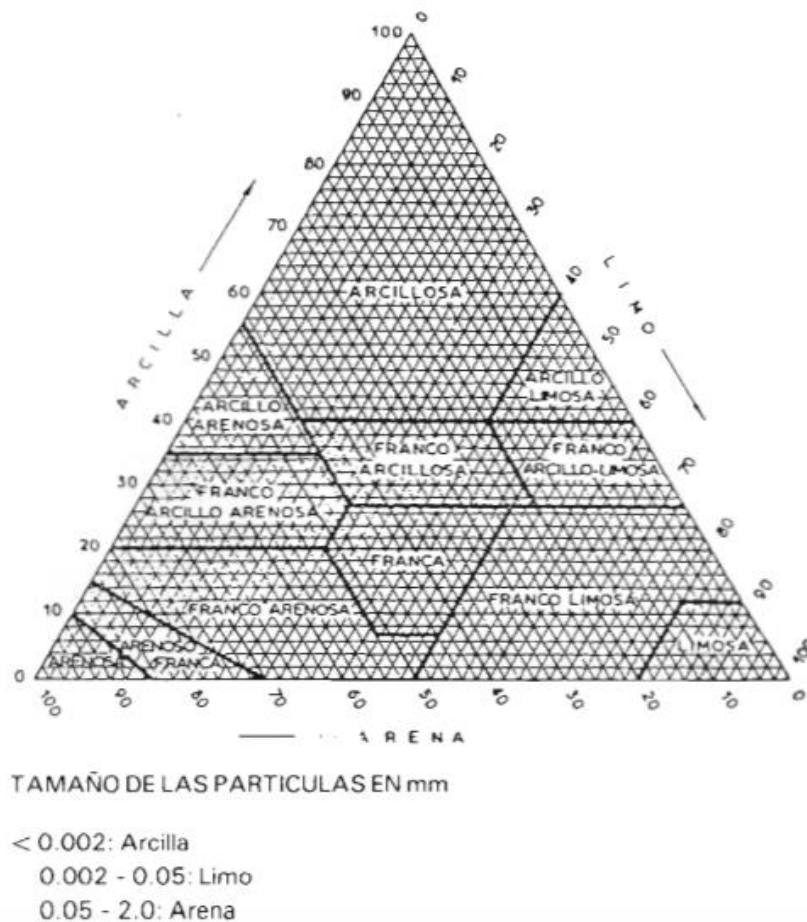


Figura 14 Diagrama para determinacion de texturas de suelo

Fuente: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

- Color: el color es característico de un tipo de suelo, ejemplo: Colores entre negros y grises, hablan en términos de contenido de materia orgánica, colores entre rojizos, amarillos y verdosos pueden ser indicadores de suelos con contenidos de hierro, suelos con coloraciones blancas son generalmente indicadores de contenido de calizas.
- Materia orgánica: se expresa en porcentaje, el contenido en M. O. es elevado, en general, en los primeros centímetros del suelo (primeros 5 cm de profundidad en zonas naturales y unos 10 cm en zonas cultivadas), disminuyendo en profundidad primero drásticamente y después paulatinamente hasta llegar casi a desaparecer a los 30-60 cm en el caso. (Valero, 1994)
- pH: Según (Valero, 1994) el PH mide el grado de acidez de un suelo, es decir, la concentración de hidrogeniones (H⁺) que existen en el suelo. En la escala de valor común 14, el valor de un suelo neutro es 7, siendo ácidos todos aquellos que tengan valores inferiores a 7, y básicos todos aquellos que tienen valores superiores a 7.

Las plantas cultivadas en general presentan su mejor desarrollo en valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos e cilmente disponibles y en un equilibrio m s adecuado.

- Carbonatos: Es fundamental tener acido clorhídrico, para detectarlos.
- Estructura: Da una idea de la permeabilidad del suelo es decir que tan conectados están los poros del suelo, los suelos bien estructurados suelen tener unas mejores propiedades as, mayor permeabilidad, mejor aireac y e mucho defendidos contra la ero (Valero, 1994) de tipo granular, laminar, poliedrica, prismática y sin estructura, la estructura del suelo da una idea del material parental.

3.2.2.2. Análisis químico

- N
- P
- K
- Mg
- Oligoelementos

Para determinación de estos elementos se pueden utilizar métodos colorimétricos o recurrir a análisis de laboratorio. Como el propósito de este procedimiento es el poder atender a las necesidades directamente en campo, se sugiere el método colorimétrico, que según (García & Fernández, 1988) es el método por medio del cual las sustancias nutritivas se extraen de la muestra de suelo, por medio de un disolvente y filtración, luego de esto para cada prueba, se toman partes del material filtrado y se ponen en contacto con los reactivos, siguiendo el orden del manual, como resultado se generaran colores en cada prueba correspondientes a la cantidad del componente nutritivo en la muestra de suelo y que deben corroborarse en la cartilla de colores.



Figura 15 Analisis y evaluacion de elementos nutritivos

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

3.2.3. Interpretación resultados

Los resultados obtenidos, deben brindar una guía para poder correlacionar el producto del análisis con la respuesta espectral de los índices de vegetación, es importante aclarar que no únicamente sabiendo el contenido de elementos que hay en el suelo, bastará para saber la causa de la anomalía evidenciada, sino que a nivel interno del suelo hay una conjugación de factores que son determinantes para hacer posible la transferencia de esos componentes nutritivos del suelo a la planta.

pH	Apreciación
< 5,3	Muy activo
5,3 – 5,8	Acido
5,9 – 6,7	Ligeramente ácido
6,8 – 7,2	Neutro
7,3 – 7,6	Ligeramente alcalino
> 7,6	Alcalino

Figura 16 pH del suelo

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

Arenoso	Franco	Arcilloso	Apreciación
< 0,7	< 1	< 1,2	Pobre
0,7 – 1,5	1,0 – 1,8	1,2 – 2,0	Satisfactorio
1,5 – 2,5	1,8 – 3,0	2,0 – 3,5	Rico
2,5 – 5,0	3,0 – 5,5	3,5 – 6,0	Muy rico

Figura 17 Nivel de materia orgánica según tipo de suelo

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

Apreciación	(mg/l) Nitrógeno mineral	
	Nitratos	Amonio
Muy bajo	< 4,5	< 4
Bajo	4,5 – 8	4 – 8
Satisfactorio	8 – 14	8 – 13
Rico	14 – 20	13 – 19
Muy rico	> 20	> 19

Figura 18 Nivel de fertilidad para las dos formas de Nitrogeno mineral, nítrico y amoniacal determinado por métodos de laboratorio portatil

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

Apreciación	(mg/l) Potasio		
	Suelos arenosos	Suelos francos	Suelos arcillosos
Muy bajo	55	60	80
Bajo o pobre	55 – 110	60 – 115	80 – 120
Ligeramente bajo	110 – 235	115 – 235	120 – 245
Satisfactorio	235 – 390	235 – 400	245 – 415
Ligeramente alto	390 – 600	400 – 600	415 – 600
Muy alto	600	600	600

Figura 19 Niveles de fertilidad para el Potasio, según tipo de suelo que se analice, determinado por métodos de laboratorio portátil

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

Apreciación	(mg/l) Fósforo	(mg/l) Magnesio
Muy bajo	10	2,3
Bajo	10 – 16	2,3 – 23
Satisfactorio	16 – 25	23 – 50
Rico	25 – 50	50 – 100
Muy rico	50	100

Figura 20 Niveles de fertilidad para Fósforo y Magnesio determinados por métodos de laboratorio portátil

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

3.2.3.1. Establecer niveles de fertilidad

Los niveles de fertilidad del suelo (pobre, medio y alto) se obtienen de dos formas, la primera es de acuerdo con los valores obtenidos a partir del color para cada componente nutritivo en la libreta de colores y la segunda manera requiere de más tiempo, cosa que no se podría determinar el mismo día de muestreo, donde se evalúa el comportamiento del cultivo ante el suministro de fertilizantes con dosis distintas para cada nutriente. La siguiente figura muestra según (García & Fernández, 1988) que los valores que expresan contenido de nutrientes por debajo de (X), corresponden a valores bajos, los cuales, ante suministro de fertilizantes, reaccionan de manera positiva, los valores que están por encima de (Y) corresponden a riqueza nutritiva del suelo, y ante un suministro de fertilizantes, no habrá respuesta por parte del cultivo, con excepción del Nitrógeno, que al ser saturado del mismo atenta con la calidad del cultivo. Y finalmente los valores comprendidos entre (X-Y) son de respuesta variable, donde el nivel de fertilidad puede ser caracterizado como (bajo, ligeramente bajo, medio, ligeramente alto)

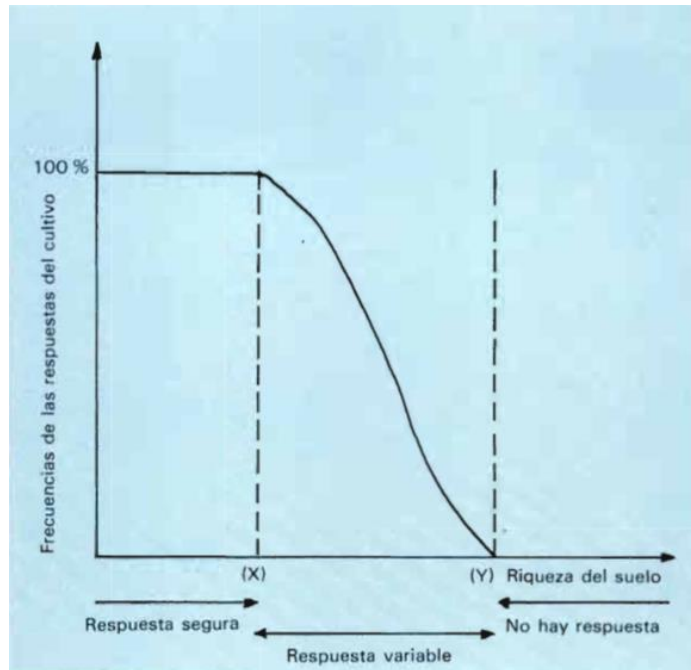


Figura 21 Contenido nutritivo de los suelos y la respuesta de los cultivos ante fertilización suministrada

Fuente: https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

3.2.3.2. Factores físicos

Como se expresó anteriormente hay factores físicos propios de la estructura del suelo, que permiten llegar a un estado óptimo de calidad de la planta sea por contenido nutritivo o de agua, este proceso para caracterizar la fertilidad del suelo de una finca hace énfasis en:

Textura: Los suelos arenosos, poseen buena capacidad de aireación, sin embargo, tienen baja capacidad de retención de nutrientes y de agua, de esta forma las aplicaciones de fertilizantes y agua por riego, puede generar pérdida económica. Por otro lado, los suelos arcillosos, tienen gran capacidad de retención de agua y nutrientes por su consistencia natural, sin embargo, su aireación no es suficiente para las condiciones ideales de cultivo (THOMPSON & TROEH, 1988). En el caso del suelo franco, que es uno de los mejores suelos con gran capacidad productora agrícola, el cual tiene una repartición de limo, arena y arcilla óptima, que puede variar, pero generalmente se considera de composición 45% arena, 40% limo y 15% arcilla. Se reconoce por su coloración marrón-marrón oscuro, por tener buena capacidad de retención y filtración de agua, por no encharcarse, no compactarse y por contener nutrientes esenciales para el cultivo. (Sánchez, 2019)

Contenido de materia orgánica: Un buen contenido de materia orgánica es esencial y se identifica por su color oscuro y grisáceo, su estructura granular facilita una aireación más adecuada, por ejemplo, para el caso de las arcillas donde su compactación, reduce el contenido de poros y para el caso de suelos arenosos facilita la retención de agua.

Estructura: La estructura del suelo superficial es importante respecto a la aireación, la permeabilidad, su relación con escorrentía, grado de resistencia a la erosión y la formación de una cama adecuada para la germinación de las semillas de los cultivos. (THOMPSON & TROEH, 1988)

3.2.4. Correlación con datos multiespectrales

Finalizadas las dos etapas, tanto la de teledetección como la del muestreo y análisis de suelo, se cuenta con la información necesaria para la generación de mapas de fertilidad del suelo, que permitan zonificar el terreno, desde las zonas que presentan anomalías espectrales, como respuesta a deficiencias hídricas, de nutrientes o presencia de plagas, los datos del análisis del muestreo permitirán dar a conocer las causas por las que los índices de vegetación evidencian variación espectral en áreas específicas con respecto al resto del cultivo.

La correlación debe ser ejecutada por un técnico-profesional que tenga conocimientos geológicos-agronómicos, de forma que pueda haber hecho la interpretación correcta de las deficiencias en campo y así mismo sepa identificarlas sobre el mapa.

3.2.5. Mapas de Fertilidad

Gracias a que cada muestreo ha sido georreferenciado, el siguiente paso es ingresar los datos correspondientes a cada muestra con sus coordenadas específicas, a un software que permita asimilar los valores sobre un modelo digital y que así mismo incluya las áreas anómalas del cultivo, este software en este caso se referencia como QGIS.

Se generan diferentes mapas sobre las zonas con anomalía para poder analizar de forma mas detallada e individual cada factor, cada mapa corresponde a:

- Mapa de fertilidad contenido de N
- Mapa de fertilidad contenido de P
- Mapa de fertilidad contenido de K
- Mapas de fertilidad factores físicos geológicos (determina fertilidad desde la textura, estructura, M.O., pH)

A continuación, se muestran ejemplos de mapas de fertilidad de Panamá, similares al resultado final de este proceso

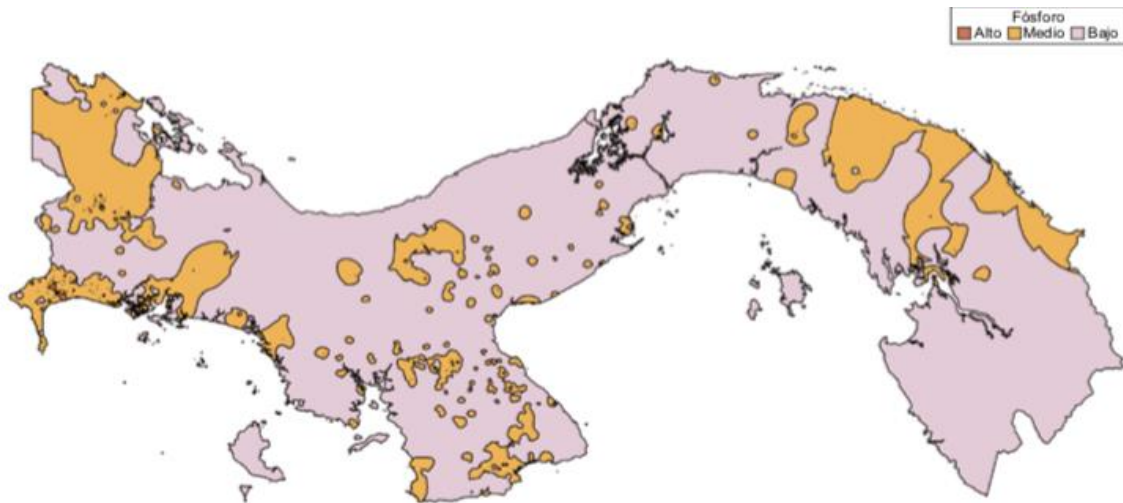


Figura 22 Contenido de Fósforo en suelos de Panamá

Fuente: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

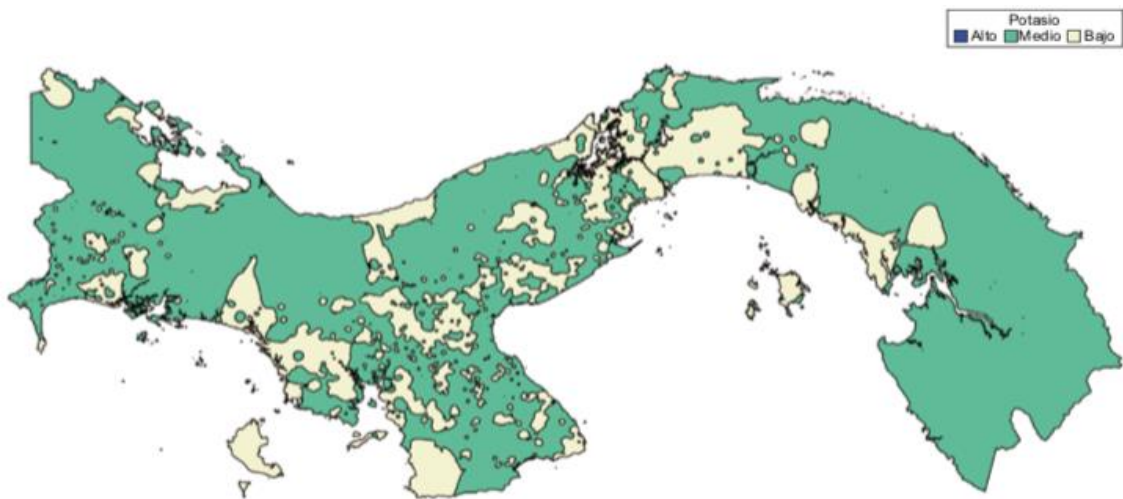


Figura 23 Contenido de Potasio en suelos de Panamá

Fuente: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

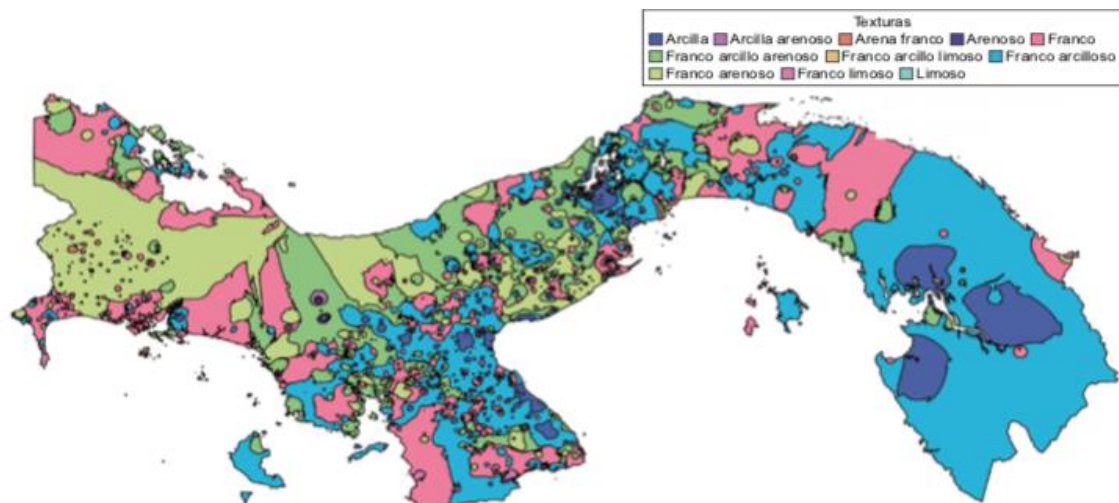


Figura 24 Contenido de texturas en suelos de Panamá

Fuente: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

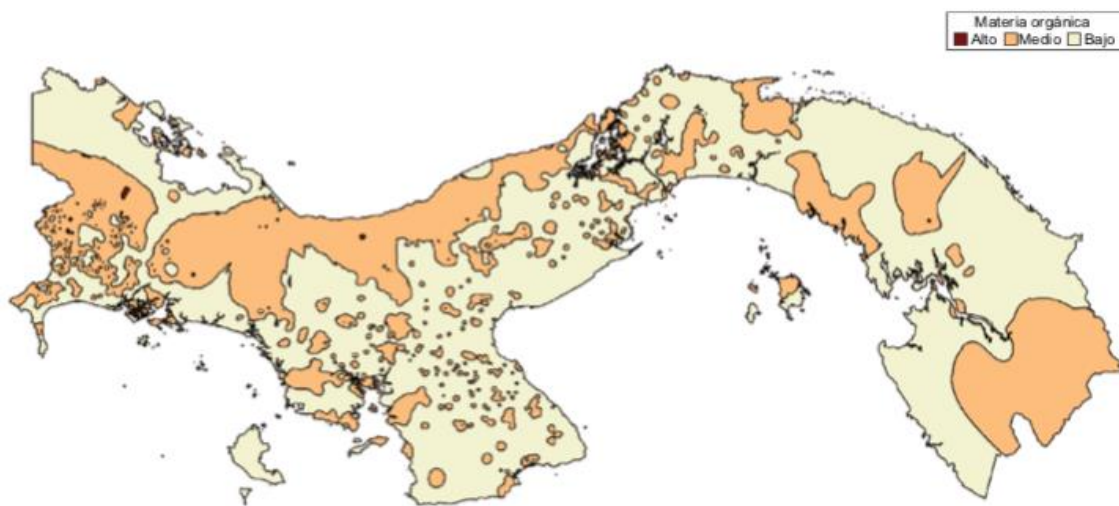


Figura 25 Contenido de materia orgánica en suelos de Panamá

Fuente: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

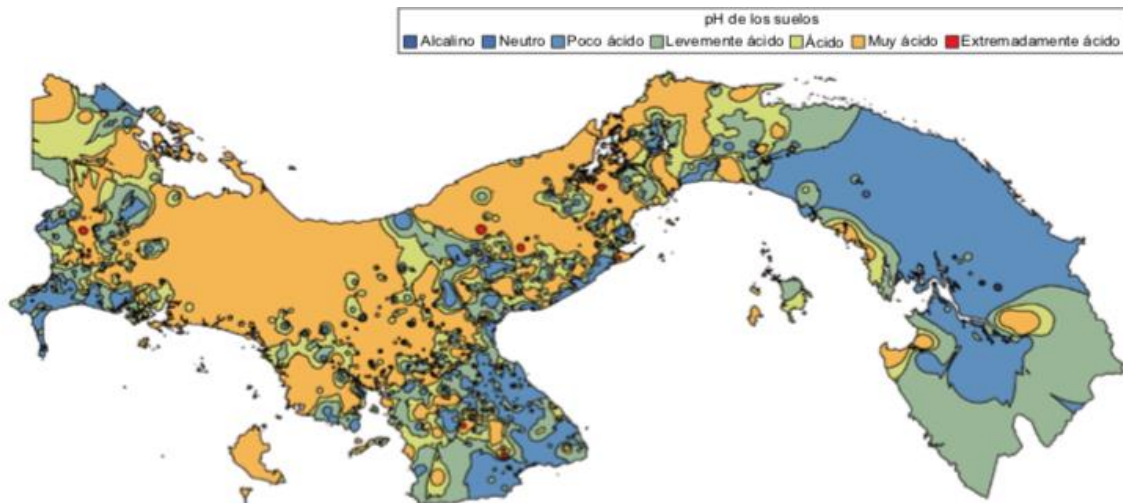


Figura 26 Contenido de pH en suelos de Panamá

Fuente: [http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

Finalmente, los resultados obtenidos habrán dado respuesta a la causa de las anomalías espectrales evidenciadas sobre el terreno.

Gracias a información como esta, el agricultor podrá tener mayor control sobre sus cultivos y sus niveles de producción agrícola, los cuales serán regulados a partir del suministro inteligente de fertilizantes y el conocimiento a detalle del estado interno de sus suelos, minimizando costos, maximizando rendimientos y evitando daños en el cultivo.

4. Conclusiones

Los drones o VANT son herramientas de trabajo, que complementan muy bien la agricultura de precisión, gracias a la practicidad del montaje de cámaras especializadas como la multiespectral, su incorporación permite obtener imágenes de alta resolución para la búsqueda de anomalías puntuales en terrenos pequeños o muy extensos, trayendo como beneficio el ahorro de costos, de tiempo y de trabajo.

Las imágenes NIR son de gran utilidad para la identificación rápida de niveles de estrés en los cultivos, esto es un primer indicador para llegar a la causa de deficiencias en el terreno y como consecuencia en el cultivo, las principales causas del estrés evidenciado por el reflejo de la radiación de las plantas son: Problemas de contenido nutritivo, déficit de agua y presencia de enfermedades o plagas.

La alianza entre procesos que involucren teledetección y geología de suelos, traen como beneficio para el productor agrícola, un mayor acercamiento mas profundo a los detalles de su terreno, que intervienen en la productividad y tecnificación de sus cultivos.

No siempre basta con saber el contenido de elementos como N, P, K en el suelo agrícola, es muy importante complementar esto con un analisis desde la estructura interna del suelo y sus propiedades físicas, las cuales pueden ser limitante para la transferencia de los componentes nutritivos del suelo a la planta.

Los mapas de fertilidad generados como resultado final de este proceso, son una gran herramienta para la optimización, planificación y toma de decisiones dentro del marco agrícola, estos, ayudan a intervenir en procesos de identificación de zonas no aptas para agricultura o por otro lado zonas óptimas para plantaciones de alta calidad para exportación.

Bibliografía

- Nieto, A. L. (2006). *Teledetección Nociones y Aplicaciones*. Carlos Pérez Gutierrez - Angel Luis Muñoz Nieto.
- Mitsikostas, E. (2016/2017). MONITORIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE TIERRAS CON DRONES Y FOTOGRAMETRÍA AEREA PARA APLICACIONES DE PRECISIÓN EN AGRICULTURA (Tesis de Grado). Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.
- J. Paneque-Gálvez, M. B. (2014). Small drones for community-based forest monitoring: an assessment of their feasibility and potential in tropical areas.
- P.J. Zarco-Tejada, M. G. (2013). Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV).
- M. Simard, N. P. (2012). Mapping forest canopy height globally with spaceborne lidar.
- Torres-Sánchez, J. P. (2013). Puesta a punto de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para detección de malas hierbas en fase temprana: resultados especiales y latura de vuelo. *XIV Congreso de la Sociedad Española de Fitopatología*, 43-47.
- Pilar Barreiro, C. V. (2014). DRONES EN LA AGRICULTURA. *Tierras de castilla y León*, 36.
- Joseph, G. (2005). *Fundamentals of Remote Sensing*. Delhi (India): Universities Press.
- L. LITTLETON, H. B. (1944). Edafología: Naturaleza y propiedades del suelo. *Acme Agency*, 479.
- z Garcá-Cervigón, J. J. (2015). Estudio de índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión: el dron.
- Medina, P., & J. C. (2017). DISEÑO DE UN MODELO DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN UTILIZANDO DRONES Y UN SISTEMA DE CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS QUE PERMITA IDENTIFICAR A TIEMPO LA GENERACIÓN DE LA PUDRICIÓN DEL COGOLLO EN CULTIVOS DE PALMA DE ACEITE QUE SE ENCUENTRAN. Bogotá.
- Jiříz, E. E. (2016). *Sistema de procesamiento de imágenes NIR e IR térmicas para agricultura de precisión*. Santa Clara.
- L, H. S., A, M., D, G., I, D., LE, H. M., & editors. (2017). Fotogrametría aérea basada en Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT). *Solución de bajo costo para la Agricultura Nacional*.

Kharuf-GutierrezI, S., Hernández-SantanaI, L., Orozco-MoralesI, R., DíazII, O. d., & MoraII, I. D. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *EAC*.

Ga E. L., & Fe ndez, F. M. (1988). *METODOS RAPIDOS DE ANALISIS DE SUELOS*. Madrid: Rivadcneyra, S. A.

Mendoza, R. B., & Espinoza, A. (2017). *écnica para Muestreo de Suelos*. *Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services*.

Valero, M. S. (1994). *INTERPRETACION DE ANALISIS DE SUELOS*. Madrid: Rivadeneyra, S. A.

THOMPSON, L. M., & TROEH, F. R. (1988). *Los Suelos y su fertilidad* . Barcelona: REVERTÉ S.A.

Sánchez, M. (16 de Agosto de 2019). *Jardineriaon*. Obtenido de JARDINERIA ON: <https://www.jardineriaon.com/suelo-franco.html>

Porto, J. P., & Merino., M. (2014). *Definicion.de*. Obtenido de Definicion.de: <https://definicion.de/rgb/>

Groenewald, T., & Köster, D. H. (18 de 1 de 2006). *Ergonomix*. Obtenido de <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/espectroscopia-infrarrojo-cercano-nirs-t26241.htm>

Porto, J. P. (2018). *Definicion.De*. Obtenido de Definicion.De: <https://definicion.de/infrarrojo/>

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. (SSSA). 1984. Glossary of Soil Science terms. SSSA. Madison. 38 p.

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6306/1/MedinaGarciaPedroAndres2017.pdf>

https://dl.djicdn.com/downloads/phantom_4_pro/20170719/Phantom_4_Pro_Pro_Plus_User_Manual_ES.pdf

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/86353/MITSIKOSTAS%20-%20Monitorización%20y%20optimización%20de%20tierras%20con%20drones%20y%20fotogrametr%C3%A4Da%20aérea%20para%20apli....pdf?sequence=4&isAllowed=y>

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000200007

https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf

https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1988_18.pdf

[http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/\\$FILE/Art%206.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/D1E4C0A520F674F7032583550050C0B0/$FILE/Art%206.pdf)

<https://es.slideshare.net/pipe69/deficienciasnutricionales>

CAPTA: proyecto de emprendimiento

CAPTA, es una iniciativa de emprendimiento de dos hermanos estudiantes de la universidad EAFIT, Santiago Bedoya y Juan Sebastian Bedoya que estudian Geología e Ingeniería de Diseño de Producto respectivamente, ambos debido a un contexto agricultor de su familia, deciden generar un servicio de agricultura de precisión con drones, a los que se les incorpora una cámara multiespectral para realizar un diagnóstico del terreno agrícola y para la obtención de información de gran utilidad para el cliente.

El servicio hará posible que la persona que lo contrate, pueda obtener la tranquilidad de como intervenir sobre su cultivo de acuerdo con los datos que reciba desde un multirrotor (Dron), ya que aparte de una entrega de resultados pos vuelo y pos procesamiento, que consiste en el área total del terreno, identificación de linderos, conteo de arboles, levantamiento topográfico, modelación 3D, también hará posible la identificación de anomalías espectrales directamente relacionadas con deficiencias en las plantas y el terreno, que gracias a un muestreo de suelos con equipo portátil para campo, determinará a través de un mapa de fertilidad de suelos, la correspondencia de esas anomalías, sea por problemas hídricos, insuficiencia o exceso de nutrientes en el suelo o presencia de plagas en la planta).

Estos resultados le serán entregados al cliente en un informe digital o físico de acuerdo a la necesidad o gusto del usuario, con la interpretación de los datos y con sus respectivas recomendaciones, en pro a generar mayor productividad y disminuir los gastos innecesarios de insumos y dinero.

A continuación se listan los anexos complementarios al proyecto de emprendimiento

- Modelo CANVAS y Segmentación del mercado (Documento aparte)
- Análisis de competencia (Documento aparte)
- (PMV) Producto mínimo viable (Documento aparte)
- Manual de marca (Documento aparte)
- Brief o resumen de emprendimiento (Documento aparte)
- Análisis financiero (Documento aparte)