



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diagnóstico de la salud de un cultivo de brócoli a través de imágenes capturadas por un VANT**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecatrónico**

**P R E S E N T A**

Miguel Angel Rosas Raya

**DIRECTOR DE TESIS**

Rodrigo Alejandro Gutiérrez Arenas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

## **Dedicatorias**

“You bitch,” I whispered, “I love you.” Then I came.

Charles Bukowski, *Factorum*

## Agradecimientos

Desde la afirmación categórica de la culminación de un periodo, esperando esquivar los sentimentalismos que harían de esta mención un acto ególatra, quisiera reconocer los esfuerzos ajenos que, de alguna manera, resultaron en la creación de este trabajo.

En primer lugar, como disminución a la deuda adquirida desde el primer día que llegué a la Ciudad de México está la gratitud que hago pública hacia la familia de Sergio y Macrina; quienes, cuando enfermo de distancias, supieron hacer de su disfuncionalidad familiar un reposo curativo y alentador. Me brindaron sin reservas solidaridad, compañía, autoafirmación y afecto. Hasta estos días estoy atado a sus desprendimientos ciegos en mi beneficio y espero con ansias el día para probarme su benefactor en fe y recursos.

A mi madre y a mis hermanas, llave de mi historia, les agradezco haber sido respetuosas de mis convicciones y por ejecutar esa preocupación por la provisión que en nuestro contexto es la materialización de tantas cosas no verbalizadas.

A mis amigos, muchos o pocos a momentos, especialmente a los que sobrevivieron por convicción al ocaso de la universidad. Ellos son la construcción de mi perfil profesional, incluso más que los docentes o las aulas; en ellos encontré originalidad y transparencia, compañía en la batalla contra los mismos vicios, incondicionalidad, un modelo a seguir en ambición y respeto, inspiración intelectual y demostraciones de amor perene.

Por último, doy gracias a mi asesor por darme libertad de administración y estilo a sabiendas de que mi producción, pobre o justa, es estéril sino bajo mis propios criterios. Gracias por abrirme una brecha y evitarme el desgaste en burocracias y egos.

## Tabla de contenido

Abstract.....	Error! Bookmark not defined.
Introducción .....	7
1 Información general.....	9
1.1 Estado del arte .....	9
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos.....	17
2 Recopilación de imágenes .....	19
3 Procesamiento de Imágenes .....	23
3.1 Configuración del espacio de trabajo completo .....	23
3.2 NDVI .....	23
4 Instrumental .....	27
4.1 Cámara y lente .....	27
4.2 Drone.....	30
4.3 Cardán.....	33
4.4 Aplicación.....	34
4.4.1 Código .....	34
4.4.2 Interfaz Gráfica .....	37
5 Resultados .....	42
5.1 Pruebas de laboratorio .....	42
5.2 Tomas comprometidas por la iluminación natural .....	50
5.3 Tomas comprometidas por la cámara.....	53
5.4 Parcela con áreas de subdesarrollo en el cultivo .....	56
5.5 Parcela de desarrollo uniforme .....	58
5.6 Parcela con lámina de riego .....	60
5.7 Suelo nitrogenado .....	64
6 Conclusiones.....	67
7 Bibliografía .....	75
ANEXO 1: Plano del Gimbal.....	78
ANEXO 2: Explosivo del ensamble gimbal, cámara y dron.....	79
.....	80
ANEXO 3: CÓDIGO .....	80



## Resumen

En los últimos años el uso de vehículos aéreos no tripulados en la agricultura ha captado la atención de instituciones de investigación, clientes potenciales y desarrolladores. En la actualidad existe un mercado sólido en Estados Unidos que ofrece el servicio de análisis de cultivo cubriendo algunos o todos de los siguientes aspectos: instrumentación, procesamiento, diagnóstico y colaboración en las medidas correctivas.

En el presente documento se describe una primera aproximación a la configuración de un servicio de análisis de desarrollo vegetal bajo dos ejes secuenciales. El primero, es el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) como herramienta base para emitir pruebas concluyentes. El segundo, es la obtención de dicho índice evadiendo los costos del instrumental típico al optar por una cámara de bajo costo modificada en sus filtros para registrar actividad luminosa en el espectro infrarrojo.

Las pruebas obtenidas son un producto conjunto de vuelos automatizados de un dron comercial, de fotografías ordenadas provenientes de la cámara modificada, del procesamiento del NDVI para su análisis por contrastes y de una diferenciación binaria de desarrollo vegetal óptimo.

## Introducción

La agricultura proporciona empleo a alrededor de 13% de la fuerza de trabajo, lo que representa unos 3.3 millones de agricultores y 4.6 millones de trabajadores asalariados y familiares no remunerados. La agricultura tiene áreas de oportunidad de vital importancia que deben y están siendo abordada en cierta medida por las instituciones mexicanas.

Con razón de lo anterior, en el marco del Encuentro de Ministros de Agricultura de las Américas 2015 el secretario de agricultura de México señaló que la prioridad para el campo mexicano es la transición de grandes extensiones de autoconsumo a espacios productivos para la competencia nacional e internacional con la finalidad de mejorar los ingresos del campesino mexicano. Es preciso hacer eficiente a la pequeña agricultura familiar donde está el mayor potencial para incrementar la producción de alimentos a nivel nacional haciendo uso de las nuevas tecnologías y en pro de la conservación ambiental.

El uso de los drones en la agricultura reúne información descriptiva de la situación para valorar las prácticas actuales y encontrar áreas de oportunidad en el proceder de los agricultores de pequeña escala; además de que, busca guardar datos que eventualmente describan tendencias y patrones para ser interpretados en medidas correctivas o en la concepción de las llamadas buenas prácticas. Principalmente, propone el uso de instrumental y herramientas de procesamiento de información que ya existen y están a la mano de quien las busca, a propósito de concluir de manera objetiva y respaldada las soluciones más pertinentes, pero sobre todo, de manera reiterativa. Es decir, el agricultor puede evaluar el estado de su cultivo tantas veces como lo necesite sin que esto signifique un gasto excesivo en oposición a las encarecidas técnicas actuales de uso de imágenes satelitales o unidades aéreas tripuladas.

El proyecto plasmado en este documento plantea el escaneo aéreo con rutas preprogramadas utilizando un dron comercial, una cámara con un filtro de luz infrarroja en su lente que ha sido instalado manualmente por los gestores del proyecto y una herramienta de procesamiento de imágenes que busca resaltar los elementos de interés con ayuda de contrastes y diferenciación binaria.

El desarrollo abordado en este documento versa sobre la posibilidad de construir un primer acercamiento básico procurando el uso de elementos económicos que, en cierta medida, pueden emular los resultados más relevantes con respecto al crecimiento del cultivo. El eje radical que caracteriza a esta propuesta como asequible es la sustitución de una cámara multispectral profesional por una cámara de uso convencional y de bajo costo a la que se le ha removido el filtro infrarrojo y sustituido por otro que la habilita para la recepción de luz infrarroja donde otrora se albergaba la información de la luz azul; y, adicionalmente, el procesamiento realizado es propio, es decir, no necesita del pago de licencias.

Ante los mismos comportamientos ópticos, también se busca analizar hasta qué punto se puede emitir una conclusión respecto a la efectividad de las láminas de riego en las parcelas basándose en los mismos principios de análisis, pues la reflectancia del suelo a la luz infrarroja obedece sistemáticamente a la descrita por las plantas.

Por todo lo anterior, se busca sentar un precedente en el acercamiento al diagnóstico de la salud de un cultivo como reflejo del desarrollo normalizado de la planta desde una perspectiva accesible económicamente para el agricultor de pequeña escala. Se propone el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la oportuna localización de secciones en subdesarrollo dentro de las parcelas analizadas, a fin de que se les pueda administrar una medida complementaria, una medida correctiva o replantar las prácticas empleadas hasta el momento en la administración de agua, fertilizantes o plaguicidas.

Los esfuerzos son estratégicamente dirigidos hacia la producción de brócoli debido a que los agricultores dedicados a este cultivo encajan en el perfil del productor objetivo para las intenciones gubernamentales de tecnificar el campo; y porque los mecanismos de compra y venta establecidos por contrato son susceptibles al efecto de las conclusiones que aquí se buscan.

En otras palabras, el brócoli es formalmente distribuido y goza del interés tanto de productores como de distribuidores por una producción controlada y eficiente. Actualmente, en la república mexicana se siembra una superficie de 214 mil hectáreas de Brócoli. Para el 2010, la producción de Brócoli a nivel nacional, se reportó 314 mil toneladas. Dentro de los principales cinco estados productores de Brócoli: Guanajuato es el principal estado productor con 172 mil toneladas, esto es más del 50% de la producción nacional

Esta tesis se encuentra estructurada de la siguiente manera. En el capítulo 1 se encuentra la información que respalda la pertinencia de la estrategia con respecto a la situación económica y productiva de México. Ahí mismo se encuentra la descripción del contexto actual con el que compiten las conclusiones obtenidas; en el capítulo 2 se habla de la estrategia para planear los vuelos bajo los criterios de fotogrametría aérea; en el capítulo 3 se describe el procesamiento que forma parte del proyecto y sus principios; en el capítulo 4 se presenta exhaustivamente la justificación del instrumental elegido y sus propiedades que los catalogan como apropiados para los objetivos de la investigación; en el capítulo 5 se abordan los comentarios descriptivos del instrumental con respecto a su comportamiento ante diferentes estímulos y su rendimiento según diferentes intenciones; finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones dentro del esquema general de una primera iteración con instrumental por ser caracterizado bajo una aspiración de construcción del servicio económico de diagnóstico para el campo mexicano.



# 1 Información general

## 1.1 Estado del arte

En el presente documento se hace uso de los conceptos vehículo aéreo no tripulado (VANT) y dron de manera indistinta. La Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos de América define a los VANT o dron como dispositivos aéreos sin piloto a bordo pero controlado por un operador desde el suelo [1].

Estos dispositivos han sido usados con fines militares desde la primera guerra mundial, sin embargo, las unidades que resultan de interés para este trabajo son aquella de total acceso al público y exposición comercial.

En el 2014 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) nombró a los drones de uso agrícola como uno de los inventos ingenieriles más importantes del año [2] pero su aplicación comienza tiempo atrás con la incursión de los drones en el mercado. El agricultor del estado de Idaho en Estados Unidos, Robert Blair, ha usado drones en la agricultura desde el 2007 con fines compatibles con esta investigación, aunque, se sabe que se han usado drones para la aplicación de plaguicidas en Japón desde 1999 [3].

A raíz de la exposición que Robert Blair, ahora presidente de la Federación de Idaho para la Dirección de Granjas (Idaho Farm Bureau Federation), y el MIT han traído a esta tecnología muchas compañías han surgido para proveer el servicio de escaneo de cultivos, análisis de estrés de las plantas, niveles de irrigación, administración de plaguicidas y nutrientes, etc.

De acuerdo con DRONELIFE, DRONETHUSIAST y bestdroneforthejob.com, organizaciones dedicadas a informar al consumidor sobre las ofertas comerciales y uso de los drones, existen 3 compañías que lideran el mercado de los drones agrícolas: senseFly, Presicion Hawk y DJI [4] [5] [6].

SenseFly maneja un servicio dividido en 6 etapas. En primera instancia plantea la selección de la instrumentación definiendo puntos como: las características del vuelo que comprende desde la altura del escaneo, el tipo de lanzamiento, una ruta automática con puntos de control y una zona de aterrizaje; otro punto es la descarga de la información recabada en la estación de procesamiento para crear un ortomosaico con cada una de las tomas de los distintos puntos de control; el paso siguiente es el punto medular del servicio de SenseFly en esta primera etapa y se trata de la selección de las cámaras de acuerdo al desarrollo analítico que se desee. Manejan cámaras RGB para el modelado y la visualización, de infrarrojo cercano (NIR) para la humedad, el estrés, la erosión y el conteo de plantas, de espectro rojo (RE) para la salud y el manejo de agua, multiespectrales para todo lo anterior con excepción del conteo y, finalmente, thermoMAP para la maduración y fisiología de la planta y los pronósticos de cosecha.

En la segunda etapa del servicio se lleva a cabo todo el procesamiento de las imágenes para obtener los indicadores requeridos, ya sea en la estación que la compañía provee o por medio de terceros involucrados.

El tercer paso es la observación que conduce hacia el primer bosquejo del diagnóstico. Se determinan las plagas, las enfermedades, la mala hierba, la erosión y el conteo de plantas. Toda esta información es completada y confirmada haciendo excavaciones exploratorias y tomando muestras para análisis de suelo, fertilidad y Ph.

En un cuarto momento se lleva a cabo la evaluación con cifras que describen cuantitativa y cualitativamente el cultivo en revisión.

En la quinta etapa la empresa crea un plan de acción con respecto a los niveles de fertilización, las medicinas a aplicar, la distribución de riegos, uso de maquinaria e, incluso, el cambio de prácticas agrícolas.

Finalmente, en la última etapa se decide si se aplican las medidas correctivas o preventivas o si se ignoran por suponer riesgos o gastos inadecuados [7].

Por otro lado, Presicion Hawk tiene el mismo alcance de instrumentación y procesamiento pero un enfoque de servicio diferente. Esta empresa se destaca por promover la idea de que un agricultor tiene necesidades específicas y no necesita adquirir un software completo. Con la finalidad de evitar gastos innecesarios Presicion Hawk ofrece una gama amplia de algoritmos de procesamiento de venta individual y de fácil acceso para sus clientes, de hecho, han logrado un ambiente intuitivo para la comodidad de sus usuarios [8].

DJI es una de las compañías más reconocidas para la construcción y venta de drones en el mercado. Tiene gran experiencia en la creación de drones con uso recreativo de alta calidad y ahora presenta un dron especialmente diseñado para las actividades agrícolas. El Agras MG-1 es el primer dron de DJI enfocado en desempeñar actividades en este rubro. Se trata de un octocopter (8 motores) eficaz y manejable para la dosificación de herbicidas, plaguicidas y fertilizantes; de hélices plegables, capacidad de carga de hasta 10 kg, resistente al polvo y con memoria de rutas; en lo que a su efectividad concierne, es capaz de cubrir de 4000 a 6000 m<sup>2</sup> en 10 minutos y resulta de 40 a 60 veces más rápido que la aplicación manual de las sustancias mencionadas [9].

Las tres compañías líderes ofrecen servicios diferentes. Una ofrece un servicio completo de instrumentación, análisis, procesamiento, diagnóstico y empleo de soluciones, perfecto para los agricultores que no deseen interactuar con los pasos intermedios y sólo tengan poder de decisión sobre la factibilidad de las medidas propuestas. Otra compañía ofrece un servicio dividido en funciones diversificadas para que el cliente adquiera únicamente aquellas que crea convenientes en un ambiente amigable y transparente. Y por último, tenemos la empresa enfocada no al servicio ni

a la atención diferenciada sino a la instrumentación en su más alto grado de sofisticación. Estas son las opciones dominantes del mercado.

En lo que respecta a México ya existen empresas dedicadas al desarrollo de drones con funciones específicas avocadas a la agricultura y a la ganadería. Un ejemplo de esto podría ser el Laboratorio de Drones en el CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada), donde usan drones de diferentes tipos y buscan cumplir siempre con las certificaciones y regulaciones establecidas por el gobierno mexicano [10]. También hay quienes fabrican su propio hardware y software para el uso de drones en la agricultura de precisión, fotogrametría, monitoreo de construcciones, modelado 3D, apoyo a protección civil, turismo y cinematografía; como el proyecto Quetzal Aeroespacial [11].

De acuerdo a las regulaciones oficiales, los drones de análisis por imágenes de cultivos, en general, entran dentro de la denominación de un Sistema de Aeronave Pilotada a Distancia (RPAS) Micro, es decir, de 2 kg o menos que pueden ser para uso recreativo o comercial. Las limitaciones consisten en una altitud máxima de vuelo de 122 m y no debe alejarse a más de 457 m de distancia horizontal del piloto [12].

## 1.2 Justificación

La agricultura en México tiene un protagonismo complejo. Es un sector económico importante por la cantidad de personas involucradas que sostienen una dependencia precaria con dicho sector, y pese a una relación de tales magnitudes se encuentra aún en muchísima desventaja con la producción y tecnología agrícola de otros países. A pesar de lo anterior, México figura en la producción y exportación de muchos productos a nivel mundial.

La agricultura proporciona empleo a alrededor de 13% de la fuerza de trabajo, lo que representa unos 3.3 millones de agricultores y 4.6 millones de trabajadores asalariados y familiares no remunerados. En términos de desarrollo territorial se habla de que, aproximadamente 24% de la población total nacional vive en las zonas rurales (usando cifras de 2005) [13].

La agricultura mexicana se divide en un sector comercial altamente capitalizado, un sector de pequeños agricultores con lazos con el mercado, en particular con el mercado interno, y un sector de subsistencia que produce para el consumo familiar y cuyo ingreso depende en un grado considerable de actividades externas. En el caso de México, se calcula que estos subsectores constituyen un 15%, 35% y 50% de la población agrícola, respectivamente, aunque en términos de producción estos porcentajes se invierten.

Cada uno de los subsectores mencionados tiene tecnología e información, así como necesidades sociales y económicas diferentes. El primero necesita mantener su competitividad en los mercados de exportación, en tanto que el segundo se centra en los mercados internos. Para el grupo de subsistencia la prioridad es tener acceso a otras fuentes de ingresos para escapar de la

pobreza que representa la agricultura de subsistencia. En México, dos terceras partes de la población nacional en pobreza extrema se encuentran situadas en el campo mexicano [13].

Con razón de lo anterior, en el marco del Encuentro de Ministros de Agricultura de las Américas 2015 el secretario de agricultura de México, José Calzada Rovirosa, señaló que:

*En México, se transita del autoconsumo de grandes extensiones de las zonas rurales a espacios productivos para la competencia nacional e internacional, con acciones para que un mayor número de campesinos tengan mejores ingresos por su actividad [...] Con una frontera agrícola agotada, la innovación, la investigación y la aplicación de nuevas tecnologías constituyen un camino alternativo para producir más con menos[...] Una producción de alimentos sin criterios ecológicos y el deterioro creciente de la tierra sería insostenible en el mediano y largo plazos [14] [...]*

Las declaraciones hacen coincidir los objetivos y alcances de este trabajo con las necesidades de desarrollo del campo mexicano. Es preciso hacer eficiente a la pequeña agricultura familiar, donde está el mayor potencial para incrementar la producción de alimentos a nivel nacional, haciendo uso de las nuevas tecnologías y en pro de la conservación ambiental.

La agricultura de precisión muestra una manera de aprovechar al máximo los recursos naturales con los que se cuenta dentro de un esquema metódico y analítico que disminuye el riesgo y el desperdicio en los procesos de producción, asimismo, busca fortalecer la imagen de los productos mexicanos en el mundo desde una base científica y registros contundentes.

Esta perspectiva de aplicación de la tecnología busca: impactar en la reducción de costos por causa de la aplicación de insumos, fomentar el uso de tecnologías de la información para incrementar el tamaño y la escala de las operaciones agrícolas sin incrementar la mano de obra, mejorar la selección y control de procesos para obtener productos de alto valor o especializados, impulsar el registro y el seguimiento de la producción y, por último, busca conseguir beneficios ambientales [15].

La agricultura de precisión es un sistema de administración de recursos basado en la información y en la tecnología, usa al menos uno de las siguientes fuentes de información: suelo, cultivo, nutrientes, pestes, humedad, ganancias óptimas, sustentabilidad y protección del ambiente [15]. Desde su definición se postula como una de las estrategias para conseguir los objetivos de desarrollo del campo mexicano planteados anteriormente.

El uso de los drones en la agricultura es una estrategia que nace de la agricultura de precisión. Aborda el problema reuniendo información descriptiva de la situación para valorar las prácticas actuales y encontrar áreas de oportunidad en el proceder de los agricultores de pequeña escala, busca guardar datos que eventualmente describan tendencias y patrones para ser interpretados en medidas correctivas o en la concepción de las llamadas buenas prácticas.

Principalmente, propone el uso de instrumental y herramientas de procesamiento de información que ya existen y están a la mano de quien las busca, a propósito de concluir de manera objetiva y respaldada las soluciones pertinentes, pero sobre todo, de manera reiterativa. Es decir, el agricultor podrá evaluar el estado de su cultivo tantas veces como lo necesite sin que esto signifique un gasto excesivo, en oposición a las encarecidas técnicas actuales de uso de imágenes satelitales o unidades aéreas tripuladas.

Por ejemplo, una parcela de 20 hectáreas sembrada de brócoli es revisada cada 8 días mediante el recorrido a pie y supervisión a simple vista por un trabajador\*. Si se contara con el servicio de revisión con drones el agricultor podría revisar con mayor frecuencia y mayor exactitud en un menor tiempo.

De manera adjunta, se entiende que la agricultura de precisión es una herramienta consagrada en su uso y respaldada en sus resultados, y que, desafortunadamente, algunas de sus formas de aplicación son inasequibles para el agricultor mexicano promedio. Este prestigio intrínseco de las herramientas computacionales, matemáticas y tecnológicas se puede explotar en formas que ya se han hecho anteriormente en otras partes del mundo. En el imaginario del uso de esta tecnología en México, los intermediarios de recolección del producto agrícola que ofrezcan la cosecha mexicana a un comprador internacional podrían apelar a las fortalezas que posee su producto al haberse gestado con tecnología de punta que maximiza y cuida los resultados, que dota de consistencia en la calidad del producto y que merma la incertidumbre del comprador en la transacción a través de la consulta de los registros de la evolución y atención del cultivo.

Consecuentemente, el producto agrícola mexicano despuntaría en la oferta internacional como una opción segura y de calidad, donde además, ya no serían aquellos agricultores altamente capitalizados los únicos que pudieran contribuir a la oferta internacional sino también aquellos pequeños productores que estarían cada vez más cerca de cumplir de manera comprobable los estándares internacionales.

El desafío del sector es encontrar formas de contender en un sistema comercial que se caracteriza por la diferenciación de productos, donde el éxito está determinado por la capacidad de desarrollar ventajas competitivas que permitan satisfacer una demanda nacional e internacional de productos de calidad. Estas características del mercado han aumentado la necesidad de información y de tecnología, ya no sólo en relación con el producto en sí, sino también con todo el proceso de producción, que incluye buenas prácticas agrícolas, el manejo y tratamiento posteriores a la cosecha, la certificación, el etiquetado del país de origen, la clasificación o normalización, el empaclado, la seguridad alimentaria y los medios de almacenamiento y transporte [13].

---

\* Estrategia señalada por uno de los productores de brócoli de mayor cobertura en el sur de Guanajuato y en consideración de las condiciones de la zona.

Por todo lo anterior, este trabajo busca sentar un precedente en el acercamiento al diagnóstico de la salud de un cultivo como reflejo del desarrollo normalizado de la planta desde una perspectiva accesible económicamente para el agricultor de pequeña escala. Se propone el uso del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para la oportuna localización de secciones en subdesarrollo dentro de las parcelas analizadas, a fin de que se les pueda administrar una medida complementaria, una medida correctiva o replantar las prácticas empleadas hasta el momento en la administración de agua, fertilizantes o plaguicidas.

Por ejemplo, la gestión del uso de fertilizantes con precisión puede aumentar su rendimiento del 10 al 30 por ciento [16]. Se percibe entre los productores de la región sur de Guanajuato que fácilmente se puede manifestar una pérdida de hasta el 10% del volumen de producción por causa de secciones de bajo desarrollo. A través de su experiencia de largos años de trabajo y la colaboración con intermediarios que comunican los rigores de exportación, los agricultores detectan que el rezago de crecimiento se da en mayor medida por secciones de terreno mal niveladas donde el agua se acumula con perjuicio para la planta o en cultivos donde la mezcla inicial de nutrientes que se aplica antes de plantar no es lo suficientemente rica. Para ambos casos los agricultores logran subsanar, en cierta medida pero nunca por completo, esta disminución del crecimiento a través de la aplicación focalizada y diferenciada de los fertilizantes en las siguientes dos etapas de aplicación de sustancias antes de la cosecha.\*

El uso del NDVI por sí sólo no se acerca a cubrir la extensa gama de servicios provistos por los drones en la oferta que existe en países desarrollados, pero sí representa un paso hacia adelante para generar confianza sobre la inversión a largo plazo en estrategias tecnológicas innovadoras. En el mejor de los casos, esta investigación predispondrá a los agricultores y a los intermediarios recolectores a apoyar en la creación de estos servicios para bien de quien los oferte y de quien busque implementarlos.

Se seleccionó el brócoli como cultivo de estudio debido a la gran influencia que tiene sobre ciertas regiones del país y lo que las estrategias depuradas de desarrollo suponen en mejora del medio ambiente. Uno de los problemas diagnosticados tanto por las empresas exportadoras como por los productores es el uso inadecuado de agua y de fertilizantes, que, eventualmente, desembocan en el deterioro del suelo y la eutrofización de los cuerpos de agua.

Es debido resaltar la importancia económica del brócoli. Actualmente, en la república mexicana se siembra una superficie de 214 mil hectáreas de Brócoli. Para el 2010, la producción de Brócoli a nivel nacional, se reportó 314 mil toneladas. Dentro de los principales cinco estados productores de Brócoli: Guanajuato es el principal estado productor con 172 mil toneladas, esto es más del 50% de la producción nacional [17].

---

\* Según el método usado por los agricultores a razón del tipo de suelo en uso e impuesto por las empresas comercializadoras del brócoli en el sur de Guanajuato.

La mayor parte de la producción, rondando el 80% se exporta principalmente a Estados Unidos y en menor medida a Japón, Canadá y Europa. El producto se vende fresco y congelado, siendo las empresas encargadas de la refrigeración los receptores de la materia prima y consecuentemente los que trasladan y ejecutan las normas de calidad de los compradores internacionales y nacionales.

Estas llamadas congeladoras consideran la ineficiencia del uso de fertilizantes y el uso de agua como prioridad en las áreas de oportunidad del campo mexicano. La fertilización se basa conforme a los contenidos nutricionales del suelo. El Brócoli responde rápidamente a la fertilización del Nitrógeno, sin embargo, se deben de tomar precauciones en la aplicación de este abono inorgánico, ya que puede ser causante del marchitamiento en la planta por exceso de este elemento químico [17].

La falta de eficiencia en el uso de fertilizante tiene impacto directo sobre los costos de producción más que con en el rendimiento del cultivo; sin embargo, en general se acepta que en muchas ocasiones se aplican cantidades excesivas de nutrimentos, principalmente de Nitrógeno, lo que provoca la contaminación del ambiente y la degradación paulatina del suelo [18].

Por ejemplo, en la región sur del estado de Guanajuato, zona seleccionada para llevar a cabo las pruebas de campo, se ha detectado que la laguna de Yuriria contiene altas concentraciones de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) derivadas de la aplicación de urea y sulfato de amonio . Se considera ya a éste como un cuerpo de agua eutrofizado, con alta concentración de vegetación superior y micro algas (como se ejemplifica en la ilustración 1), de bajo nivel de oxígeno en el agua y de biodiversidad reducida [19].

## Ilustración 1



Fotografía del lirio que cubre las orillas de la laguna de Yuriria, muestra de la concentración anormal de vegetación superior.

Por otro lado, el problema en la administración del agua al brócoli es causado por el uso de sistemas de baja eficiencia como es el riego tradicional por agua rodada y la aplicación de láminas de riego excesivas.

Para hacer frente a las exigencias del mercado en los Estados Unidos, el principal consumidor del brócoli mexicano, las empresas han desarrollado programas intensivos de capacitación, implantación y certificación en sistemas de calidad e inocuidad. Estos programas han permitido cumplir con las especificaciones de calidad que exigen los consumidores internacionales y en general los procesadores comentan que no han tenido problemas para poder cumplir con estas exigencias [18].

Se sienta, entonces, un precedente de tecnificación y valoración de las aportaciones tecnológicas en la región guanajuatense dedicada a la producción del brócoli. Se espera que, de ser posible, la aplicación de medidas correctivas o focalizadas a través del uso de los drones sea bien



recibida por los productores locales y adoptada como parte del servicio de asesoramiento que desempeñan los ingenieros agrícolas enviados por los recolectores intermediarios. En otras palabras, no sólo el agricultor podrá contratar el servicio por iniciativa propia, sino que las congeladoras y recolectoras de brócoli fresco podrían hacerse del equipo necesario y también de la capacitación a sus ingenieros supervisores. Por consiguiente, estas empresas estarían en posición de proveer la información recabada por el procesamiento de imágenes de su cultivo a sus productores bajo contrato.

### 1.3 Objetivos

Debido a que la apuesta en esta investigación emplea una tecnología alternativa que expresa poco rigor científico en su venta y mecanismos de promoción, es necesario que se caracterice el comportamiento de esta tecnología con el fin de conocer sus limitantes de aplicación y predecir el fallo. Comenzando con los principios bajo los que opera se debe analizar la respuesta a estímulos luminosos de diferentes tipos de onda para poner en tela de juicio: su recepción convencional del espectro rojo y verde, la respuesta ante emisiones fuera del espectro visible y el espectro de infrarrojo cercano y, por último, la captación de información en diferentes puntos del espectro de luz infrarroja.

No sólo es vital caracterizar el desempeño del instrumental óptico en situaciones aisladas o controladas, sino que, con mayor urgencia práctica aún se debe cuestionar y concluir respecto a su funcionamiento en la operación a la que será designado. Se dispone a emitir una reseña de cómo se manifiestan los resultados bajo la influencia de la operación de la cámara suspendida en el dron a diferentes alturas y en cultivos en diferentes etapas de crecimiento. Se debe cuidar, además, de abordar en las conclusiones el efecto que tiene la iluminación natural.

Una vez determinada la narrativa de las limitaciones y recomendaciones de uso, el objetivo es obtener evidencia fotográfica procesada que haga notar con contraste y definición qué cuerpos constan de materia vegetal por sobre aquellos que no la poseen.

Es primordial obtener un contraste que permita al operador distinguir visualmente con claridad entre los elementos de la toma que forman el cultivo per se. Así mismo, se deben estudiar con igual atención los resultados numéricos del cálculo del NDVI para configurar la correlación que estos pueden tener con los obtenidos por cámaras multiespectrales o por satélites para ser capaces de hablar de la posibilidad de construcción de bases de datos consistentes.

En el ejercicio de la práctica de los vuelos instrumentados se espera la obtención de material suficiente para correr al menos un ensayo de diagnóstico de principio a fin. Es decir, teniendo en consideración las dimensiones de la parcela se tiene que planear con antelación y estrategia una rutina de vuelo, se debe capturar material suficiente para configurar un ortomosaico representativo (en la mayor fidelidad posible) y, en última instancia, el procesamiento del

ortomosaico ha de mostrar información concluyente ante el criterio y habilidad de percepción visual del operador

El correr una prueba completa de esta índole permitirá establecer y ejemplificar si el material fotográfico en forma de un ortomosaico y el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada son suficiente para separar zonas de desarrollo esperado de las zonas de subdesarrollo ante el discernimiento del operador.

De manera análoga al proceso descrito anteriormente, comenzando desde el punto sobre la experiencia completa de análisis y las ambiciones descriptivas, se busca establecer y ejemplificar si el material fotográfico en conjunto con la obtención de un ortomosaico y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada son capaces de generar evidencia sobre comportamientos consistentes dentro de la relación humedad-reflectancia en riegos ante el criterio del operador.

Por último, en consideración de la dinámica para la recopilación de evidencia y sus aflicciones, de los resultados numéricos puestos en contexto y, por supuesto, de la efectividad para diferenciar al sujeto de interés; es preciso definir recomendaciones para una segunda iteración que acerque el empleo de material fotográfico modificado a un uso factible para el servicio de los agricultores.

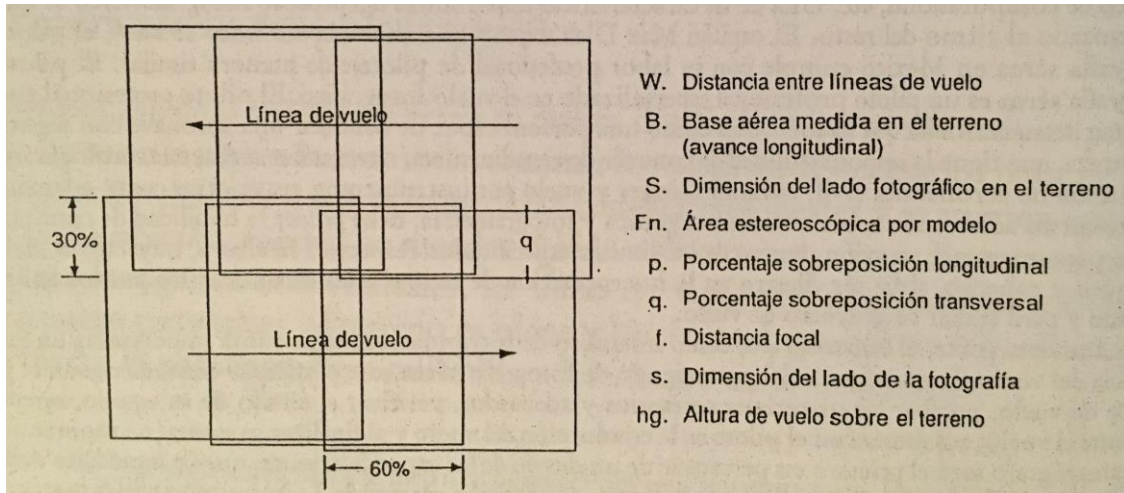
## 2 Recopilación de imágenes

La obtención de la fotografía aérea se realiza con el dron mediante una programación anticipada en la cual se determinan los elementos necesarios para facilitar la operación. En esta planeación se consideran condiciones ideales y se asumen criterios que en la práctica pueden no suceder debido a diversos motivos. Esas condiciones son: las fotografías son verticales, las líneas de vuelo son paralelas, las superposiciones son constantes, el terreno es plano y horizontal, no existen fallas humanas, la cámara se encuentra bien calibrada y la lente no tiene distorsión. Las características antes descritas se traducen a las variables que se aprecian en la ilustración 2 y, de igual manera, sus suposiciones ideales tienen una interpretación numérica.

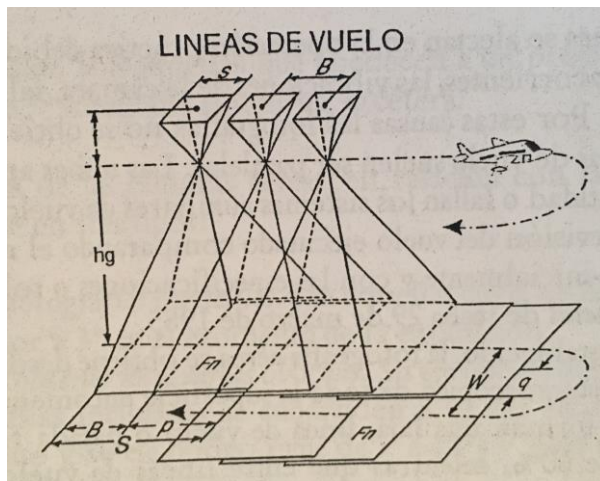
Estas condiciones ideales se ven afectadas en la ejecución experimental debido a factores atmosféricos, a la inclinación del dron durante su desplazamiento, a la inestabilidad de altura en su suspensión, a las vibraciones de la cámara, a las fallas de operación, a las fallas humanas, etc. Por estas causas las fotografías no se obtienen perfectamente verticales ni las líneas de vuelo suelen ser paralelas.

Normalmente se programan líneas de vuelo que capturan las fotos con un 60% de traslape o superposición entre los cuadros consecutivos y de 30% entre las líneas paralelas de vuelo, sin embargo, en el caso del desarrollo del presente proyecto se busca que la superposición sea 0. Esto es debido a que el procesamiento de las imágenes consiste en construir un ortomosaico con imágenes sin retratar zonas repetidas, es decir, cada imagen contiene regiones únicas e irrepetibles en otras fotos dentro del mosaico lo que implica que cada punto sobre el terreno sólo está referenciado a una foto. Esta estrategia permite que la fusión de las tomas parciales sea de la manera más sencilla y no se requiera de un procesamiento que consuma mayores recursos o de la asistencia de un programa externo para crear el espacio de trabajo completo manteniendo así los reflectores sobre la tecnología óptica [20].

Ilustración 2



a)



b)

Imágenes que muestra el trazo de las rutas de vuelo y sus respectivas variables. a) Muestra las variables en el plano mientras que b) las muestra en el espacio.

Fuente: Caire, J. *Fotogrametría Aérea*. Ciudad de México.

Dentro de la estrategia convencional de la captura de espacios a través de fotos con superposición existe un fenómeno llamado movimiento de la imagen. Es causado por el movimiento de la aeronave con la cámara adherida durante el tiempo de exposición de la toma de la foto, en consecuencia, los objetos parecen moverse. Este fenómeno también se presenta durante la vibración pero no es sino en las características cinemáticas del vuelo donde se puede abordar una medida de reducción de esta distorsión considerando la ecuación 1. [21]

#### Ecuación 1: Ecuación de movimiento de la imagen.

$$d = \frac{vtf}{H}$$

*Movimiento de la imagen (d)*

*Tiempo de exposición (t)*

*Velocidad (v)*

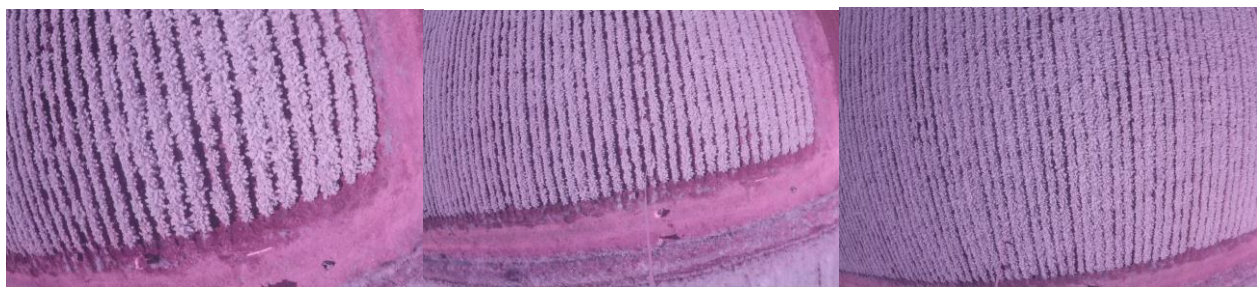
*Longitud focal (f)*

*Altura de vuelo (H)*

Se usa esta fórmula para presentar el error intrínseco de la composición de la cámara con respecto a la distorsión de la imagen por el movimiento contemplando únicamente la situación de vuelo que menos propicien la distorsión. Se observa que a mayor altura existe menor presencia de este fenómeno indeseable, por lo tanto se favorecerán los planes de vuelo que presenten pruebas legibles a mayor altura. Sumado a la variable anterior, se observa por la relación matemática que a menores velocidades se incentiva una mayor calidad en las fotografías. En virtud de lo anterior, siempre que la autonomía de la batería lo permita se debe optar por una velocidad de vuelo moderada.

Para determinar la altura se procedió a tomar una serie de muestras que proyectan el impacto real de las variables en juego. Primero se procedió a hacer tomas en diferentes alturas (véase la ilustración 3) hasta seleccionar la más adecuada.

#### Ilustración 3



a)

b)

c)

Ilustración del conjunto sucesivo de tomas de cultivo de brócoli a 10m (a), 20m (b) y 40 m (c).

En todo momento se deben tener en cuenta las intenciones particulares de cada plan de vuelo: encontrar particularidades en el desarrollo del cultivo, si estas son vistosas, si se necesita cubrir áreas reducidas para garantizar un resultado satisfactorio, la autonomía de la batería y su relación con la velocidad, la extensión del cultivo y la complejidad de la construcción del

ortomosaico. Es natural suponer que ante tales variables la altura queda a criterio del operador y sus intereses.

## 3 Procesamiento de Imágenes

### 3.1 Configuración del espacio de trabajo completo

En las aplicaciones topográficas de la fotogrametría aérea es convencional recolectar las tomas con cierto traslape para reafirmar el correcto ensamblaje en una composición total del espacio. Si bien lo anterior es una práctica sana en la configuración de espacios, en el presente estudio se tiene como prioridad mostrar un primer acercamiento asequible y aplicable al corto plazo, de ahí que se opte por una cámara de lente alterado y no una cámara multiespectral, que se manufacture el cardán con simplicidad en oposición a adquirir uno con sistemas de compensación de movimiento o vibraciones. En congruencia a las medidas económicas se da el entendido de la configuración del espacio de trabajo a cargo de la unión de las fotografías con nulo traslape. El procesamiento de las imágenes se ve reducido a ubicar la posición de la toma individual del terreno dentro de la matriz de mosaicos individuales que compondrán al espacio completo.

En otros aspectos, se observa que las tomas muestran una significativa y grave presencia de ojo de pez. Se presenta como la deformación curvada de la fotografía en las zonas cercanas a la esquinas de la foto y que comprometen la afinidad de ensamblaje con las fotos contiguas en el mosaico completo y no reflejan de manera fiel la superficie en un plano. Este fenómeno es de esperarse debido a la corta distancia focal del lente, se presume está entre 2 y 3 mm.

A raíz de esto, se ha determinado que dentro de la composición del espacio de trabajo se corten las secciones de la foto más alejadas del centro de la misma. Lo que corresponde a un porcentaje del total de píxeles en un área rectangular señalado por el usuario del programa a cargo del procesamiento. El responsable decide con respecto a su estrategia de vuelo, principalmente la altura, tomar las secciones de las fotos que le sean de mayor utilidad. Como resultado, al reducir la cobertura el número de líneas de vuelo se incrementan y, así mismo, lo hace el tiempo de vuelo llevado a cabo a velocidades mínimas.

### 3.2 NDVI

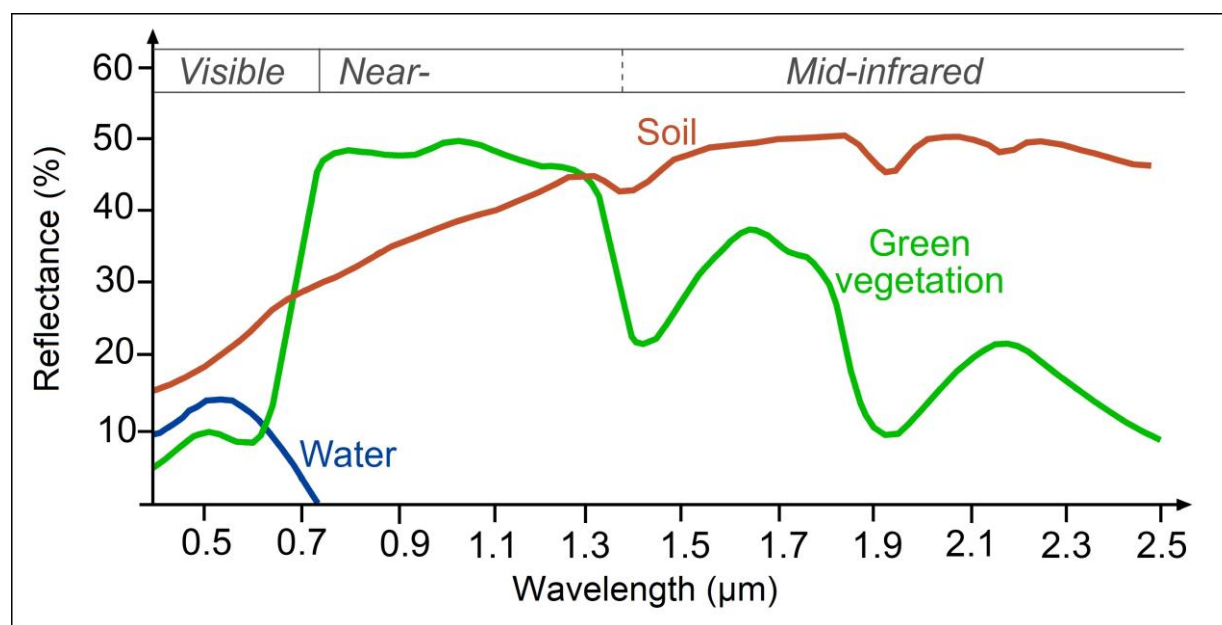
Los científicos de los años 80's hicieron un intento por monitorear las fluctuaciones de la vegetación y esclarecer sus efectos con precisión. Para lograr esto debían plantear estándares de monitoreo matemáticos, lo que dio nacimiento a los índices de vegetación. Este acercamiento obligó a la comunidad científica internacional a comenzar una labor de apreciación de los impactos drásticos en la salud, el ambiente y la economía a causa de la creciente deforestación de Sudamérica o las sequías de África en esos años. Finalmente, no se trataría solamente de establecer conclusiones empíricas, sino de encontrar cifras y modelos descriptivos que permitan amortiguar en sus distintas dimensiones los impactos de los fenómenos de vegetación [22].

Los índices de vegetación son combinaciones matemáticas o combinaciones de espectros de bandas que acentúan las propiedades espectrales de las plantas, de tal manera que éstas sobresalen de manera particular en las imágenes analizadas. Son útiles para calcular la cantidad de

vegetación en las superficies, para distinguir el suelo de la vegetación y su procesamiento reduce la interferencia atmosférica, aunque pero nunca del todo.

Cuando la luz del sol impacta sobre los objetos ciertos anchos de onda del espectro son absorbidas y otras son reflejadas. La clorofila en las plantas es la responsable de absorber la luz visible (RGB) para la fotosíntesis. Al mismo tiempo, estas células reflejan otros espectros que no les son de utilidad como el espectro del infrarrojo cercano (NIR). El suelo sufre el mismo fenómeno de reflexión, alto en el NIR y bajo en el rojo, pero la diferencia es en la magnitud en el que lo hace con respecto a las plantas u otros objetos, esta diferencia se puede observar en la ilustración 4. La brecha entre la absorción y reflejo del suelo es menor que en los cuerpo vegetales.

Ilustración 4



Curvas que muestran el porcentaje de reflectancia del agua (línea azul), del suelo (línea roja) y de la vegetación (línea verde) en relación a los anchos de onda de la luz.

Fuente: Science Education through Earth Observation for High Schools, "Introduction to categorisation of objects from their data", <http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c00-p05.html>

Aunque las plantas lucen predominantemente verdes, la cantidad de energía reflejada es baja. La reflexión del espectro verde raramente excede el 10-15% pero la visión humana es particularmente sensible a la luz verde. Incorporado a eso, la clorofila es uno de los pocos pigmentos que absorbe el espectro rojo, una propiedad poco despreciable que es usada para determinar el estado de salud de las plantas, la cantidad de biomasa y la aplicación de otros índices de vegetación. Asimismo, la diversidad de pigmentos en una mezcla afecta el reflejo de la región verde sin guardar una relación útil y, en consecuencia, sería poco factible desentrañar de manera directa la presencia cuantificada de materia vegetal en presencia de estas mezclas.



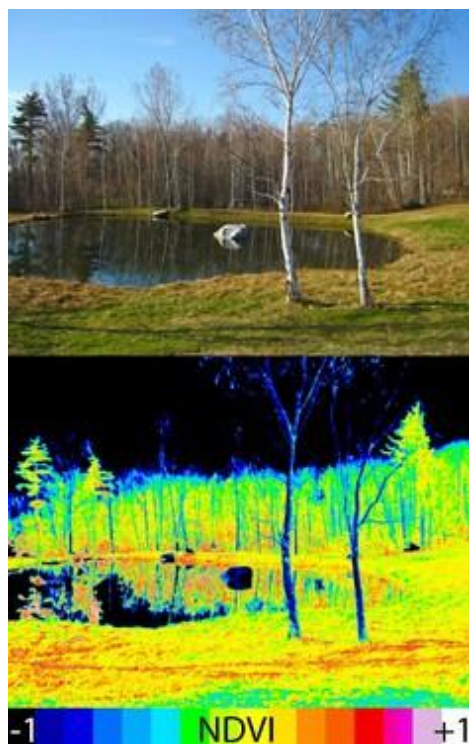
Existen tres tipos de índices: índices simples, índices basados en línea de suelos e índices atmosféricamente corregidos. Dentro de la última categoría mencionada se encuentra el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) siendo uno de los más usados por su capacidad de disminuir la interferencia atmosférica y topográfica, de lograr distinguir entre el suelo y la vegetación a pesar de las similitudes en su comportamiento de reflexión.

El NDVI resulta de la relación entre la densidad de la vegetación y la suma de la radiaciones de NIR y de la banda de rojo. La tendencia numérica consiste en que si una región refleja similares cantidades de espectro NIR y rojo el resultado tiene a cero, si refleja rojo en mayor cantidad tiende a -1 y si refleja NIR en mayor cantidad y rojo en poca cantidad (como lo hacen las plantas) el resultado tiende a 1. La ecuación es la siguiente:

Ecuación 2

$$NDVI = \frac{r_{NIR} - r_{red}}{r_{NIR} + r_{red}}$$

Ecuación que describe la normalización de los niveles de reflectancia contenidos en una imagen para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)..



Los resultados del cálculo del NDVI en cada pixel de la imagen son números que van desde -1 hasta +1, los elementos sin clorofila dan un valor cercano a cero y las altas concentraciones de la misma dan un valor alrededor de 0.8 o 0.9. Es común que imágenes que presentan escalas unidimensionales como las del NDVI sean mapeadas con el fin de resaltar ciertos valores en el rango de posibilidades considerando la progresión de los datos (lineal, logarítmica, etc.) tal como se observa en la ilustración 5.

Ilustración 5

El NDVI es utilizado para distinguir las concentraciones de plantas de sus entornos pero también se puede utilizar para otro propósitos utilizando los mismos fenómenos reflectantes pero con diferente perspectiva.

En la ilustración se muestra un mapeo de coloración basado en los valores del NDVI. Una estrategia útil como herramienta visual para distinguir cuerpos de interés.

Para cada tipo de suelo con características particulares existe una relación entre la reflectancia del NIR y el espectro rojo bajo diferentes condiciones de humedad. Cuando la cantidad de agua en el suelo

cambia estos dos valores, al estar correlacionados, cambian de manera proporcional. A la línea que describen se le conoce como línea de suelos y resulta única para cada tipo de suelo. [23]

En el empleo de la línea de suelos está la posibilidad de diagnosticar el momento oportuno de riego, atención diferenciada en secciones de las parcelas y situaciones de riesgo por exceso de agua. Como muestra se atiende el caso de la ilustración 6 donde se podría parametrizar un nivel de humedad como óptimo y otro como perjudicial.

#### Ilustración 6



**Bare Soil: El Batan, MX**  
Dry: NDVI = 0.114 +/- 0.184  
Wet: NDVI = 0.174 +/- 0.052  
Difference: = 0.060

Ejemplo de pruebas de cálculo de NDVI con evidencia numérica en suelos con diferente humedad.

Fuente: Department of Plant and Soil Sciences, Oklahoma State University. Nitrogen Use Efficiency. [Online]. [http://www.nue.okstate.edu/VRT\\_Applicator/Wet\\_Dry\\_2002.htm](http://www.nue.okstate.edu/VRT_Applicator/Wet_Dry_2002.htm)

Como ejemplo para resaltar los beneficios de una base de datos sobre el desarrollo de las masas vegetales está el siguiente caso. La NASA (National Aeronautics and Space Administration) y el NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration) se han dado a la tarea de registrar y comparar mes con mes durante 20 años la concentración vegetal en el mundo, de tal manera, que ahora cuentan con una base de datos que les permite indicar la productividad de una región dada, si el crecimiento vegetal en una región es más o menos productivo de lo regular. En particular, estas organizaciones hacen uso de sus bases de datos para dar carácter oficial de sequía en regiones donde la concentración vegetal es menor debido a la baja en precipitaciones [22].

Ilustración 7



Imagen de la cámara Mobius.

## 4 Instrumental

### 4.1 Cámara y lente

La cámara Mobius es una cámara de “acción” o para deportes, es de manufactura china y bien conocida por su satisfactoria relación costo-beneficio. Es una cámara altamente competitiva debido a que es significativamente más asequible que otras cámaras para deportes en el mercado y cuenta con una calidad de video y

fotografía equiparable a modelos de gama más alta.

De acuerdo al uso que se le da en esta aplicación se pone especial atención en la resolución, el peso, las dimensiones, la sujeción, el ángulo del lente, la autonomía energética y el control del disparo de fotos. La cámara es notablemente pequeña y ligera (se puede apreciar su tamaño con relación a la talla de la mano en la ilustración 7), a continuación se presenta la ficha técnica.

Tabla 1

<b>Mobius Action Cam</b>	
Máxima resolución de video	1920P a 30fps, 720P a 60 fps
Precio	1,494.18 MXN
Bit rate	18 Mbps
Formato de video	.MOV
Tamaño	61mm x 35mm x 18mm
Peso	38 g
Ángulo de perspectiva	116°
Capacidad de memoria	32 GB de acuerdo al proveedor
Resolución de foto	De hasta 2304 x 1536
Sujeción	Manga con entrada estándar de tripie
Disparo de fotos	Manual y de control por tiempos
Interface	Mini USB
Batería	2 horas en grabación

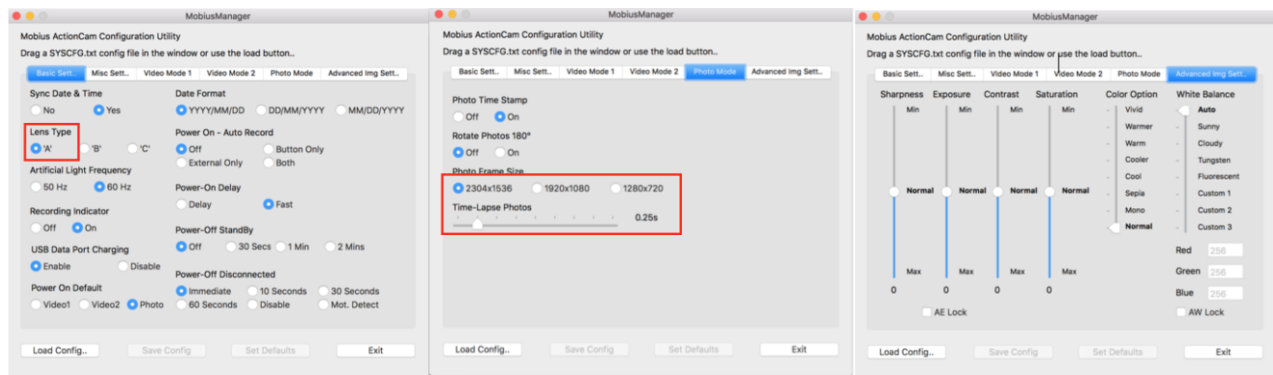
Fuente: Dashboard Camera Reviews

En coordinación con las observaciones y conclusiones hechas en el apartado de la rutina de vuelo o recopilación de imágenes se deben hacer ajustes a la programación de la cámara. De

manera breve se menciona que la Mobius cuenta con un ambiente amigable de programación de sus funciones\* donde deben hacerse las siguientes modificaciones.

Dentro de la aplicación Mobius Manager se debe programar esencialmente el modo Time Lapse que consiste en la toma continua de una fotografía cada cierto tiempo, en este caso se trabaja con una frecuencia de 0.25 s. Es preferible utilizar esta modalidad pues una toma de un escenario estático (Still Frame) es de mejor calidad en el modo Foto que en cualquiera de los modos Video disponibles para la Mobius. Una segunda especificación imprescindible es programar la cámara para el uso de un lente tipo “A” como es el caso del lente alterado que se está usando. Fuera de este cambio en la configuración se recomiendan de manera no obligatoria algunos otros como: la sincronización de la fecha, la función de fotografía como función de inicio al encender, el tamaño de la fotografía entre otros. En la ilustración 8 se aprecian las zonas de interés primordial dentro del ambiente gráfico del programa en sus tres ventanas.

Ilustración 8



En esta ilustración se observa: a) la ventana de Basic Settings es la que incluye la programación del tipo del lente ; b) en la ventana de Photo Mode es donde se pueden establecer las preferencias del Time Lapse; c) en la ventana de Advance Image Settings no se debe hacer ningún cambio pues el lente utilizado opera bajo las condiciones predeterminadas en contraste a los filtros azules para los cuales estas características deben ser alteradas.

En lo que respecta al lente, se trata de un lente estándar tipo “A” para la cámara Mobius que ha sido modificado de fábrica para sustituir su filtro de infrarrojo con un gel rojo. Este filtro rojo permite que se intercambie el canal de luz azul con el de luz de infrarrojo cercano (NIR) y al tratarse de un gel es menos probable que haya filtraciones o movimientos indeseados que en la película filtro original [26].

Se presenta igualmente la posibilidad de usar un filtro de color azul que produce fotos “infrablue” o infrazules. Este filtro absorbe la luz roja y la intercambia por la luz infrarroja, de igual manera existen filtraciones considerables en todos los canales pero son de menor magnitud.

\* Tutorial que presenta información fiel para la generación del modelo de cámara usada en este proyecto: [https://www.youtube.com/watch?v=q\\_SqT5SM9-8](https://www.youtube.com/watch?v=q_SqT5SM9-8)

El NDVI se puede calcular con otro espectro de luz visible como es el espectro azul, sin embargo, resulta inexacto en una primera instancia y las fotos deben de ser pre-procesadas si se desea mayor exactitud pues no se abordan las tendencias numéricas del principio biológico y físico que involucra el NDVI (véase el capítulo 4.2). Este pre-procesamiento consiste en un balance de blancos que varía con respecto al lente que se use y generalmente se pueden encontrar recomendaciones en los foros de fotografía en línea para generar una calibración adecuada. Los resultados de esta calibración de la cámara son los que se exhiben en la ilustración 9.

Ilustración 9



Imagen que muestra la calibración correcta de una cámara con lente infrarouge.

Fuente: abdul. (2016, octubre) Public Lab. [Online]. <https://publiclab.org/wiki/infragram-point-shoot#Assembly>

De tal manera que, mientras los filtros azules pueden tener menos filtración indebida de la luz infrarroja también requieren de un preprocesamiento de balance de blancos (ejemplificado en la ilustración 9). Los filtros infrarrojos presentan una mayor filtración de luz infrarroja (IR) que afecta la exactitud de las conclusiones pero no se requiere de mayor procesamiento que el simple cálculo del NDVI. De hecho, se reporta en la experiencia de algunos usuarios de lentes modificadas que los filtros rojos son más sensibles para la captación de cuerpos con actividad fotosintética, aunque con calibraciones excepcionales en un lente con filtro azul pueden mostrar contrastes favorables aún más dramáticos, sin embargo, sus bases de datos numéricas no resultan cotejables con las que existen en la literatura convencional. [28]

## 4.2 Drone

Las características principales para seleccionar un VANT para las pruebas planteadas en este trabajo son: autonomía de vuelo, GPS, capacidad de seguir rutas de vuelo preprogramadas tipo “waypoints”, estabilidad, capacidad de carga de peso adicional, precio y operatividad.

El modelo elegido fue el DJI Phantom 2 por las siguientes razones. A partir del requerimiento de que el VANT cuente con GPS se marca una línea entre los precios y modelos existentes en el mercado. Una vez definido un rango de opciones, el DJI Phantom 2 (ilustración 10) destacó predominantemente por su superioridad en autonomía y por la oferta de una aplicación gratuita de la compañía DJI para el control y establecimiento de rutas automáticas con puntos de control.

En este punto, el modelo mencionado resulta viable en los aspectos más críticos y se desempeña notablemente en la capacidad de cargar masas y, debido a la gran trayectoria de la compañía productora, existe una extensa documentación sobre su operatividad y eventualidades en su desempeño.

Ilustración 10



Ilustración de frontal del VANT Phantom 2 fabricado por DJI.

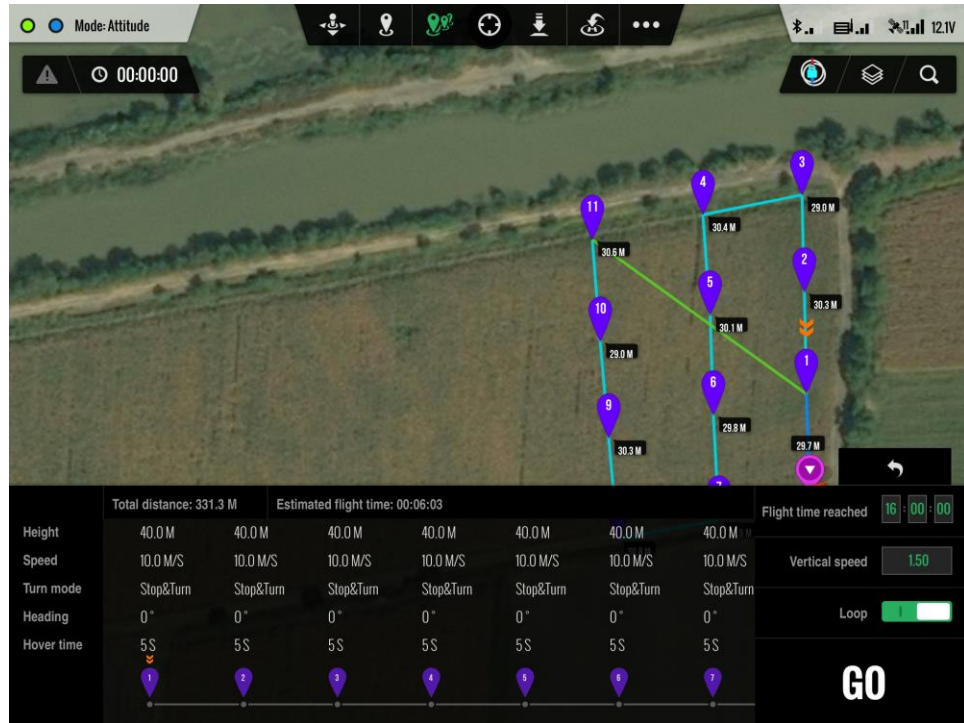
Tabla 2

<b>NAVE</b>	
Peso total	1000g
Precisión en el aire	Vertical: 0.8m; Horizontal: 2.5m
Velocidad angular máxima (yaw)	200°/s
Ángulo máximo de inclinación	35°
Velocidad Máxima	Ascendiendo : 6m/s; Descendiendo: 2m/s; en vuelo 15m/s
Tiempo de vuelo	25 min
Capacidad de peso	≤1300g
Temperatura de operación	-10°C ~ 50°C
<b>Control Remoto</b>	
Frecuencia de operación	2.4GHz
Distancia de comunicación	1000 m
<b>Funciones</b>	
Vuelo de precisión y suspensión estable	El sistema de auto-pilotaje puede mantener el dispositivo a un altitud deseada usando el GPS.
AUTO RETURN-TO-HOME /ONE-KEY GO-HOME	Si la unidad resulta desconectada del control durante un vuelo, el sistema activará automáticamente el regreso de la nave al último punto de despegue con conexión a los satélites de GPS.

Fuente: www.dji.com

El drone debe poder moverse dentro de una ruta preprogramada que consiste en la conexión de puntos de control, en cada uno de estos puntos el drone debe poder detenerse para tomar una foto del área inmediata debajo de la nave. La construcción de estos vuelos automáticos con rutas preprogramadas recibe el nombre de ruta “waypoints” y dicha función existe de manera gratuita a través de la aplicación Ground Station (un ejemplo del uso de la aplicación con los fines mencionados se encuentra en la ilustración 11) y el uso del accesorio 2.4g bluetooth (ilustración 12).

Ilustración 11



Ejemplo de la programación de una ruta waypoints con la interfaz de la aplicación para Phantom 2.

Ilustración 12



Imagen de los tres componentes que constituyen el equipo bluetooth para controlar la modalidad waypoints del Phantom 2.



Tabla 3

<b>Desempeño</b>	
Rango de funcionamiento urbano o “indoors”	≤ 350m
Rango de funcionamiento al aire libre	≤ 2km
Consumo de poder	Terminal de tierra: ≤ 2.3 W; Terminal de aire: ≤ 1.8W
<b>Especificaciones</b>	
Banda de frecuencia	2.4 G (2400 MHz ~ 2483 MHz)
Temperatura de operación	-10°C ~ +60°C
<b>Fuente de Alimentación*</b>	
Voltaje	Terminal de arie: 6V Terminal de Tierra: 9.9 V – 25.2 V
Corriente (señal de transmisión)	0.18 A @ 12.5 V
Corriente (Señal de recepción)	0.30 A @ 6 V

Fuente: [www.dji.com](http://www.dji.com)

### 4.3 Cardán

El cardán o mejor conocido como gimbal, en inglés, es el dispositivo mecánico que sostiene la cámara a la unidad de vuelo. Existen modelos muy sofisticados que cuentan con sistemas de compensación de vibraciones y de la inclinación del VANT durante los desplazamientos, así como existen aquellos que únicamente abordan la sujeción correcta de la cámara al dron.

Siguiendo el marco de concepción de este proyecto dentro de un presupuesto reducido y de fácil acceso, que puede suponer manufactura barata o accesibilidad en el mercado, se usa un gimbal de diseño sencillo que ha probado ser suficiente en estudios anteriores de topografía de precisión<sup>†</sup>. El plano y la ilustración del acoplamiento con el dron y el material fotográfico se muestra en el Anexo 1 y 2.

\* Baterías no incluidas en el paquete de compra del 2.4g Bluetooth Datalink.

<sup>†</sup> Véase el artículo publicado por Jaime Jesús Carrera-Hernández: “A low cost technique for development of ultra-high resolution topography: application to a dry maar’s bottom”

## 4.4 Aplicación

### 4.4.1 Código

El código consiste básicamente en dos partes: la formación del ortomosaico y el procesamiento. Como se mencionó en las estrategias de programación de rutas de vuelo, se crea el espacio completo de trabajo a través de la concatenación de las imágenes seleccionadas y a estas imágenes individuales se les recortan secciones de los extremos para no incluir deformaciones excesivas por ojo de pez. En la segunda sección se observan los pasos para llevar a cabo la obtención del NDVI; desde la obtención de las bandas separadas, la aplicación de la ecuación del NDVI (ecuación 2) y mostrar evidencia numérica o visual de los contrastes que guarda la imagen resultante.

A continuación se muestra el diagrama de bloques que apunta a describir las intenciones progresivas de las acciones a seguir (ilustración 13); después, se tiene el diagrama de flujo con mayor apego a la lógica de programación (ilustración 14); y, por último, se muestra el pseudocódigo que da origen al diagrama de flujo.

Ilustración 13

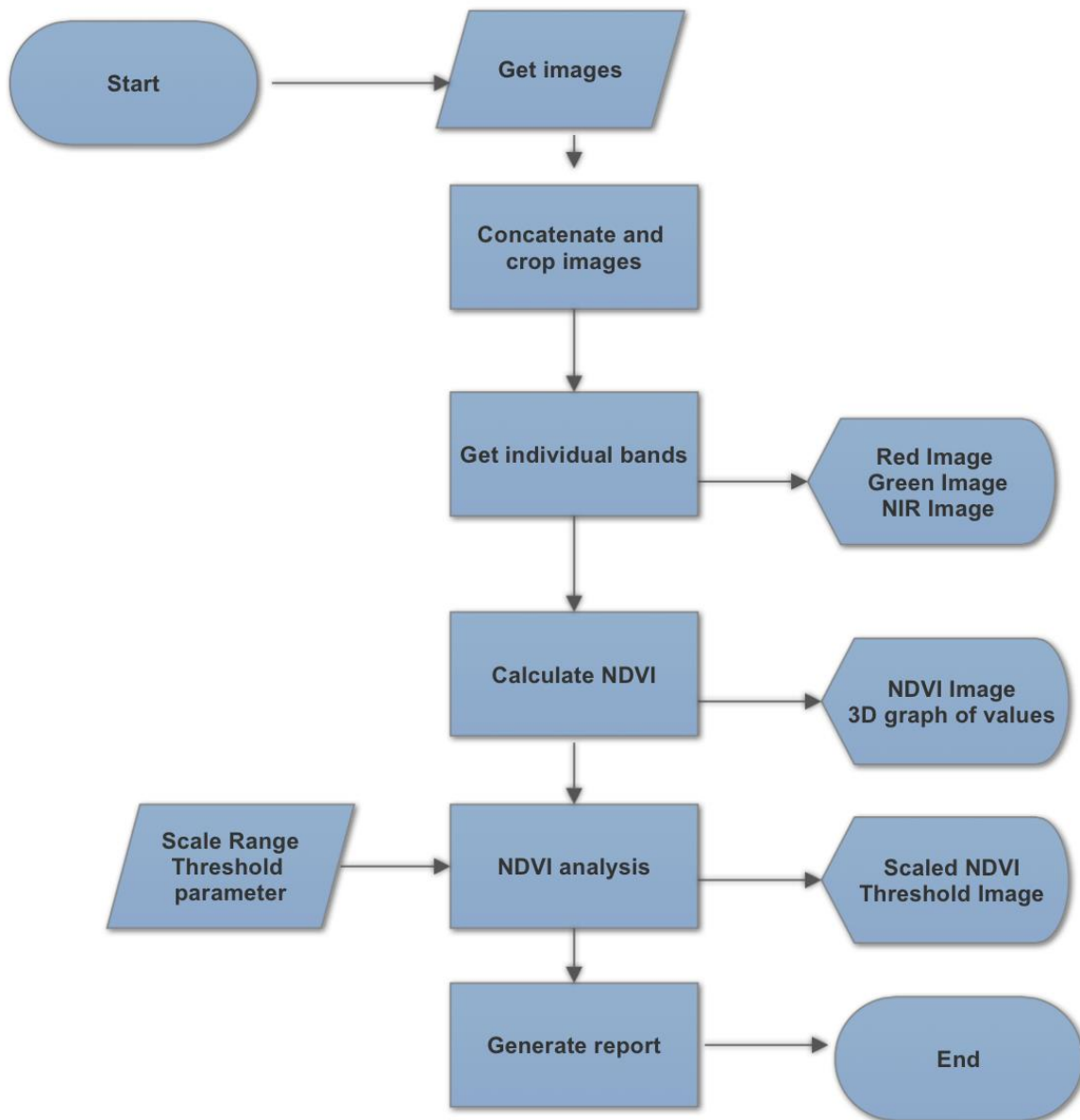


Ilustración del diagrama de bloques que comprende el procesamiento desde la formación del ortomosaico hasta la generación de resultados interpretables.

Ilustración 14

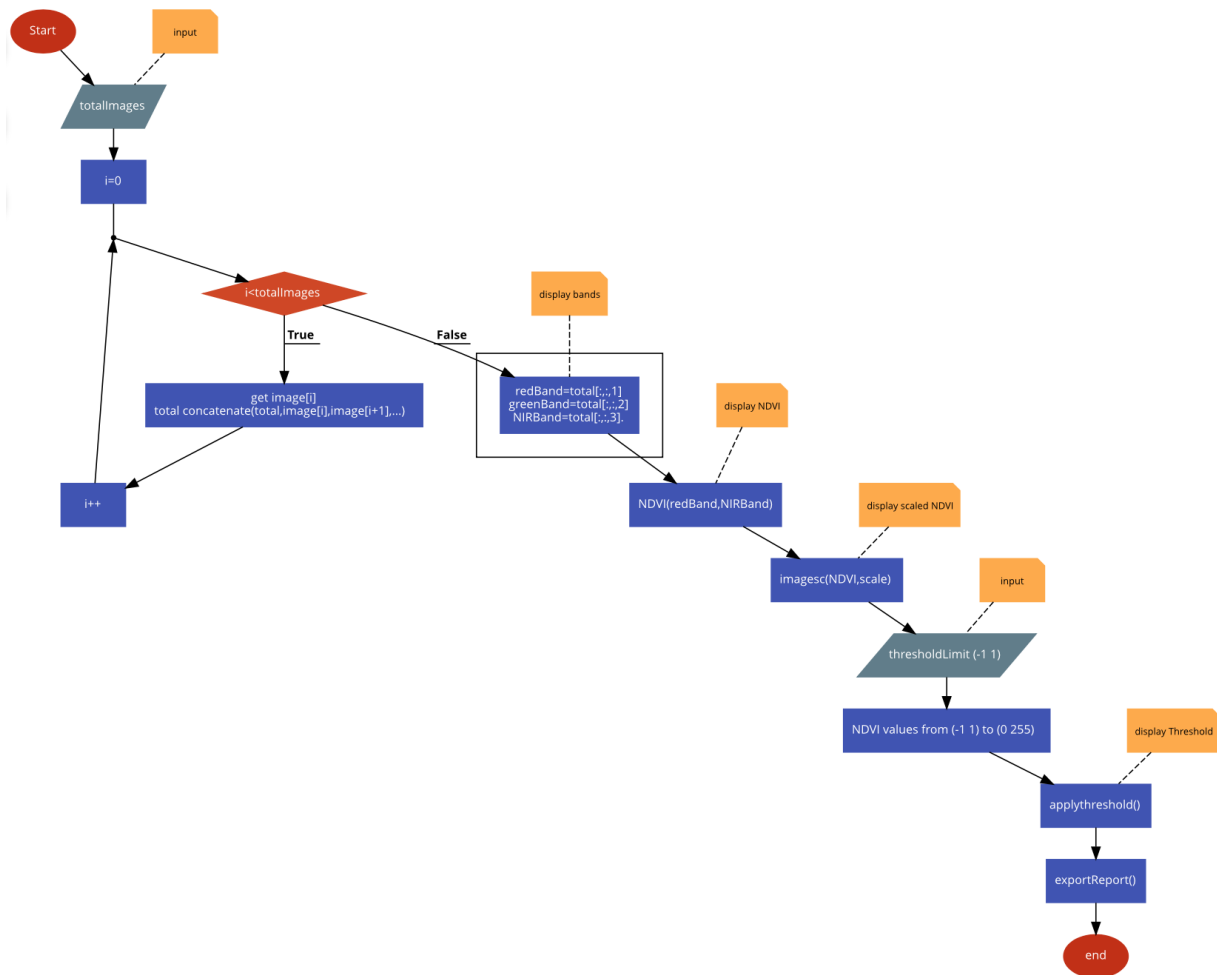


Ilustración del diagrama de flujo producto del pseudocódigo.\*

\* Representación gráfica obtenida a raíz de la sintaxis del pseudocódigo provista por: <https://code2flow.com/app#/inputManualOperationAndOtherShapes>

Pseudocódigo:

```
Start;

//input

/totalImages/;

for(i=0;i<totalImages;i++){

    get image[i]

    total
    concatenate(total,image[i],image[i+1],...)

    //display bands

    block {

        redBand=total[:,:,1]

        greenBand=total[:,:,2]

        NIRBand=total[:,:,3]}

}
```

```
//display NDVI

NDVI(redBand,NIRBand);

//display scaled NDVI

imagesc(NDVI,scale);

//input

/thresholdLimit (-1 1)/;

NDVI values from (-1 1) to (0 255);

//display Threshold

applythreshold();

exportReport();

end;
```

#### 4.4.2 Interfaz Gráfica

La programación para la interfaz se realizó en MatLab debido a su capacidad de manejo de imágenes y a su operatividad tan sencilla en la formación de aplicaciones.

Por la naturaleza de los resultados numéricos de los NDVI calculados con el equipo fotográfico se percibe que los valores están agrupados dentro de un cierto rango que no se extiende entre el +1 y el -1, como teóricamente debería suceder. Estas implicaciones hacen que la facultad del operador de concluir basándose en contrastes se comprometa. Se ha propuesto como solución establecer un mapeo a una coloración térmica con el fin de realzar los contrastes y de proveer al analizador de más herramientas que le permitan diagnosticar si las muestras son útiles o están viciadas de alguna manera.

El concepto detrás de la distribución de funciones en el programa es tal que permita al operador, una persona con experiencia y relacionada con el tema, trabajar en la mayor simplicidad para obtener un NDVI. Es debido a lo anterior que, todas las opciones están en una sola ventana y las representaciones gráficas son conmutables unas con otras. A continuación se muestra la distribución de funciones en la ilustración 15.

## Ilustración 15

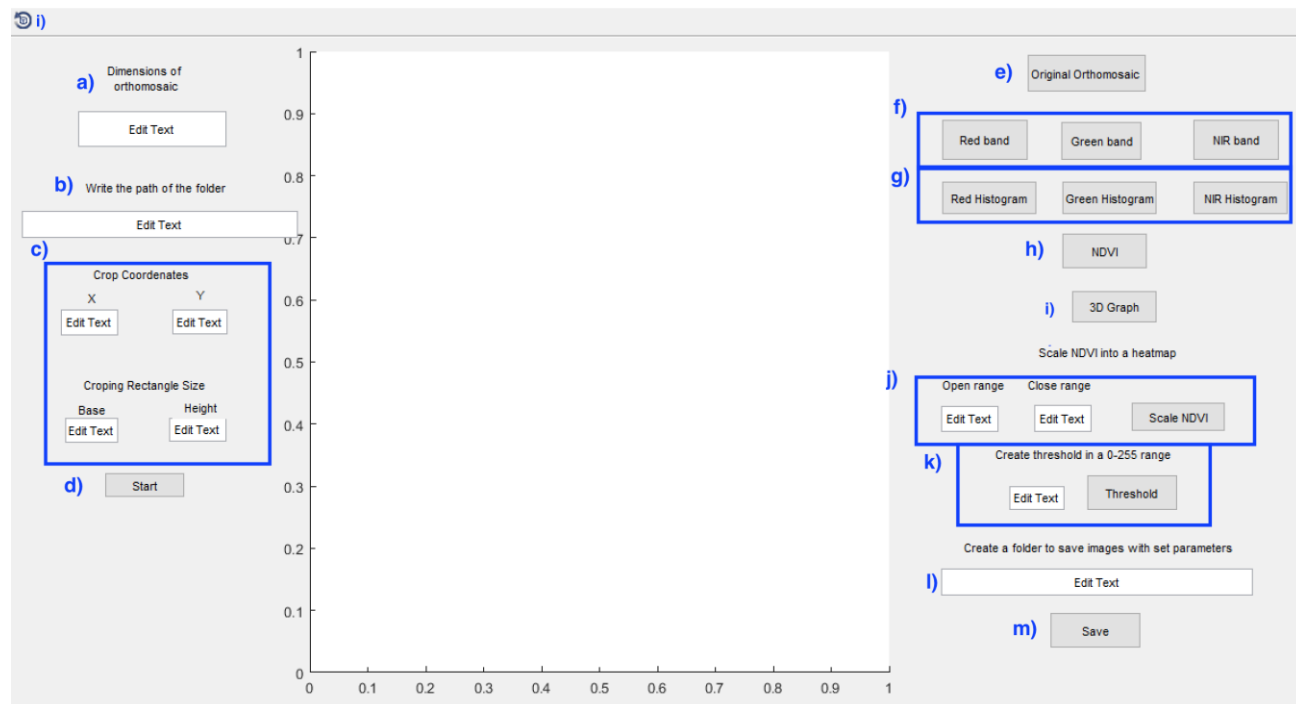


Imagen de la ventana de operación de la aplicación desarrollada.

- a) **Dimensiones del ortomosaico:** En esta línea el programa busca una entrada del formato “nxm” (por ejemplo, 5x4) siendo n y m cualquier número entero positivo. De esta manera el operador le notifica al programa que debe buscar por un total de imágenes igual al producto de la multiplicación de las dimensiones del ortomosaico ( $n*m$ ) y acomodarlas conforme a la seriación de su nombre. Para comenzar el procesamiento de un grupo de imágenes correspondientes a un mismo espacio real, éstas deben estar numeradas en el mismo formato en el que se presentan las dimensiones del ortomosaico. Es muy importante resaltar que sólo se soporta el formato de archivo JPG. Un ejemplo de un correcto ordenamiento de archivos en el formato indicado está en la ilustración 16.

## Ilustración 16

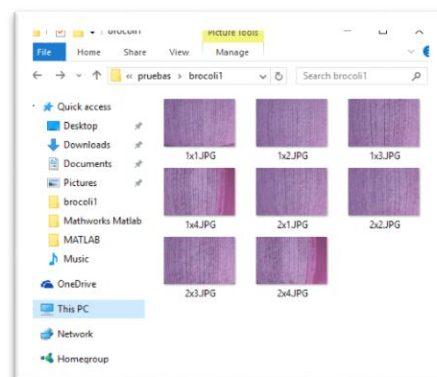


Imagen que ejemplifica el formato en el que las piezas de la muestra deben ser nombradas y su formato.

- b) **Ruta de origen:** Mediante la escritura de una ruta válida para el ordenador en este campo se pueden obtener las imágenes con las que se construirá el ortomosaico. El programa

buscará en esta localidad todas las imágenes que el dimensionamiento del ortomosaico sugiera.

- c) **Herramientas de cortado:** Como se ha descrito en la teoría de la formación de los espacios de trabajo y en la descripción de la cámara, existen distorsiones que se repiten sistemáticamente en todas las tomas obtenidas. El operador tendrá la libertad de definir qué extensión desea recortar de acuerdo al posicionamiento de la esquina superior izquierda del rectángulo de dimensiones señaladas, sección misma que será sustraída de todas las imágenes dentro de la localidad señalada en b). Es de vital importancia que el rectángulo de corte siempre debe tener dimensiones menores a la imagen de menor tamaño incluida en el ortomosaico.
  
- d) **Inicio:** Este botón habilita la formación del ortomosaico por acción de concatenación de las imágenes en los niveles en los que sus nombres las ubican. Una vez realizado el ortomosaico, éste se despliega en la ventana.
  
- e) **Ortomosaico:** Esta opción únicamente permite regresar de cualquier estado de procesamiento posterior al paso más básico que es la completitud del espacio de trabajo sin modificación o filtro alguno.
  
- f) **Descomposición en bandas:** Los tres botones agrupados en esta sección muestran en la ventana una versión del ortomosaico construida con la información alojada en el canal correspondiente al botón. Se despliega una imagen en escala de grises que representa la presencia de pigmentación de esa banda en la totalidad de la composición de la imagen.
  
- g) **Histogramas de banda:** Cada banda del espectro RGB agrupada en las funciones de la sección f) cuenta con una representación gráfica en forma de histograma acerca de cómo se agrupan los pixeles de acuerdo a su coloración, es decir, a la cantidad de luz de su umbral correspondiente que se guarda dentro de ellos. Para ejemplos sobre estos histogramas refiérase a las ilustraciones del capítulo de resultados.

- h) **NDVI:** Al presionar este botón se genera y despliega el índice en el centro de la pantalla. Sin embargo, se aprecia, en el mayor de los casos que esta imagen resulta de una utilidad limitada para el observador por sus tonalidades repetidamente oscuras.
- i) **Gráfica en 3D de los valores de NDVI:** Puesto que la imagen del índice por sí sola no presenta información concluyente, el operador se puede apoyar en la creación de una gráfica tridimensional que ubica el valor guardado en una locación de pixel en el eje de las Z's, dejando el plano XY para la ubicación de los pixeles dentro de la fotografía. Esta herramienta es capaz de girarse a voluntad con el favor de encontrar una posición que le ayude al operador a encontrar información de utilidad oprimiendo el botón en el extremo superior izquierdo. Está predeterminado que al presionar el botón se genere dicha gráfica ubicada de tal manera que se observe el plano XZ como base con el eje X como la dimensión horizontal y el eje Z como la vertical. Esto debido a que es en el eje X de las fotografías donde se observan los canales de riego y, consecuentemente, en este plano se observan los valores de NDVI con respecto a los canales o acequias.
- j) **NDVI escalado:** Con esta herramienta se puede superar en cierta medida la incapacidad del NDVI de proyectar información contrastante. Con ayuda de los registros obtenidos en la opción i) se puede determinar un mínimo medio y un máximo medio para usarlos al establecer los límites de coloración en el mapeo térmico. Una vez plasmados en los campos adecuados la transición de colores se efectuará de manera que los números iguales o menores al límite superior tendrán una coloración azul y, de forma análoga, aquellos iguales o mayores al límite superior tendrán una coloración cálida en amarillo. Todas las secciones de la fotografía que se encuentren en un punto medio recibirán una coloración proporcional a su información contenida pasando de azules más tenues a verdes y, posteriormente, a amarillos más suaves. Para ejemplos sobre estos NDVI escalados refiérase a las ilustraciones del capítulo de resultados.
- k) **Umbral binario:** A razón de la experiencia y la observación del operador se puede llegar a un valor del NDVI que marque, en teoría, el conjunto de lo que es óptimo de aquello que no lo es. Este principio es traducido a la escala de 0 a 255 para marcar la frontera entre propiedades reflectantes de cuerpos vegetales y cuerpos no vegetales. Este filtro binario permite al usuario percatarse con claridad de la ubicación y la concentración de los cuerpos del cultivo. Queda a criterio e iteración del usuario encontrar el umbral que satisfaga sus criterios de distinción. Éste número se debe escribir en el campo señalado y debe ser un entero positivo dentro del rango.



- l) **Ruta para guardar imágenes:** En este campo se debe insertar una localidad válida del dispositivo de almacenamiento donde se depositarán todas las imágenes que las funciones anteriores pueden generar.
  
- m) **Salvar:** El botón permite crear en la dirección plasmada en l) un folder con el título “CropImages” donde se guardan: el ortomosaico, los tres histogramas, los tres espectros de RGB, la gráfica 3d de los valores del NDVI, el NDVI, el NDVI escalado y el umbral binario. Todos los archivos se guardan en formato JPG.

## **5 Resultados**

Todas las recopilaciones de evidencia en ambientes controlados se llevaron a cabo dentro de un laboratorio; en el caso de las muestras en cultivos, éstas se recabaron en la región sur del estado de Guanajuato en el municipio de Salvatierra y en coordinación con los productores de brócoli del ejido de Puerta del Monte. En este espacio geográfico se cuenta con años de experiencia en el cultivo del brócoli que han servido como dirección para mostrar los siguientes resultados.

Las evidencias mencionadas guardan, cada una, un valor conceptual único según el cuál serán divididas y descritas. Como fue planteado en la construcción teórica de los contenidos que aquí competen, se ha buscado obtener información decisiva sobre la calidad del instrumental y su directa relación con la capacidad de encontrar zonas de subdesarrollo vegetal y de evaluar la uniformidad y suficiencia de láminas de riego.

### **5.1 Pruebas de laboratorio**

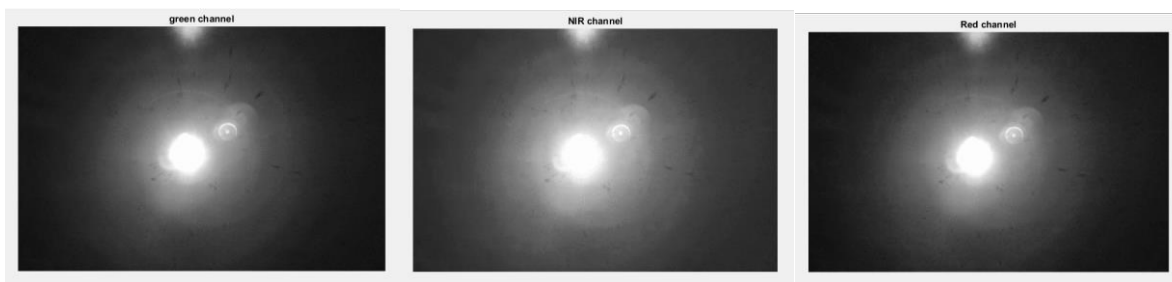
En un ambiente aislado de luz natural dentro del laboratorio se tomaron una serie de fotografías a un led emisor de luz infrarroja IR383 de 940 nm de longitud de onda en condiciones de operación idóneas. Siguiendo la descripción del promotor del lente que se utilizó, el filtro de gel debería ser capaz de intercambiar el espectro azul por el espectro de infrarrojo cercano (700 a 2500 nm).

**Ilustración 17**



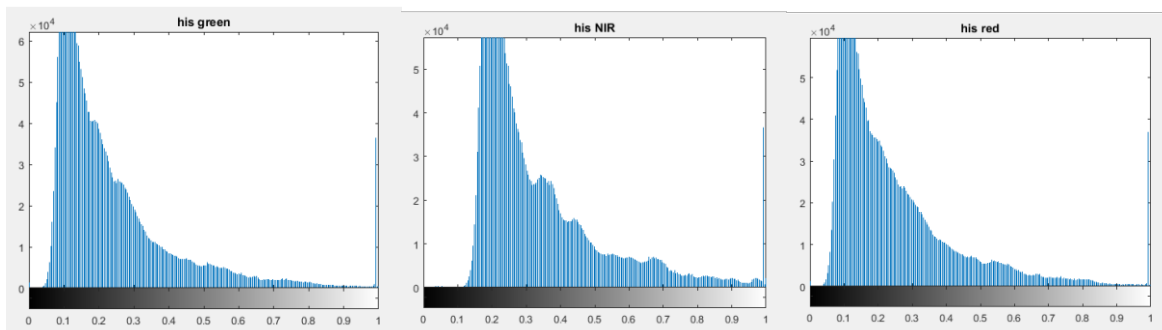
Imagen tomada del led IR383 de espectro de infrarrojo cercano en aislamiento total de luz natural.

**Ilustración 18**



Secuencia de imágenes de la información matricial guardada en la banda verde (canal 2), infrarrojo cercano (canal 3), y rojo (canal 1) respectivamente.

Ilustración 19



Secuencia de histogramas de la cantidad de píxeles en la fotografía (eje vertical) que guardan la intensidad de coloración (eje horizontal) marcada por la escala. Las gráficas muestran la cantidad de píxeles que registran la luz infrarroja. Se presentan los histogramas con la información del canal verde, infrarrojo cercano y rojo respectivamente.

Se observó que sistemáticamente ocurre un fenómeno poco deseable en el uso del lente modificado. Este lente carece del filtro de luz infrarroja que comúnmente se encuentra en los lentes convencionales. Dicha ausencia permite que la luz infrarroja se manifieste no sólo en el canal del espectro de luz azul sino que también causa filtraciones significativas en el canal verde y rojo (predominantemente en el verde\*).

En el experimento se utilizó un led IR383 de luz infrarroja en un ambiente aislado. De manera que no existe ninguna otra fuente de luz ni cuerpo con pigmentación que la refleje, los canales únicamente muestran las filtraciones de luz infrarroja que en ellos existe; es tal, en este medio, que la cantidad de luz registrada en cada canal es suficiente para que el emisor muestre luz blanca. La luz blanca es el producto de la saturación de los tres canales cuando lo esperado de manera ideal es que únicamente el canal azul registrará las emisiones del led.

La filtración no es constante, la ilustración 17, por ejemplo, fue tomada en un ambiente aislado donde el sistema de autofocus trabaja para mejorar el contraste al máximo. Existen diferentes formas en las que las cámaras ajustan la distancia de enfoque con respecto al lazo cerrado de retroalimentación. Este sistema de lazo cerrado puede basarse en la calidad de contraste, en la distancia medida por sensores de distancia e incluso hay sistemas que predicen la posición futura de los objetos para garantizar un enfoque adecuado durante movimiento. Este mecanismo integrado en la cámara puede favorecer la filtración de la luz en los canales; tan es así que, en la ilustración 17, si se toma como fuente de referencia del 100% la iluminación del led infrarrojo captada por el canal de NIR, entonces la filtración en los otros canales, verde y rojo, son un porcentaje de éste total en la magnitud de 69% y 71% respectivamente (ilustraciones 18 y 19).

---

\* Según reportan los usuarios de la tecnología de Public Lab al experimentar con sus filtros y lentes.

De manera similar a la prueba con el led de infrarrojo de 940 nm se tomaron otras tres secuencias de fotos aisladas con láseres de diferentes longitudes de onda y mismas que fueron analizadas en sus distintas bandas o canales.

El primero de estos láseres fue el L785P090 con una longitud de onda de 785 nm, en otras palabras, se trata de un laser de infrarrojo cercano que es el espectro utilizado para calcular el NDVI. Las ilustraciones 21 y 22 muestran su descomposición mientras la 20 es la toma original.

**Ilustración 20**



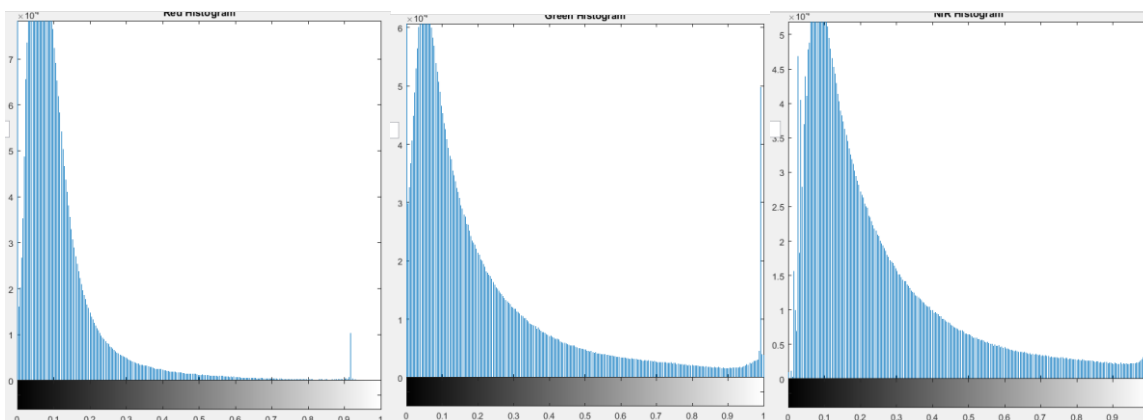
Imagen tomada del laser L785P090 de espectro de infrarrojo cercano en aislamiento total de luz natural.

**Ilustración 21**



Secuencia de imágenes de la información matricial guardada en la banda verde (canal 2), infrarrojo cercano (canal 3), y rojo (canal 1) respectivamente.

## Ilustración 22



Secuencia de histogramas de la cantidad de píxeles en la fotografía (eje vertical) que guardan la intensidad de coloración (eje horizontal) marcada por la escala. Se presentan los histogramas con la información del canal verde, infrarrojo cercano y rojo respectivamente. Las gráficas muestran como los píxeles del canal azul y verde guardan mayor cantidad de luz que el rojo.

Se puede observar que el haz de luz se percibe nuevamente de color blanco (ilustración 20) insinuando reiteradamente que la filtración ha ocurrido en los tres canales. Resulta favorecedor observar que la mayor concentración de iluminación es captada por el canal 3 (ilustración 22). Aparentemente la filtración de información en los tres canales es menor cuando se trata de infrarrojo cercano de 785 nm proveniente de un láser que cuando es infrarrojo cercano de 940 nm emitido de un led.

Ahora, si se habla de que existe una contaminación de los canales rojo y verde debido a un estímulo del espectro infrarrojo cercano, se levanta la pregunta de si la contaminación de los canales es unidireccional o si cada canal se encuentra recibiendo información destinada a los dos canales restantes.

Siguiendo la línea de caracterización del comportamiento del lente, se analizó la percepción de un haz de luz ultravioleta emitido por el modelo de láser CPS532 con una longitud de onda de 532 nm (ilustración 23) que, en teoría, no debería ser captado por el lente pues la sensibilidad al espectro de luz azul, el más cercano al ultravioleta, ahora, presuntamente, opera para registrar luz infrarroja. Sin embargo, el comportamiento es el mostrado en las imágenes (ilustración 24 y 25).

**Ilustración 23**

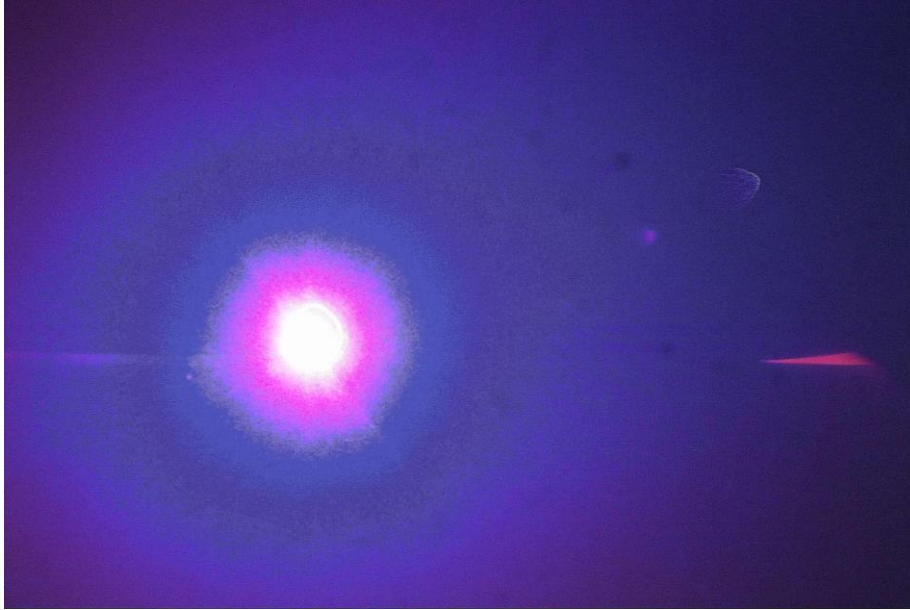


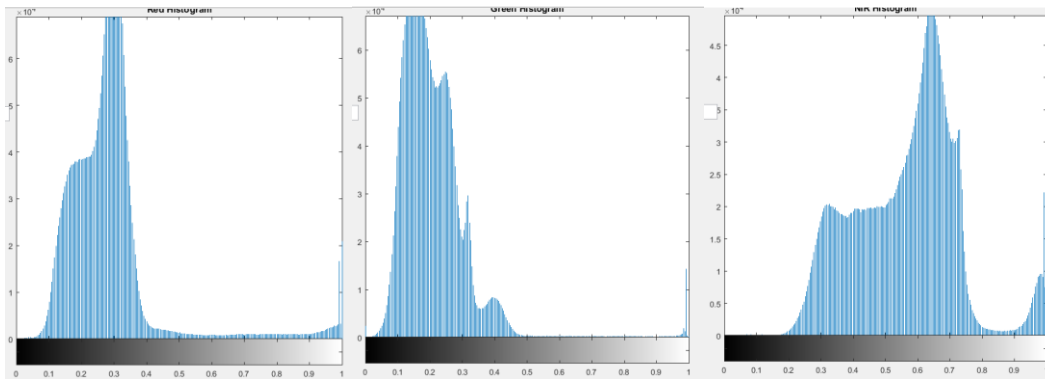
Imagen tomada del laser CPS532 de espectro ultravioleta en aislamiento total de luz natural.

**Ilustración 24**



Secuencia de imágenes de la información matricial guardada en la banda verde (canal 2), infrarrojo cercano (canal 3), y rojo (canal 1) respectivamente.

### Ilustración 25



Secuencia de histogramas de la cantidad de píxeles en la fotografía (eje vertical) que guardan la intensidad de coloración (eje horizontal) marcada por la escala. Se presentan los histogramas con la información del canal verde, infrarrojo cercano y rojo respectivamente. La gráfica del canal azul muestra que guarda dramáticamente más luz que los otros dos canales dentro de sus píxeles.

El último de estos láseres fue el CPS405 con una longitud de onda de 405 nm (ilustración 26), en otras palabras, se trata de un laser luz verde. Las ilustraciones 27 y 28 muestran su descomposición.

### Ilustración 26



Imagen tomada del laser CPS405 de espectro verde en aislamiento total de luz natural.

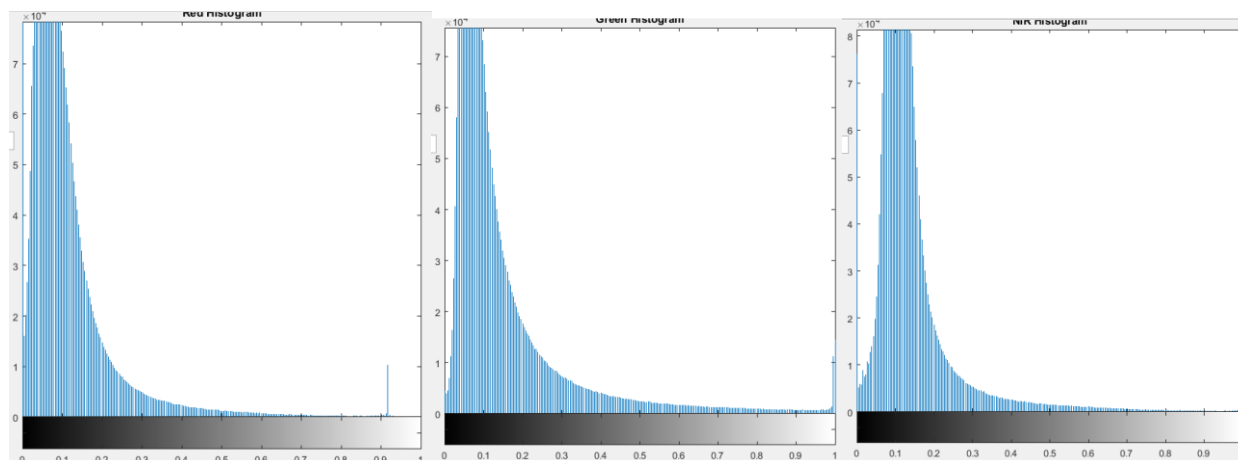


### Ilustración 27



Secuencia de imágenes de la información matricial guardada en la banda verde (canal 2), infrarrojo cercano (canal 3), y rojo (canal 1) respectivamente.

### Ilustración 28



Secuencia de histogramas de la cantidad de pixeles en la fotografía (eje vertical) que guardan la intensidad de coloración marcada por la escala (eje horizontal). Se presentan los histogramas con la información del canal verde, infrarrojo cercano y rojo respectivamente. Se observa que el canal verde tiene una distribución más cargada de sus pixeles en los valores más cercanos al 1, seguido por el canal azul que muestra una acumulación más conglomerada pero sesgada a valores mayores que el canal rojo.

En las pruebas con el láser CPS405, luz verde (ilustración 26), y el láser CPS532, luz ultravioleta (ilustración 23), acontecen filtraciones en los tres canales justo como en las pruebas con fuentes infrarrojas. Al hilvanar las observaciones se dice que, una fuente emisora de luz con un espectro específico o una longitud de onda particular tendrá filtraciones no deseadas en todos los canales. El canal correspondiente a la longitud de onda capta una mayor cantidad de luz que los dos restantes como lo muestran los experimentos sobre el láser de infrarrojo cercano y el laser verde.

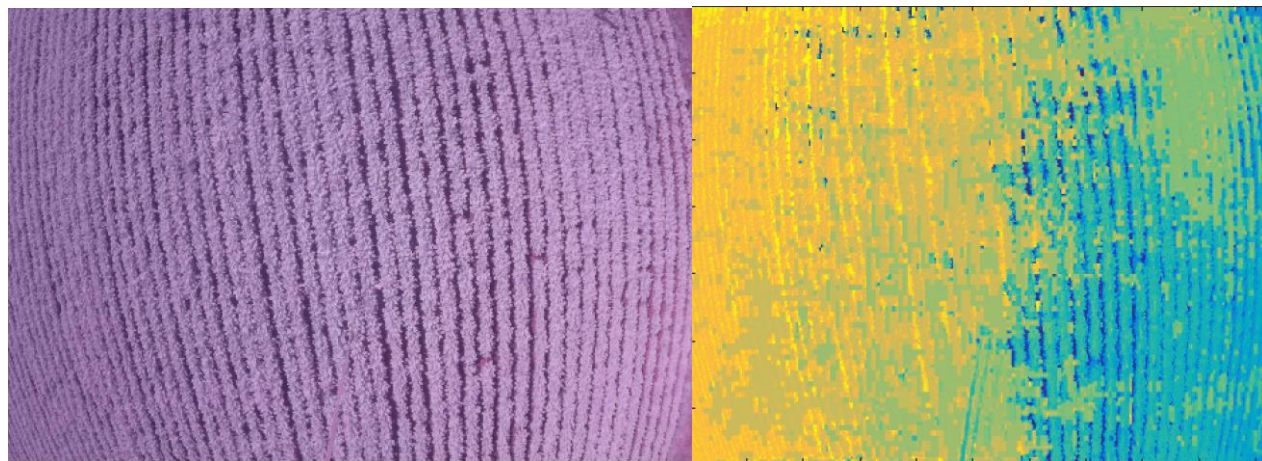
Particularmente, hablando del laser ultravioleta, se observa que pese a que prósperamente el canal 3 muestra una constante sensibilidad al estímulo de infrarrojo cercano, quedan sensibilidades que marcan en este canal, como en los dos restantes, un registro significativo de fuentes emisoras de luz azul o cercanas al espectro de la misma.

## 5.2 Tomas comprometidas por la iluminación natural

Dentro de las primeras pruebas se observa un problema que puede dar forma a la manera definitiva de hacer la fotogrametría aérea en futuras iteraciones. En la foto original, la iluminación parece uniforme y de la calidad esperada, sin embargo, al ser procesada mostró características desconcertantes para el enfoque de programación de rutas de vuelo. Se observa como al calcular el NDVI en la ilustración 29 se obtienen valores altos de la mitad de la foto izquierda que progresivamente disminuyen a valores bajos en la mitad de la foto derecha. Evidentemente hay congruencia local, pues en secciones reducidas se marca una diferencia dramática entre la reflexión del suelo y la de la vegetación, pero en el marco completo de la toma no se puede crear un umbral que distinga certeramente de la planta y el suelo.

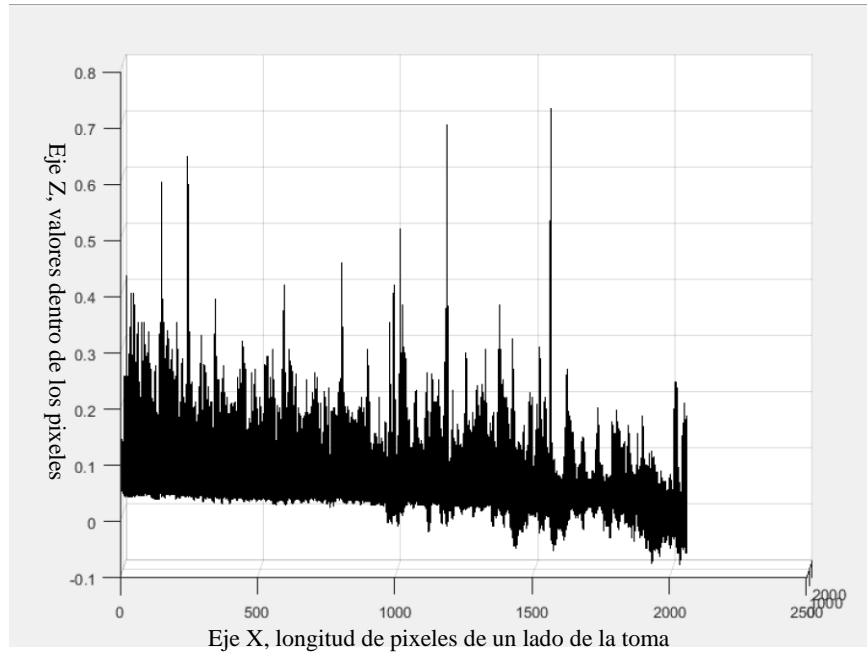
Se reafirma que la carga de reflectancia de los espectros de luz es mayor en la zona izquierda al hacer un mapeo escalado del NDVI obtenido en forma de mapa térmico yendo desde frío hasta cálido en el rango  $[-0.05, .12]$  (rango obtenido de la ilustración 30); indiscutiblemente en este mapa térmico se muestra claramente como la relaciones numéricas de reflectancia entre el suelo y la planta son proporcionales a la iluminación que reciben. En este caso la foto fue tomada a las 16:00 siendo el ángulo de incidencia tal que las plantas del extremo izquierdo recibieran mayor luz natural.

Ilustración 29



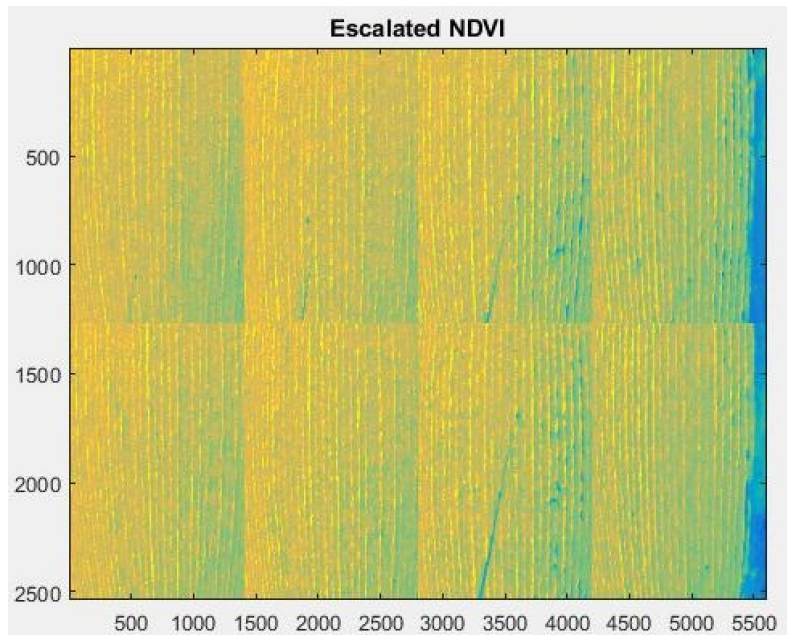
a) Fotografía original con aparente iluminación uniforme tomada a 20 m de altura. b) Imagen obtenida al escalar en un mapa térmico el NDVI obtenido de la fotografía original.

**Ilustración 30**



En esta ilustración se percibe la perspectiva XZ de la superficie que muestra los valores de cada uno de los pixeles de la foto. De tal manera que, se observan los picos de los surcos con vegetación y la variación dentro de los mismos, es decir, los de la izquierda tienen mayor intensidad que los de la derecha.

**Ilustración 31**

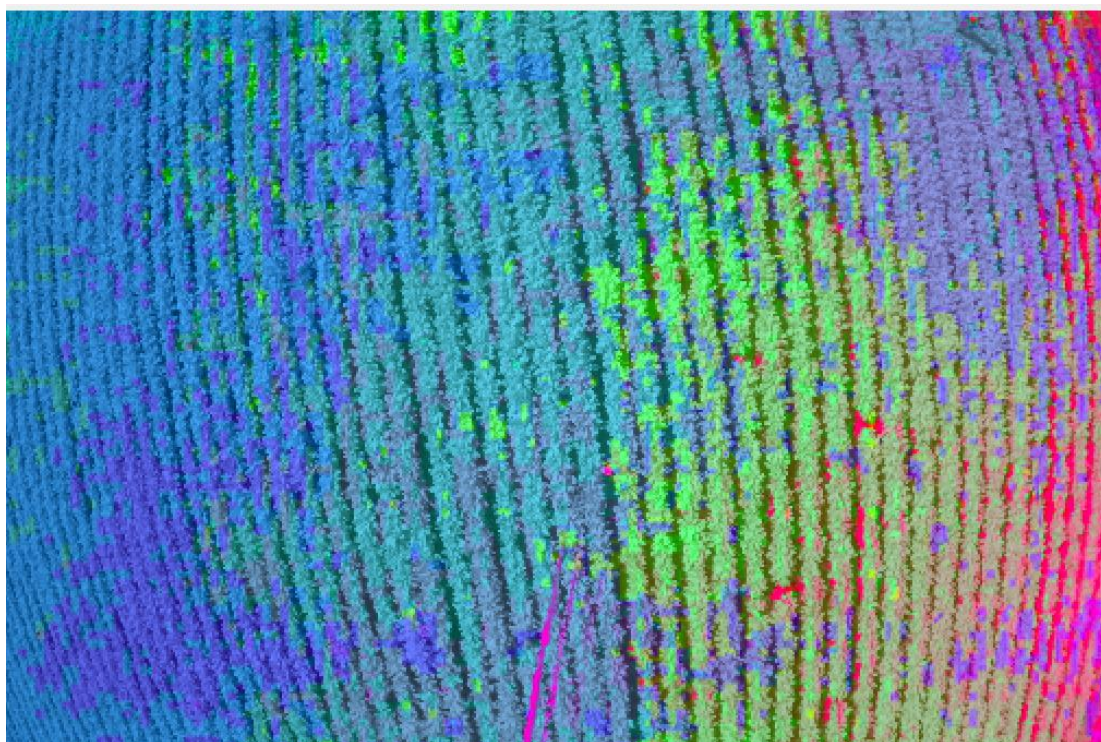


Ortomosaico de NDVI escalado de acuerdo a los parámetros antes señalados y que contempla el total del área que se analizó acarreado las inexactitudes de iluminación. Los ejes son muestran la cantidad de pixeles de la toma incrementados por la suma de las tomas individuales.

Con base en la evidencia mostrada en los resultados de las primeras tomas de los cultivos se observa que la posición del sol es radicalmente influyente para que las tomas guarden información procesable. Las fotos tomadas en un punto del día donde el sol cuenta con un ángulo de incidencia tal que favorece la reflectancia dramática de una parte del cultivo dentro de la fotografía imposibilitan al programa para mostrar información fiel o viable dentro del marco de análisis. En adición, es de resaltar que a menores alturas estas reflexiones son menos evidentes y se podría llegar a obtener un material de muestra menos comprometido si la altura fuera suficientemente baja y el ángulo de reflexión no fuera en exceso pronunciado de tal manera que la congruencia local entre tomas se guardara; sin embargo, el procesamiento del espacio completo se vería afectado.

Aún cuando es posible procesar las imágenes con el propósito de distribuir correctivamente los valores de sus bandas uniformemente a lo largo de la extensión de la fotografía, en la distribución proporcional persistiría la contaminación lumínica pues no hay una corrección modelada para eliminar concentraciones no deseadas.

Ilustración 32



En la imagen se observa la distribución artificial de los colores originales RGB a razón de una medida correctiva que intenta difuminar los inconvenientes de áreas más iluminadas que otras elongado las concentraciones en todo el rango posible sobre las tres bandas.

Es evidente dentro de la ilustración 32 que la zona izquierda, la más iluminada originalmente, guarda altos valores en el canal de NIR (el azul), la zona media hace lo mismo con el canal verde y la zona derecha, de menos reflexión lumínica en las plantas, tiene mayor presencia de luz roja. Estos tres comportamientos con la relación canal-iluminación guían a la conclusión de que incluso una fotografía con tonalidades distribuidas guarda una proporcionalidad a la presencia vegetal iluminada original que hace del material recopilado no apto para establecer conclusiones

A manera de ejemplo tómesese la ilustración 33 donde la construcción del ortomosaico ha sido exitosa pero la iluminación no ha sido la correcta. Se observa que en la postura adoptada en este desarrollo donde se busca exacerbar la concentración vegetal mediante la diferenciación de los colores y sus tonalidades se concluiría que en cada imagen que compone el mapa hay una concentración vegetal más densa en los extremos izquierdos que en los extremos derechos. Una conclusión imposible de sostener pues un patrón así de repetitivo y geométrico es inverosímil en el medio agrícola real.

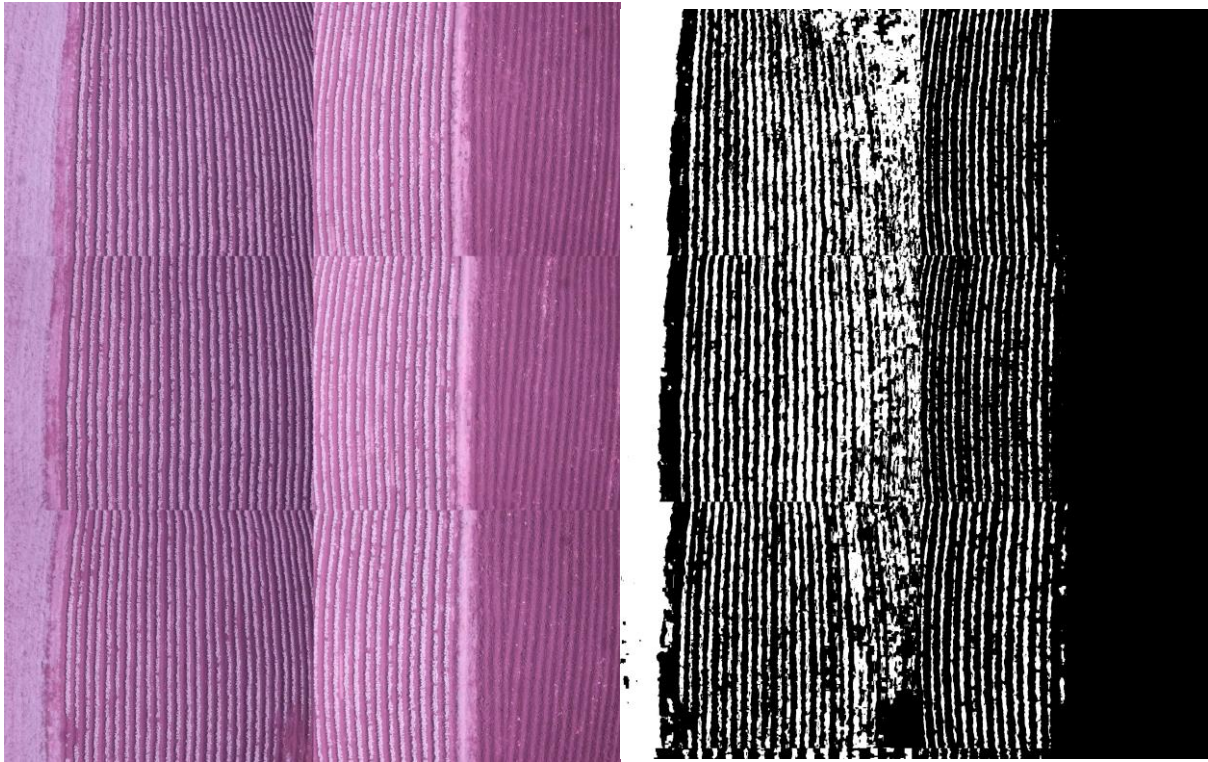
La solución a este fenómeno es hacer la recolección de la evidencia fotográfica a las 12:00, justo cuando el sol se encuentra en su punto más alto. Es una solución sencilla pero limitante, en el imaginario donde se usaran todos los elementos dispuestos en este primer arreglo, el operador sólo sería capaz de trabajar en un rango límite de tiempo durante día. Mientras se realizó la totalidad de las prácticas de campo se recolectaron fotos de las 11 am a las 13:00 pm obteniendo resultados positivos.

La ilustración 39 resulta de la unión de fotografías tomadas a las 11 am y, de igual manera, la ilustración 33 emerge del trabajo realizado a las 13:00. Ambas tomas esquivan los problemas de iluminación natural antes citados y permiten establecer conclusiones basados en la información visual que sus procesamientos arrojan. Ahora, se tiene prueba de que existe un rango de operación de dos horas donde la posición del sol es un factor ambiental que el cálculo de NDVI puede reducir como bien se anticipa en la descripción de su naturaleza de indicador de normalización; sin embargo, el presente trabajo no asevera que el rango sea extensible a otros momentos durante el día y da prueba de que la iluminación a las 16:00 en el uso horario UTC-06:00, S puede generar material fotográfico inservible.

### **5.3 Tomas comprometidas por la cámara**

En las siguientes imágenes se observa como una parcela de brócoli presenta tonalidades claras en algunas secciones y en otras no. Los cambios no pueden ser atribuidos a la iluminación ambiental pues las tomas fueron hechas con apenas unos segundos de diferencia entre ellas y en un tiempo estable y despejado. Sin más posibles influencias se increpa a la programación interna de la cámara por favorecer el contraste entre las tonalidades modificando la apertura del lente.

**Ilustración 33**

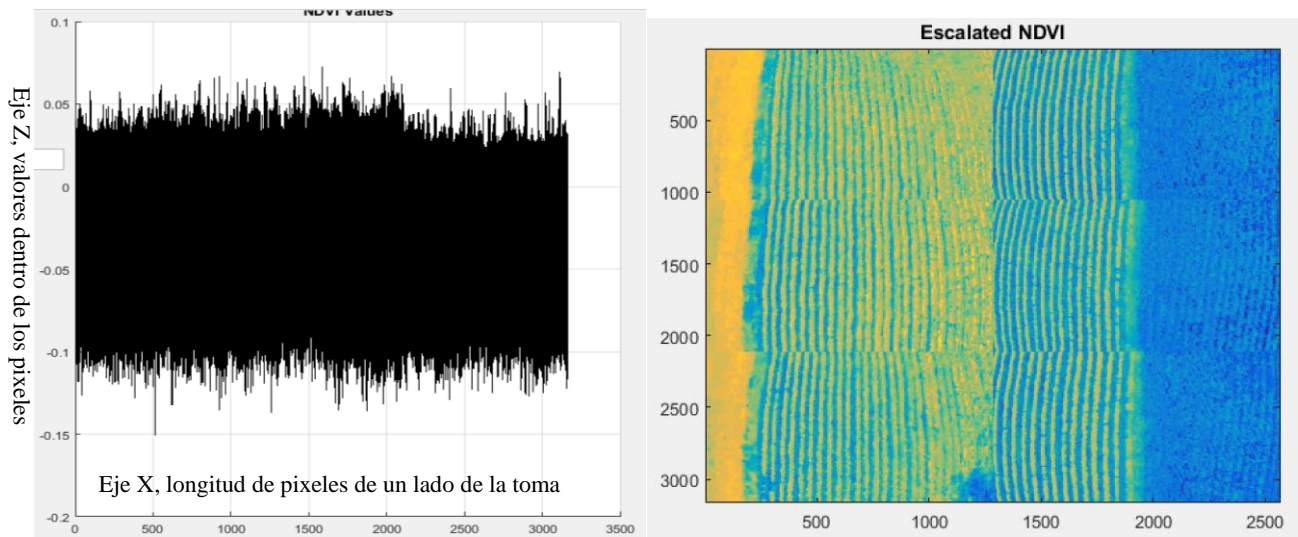


a)

b)

a) Ortomosaico generado con las fotografías originales a 40 m de altura donde las tomas de la columna derecha muestran una pigmentación más clara debido al contraste automático de la cámara. b) Umbral generado con la referencia limite de 127 en un mapa de 0 a 255.

**Ilustración 34**



a)

b)

a) Plano XZ de la superficie que representa los valores guardados (Z) en el mapa de píxeles (XY). b) NDVI escalado bajo el rango de valores [-0.1, 0.04].

Retomando nuevamente la ilustración 33 se admira otro fenómeno de iluminación inconsistente. Las muestras seccionadas de una parcela de brócoli muestran una mayor claridad en toda la columna derecha y una tonalidad perceptiblemente más oscura en todas las fotografías que componen la columna izquierda. Podría atribuirse nuevamente a un fenómeno ambiental de corto efecto que coincidentemente permitiera una mayor exposición solar a las primeras tomas (primera línea de vuelo) que a las de la columna derecha (segunda línea de vuelo).

Contrariamente a esta sospecha se levantan las interrogantes sistemáticas respaldadas en el compendio total de muestras obtenidas sobre la parcela. La cámara suspendida en el drone toma una foto cada cuarto de segundo lo que permite que se tenga evidencia de la evolución de la iluminación del cultivo. Durante el análisis de las pruebas fotográficas en su totalidad se levantan los cuestionamientos de cómo la evolución de las tonalidades reside protagónicamente en la tierra de los surcos del cultivo de brócoli; de cómo nunca en la serie continua de fotografías se percibe el avance de cobertura de una nube obstruyendo la luz del sol o algún fenómeno natural espontáneo que pudiera tener un efecto similar; y por último, cómo es que sin rastro de obstrucción ambiental del sol se restituye la tonalidad clara del suelo en los surcos del brócoli al final de la recolección de fotos (última toma en la secuencia de la ilustración 35).

#### Ilustración 33



a)

b)

c)

Evolución de las fotografías obtenida secuencialmente en la rutina de vuelo. a) fue obtenida en la primera línea de vuelo, b) fue obtenida en la segunda línea de vuelo y c) fue obtenida en el desplazamiento de aterrizaje en el punto de inicio.

Ante tal demostración, se concluye que una vez más el autoenfoco de la cámara opera de manera autónoma para contrastar los elementos dentro de la toma. En la primera fotografía (ilustración 35.a) y en la tercera (ilustración 35.c) se tienen los elementos: tierra oscura, cultivo y tierra de surcos clara; en la segunda fotografía (ilustración 35.b) se tienen los elementos: tierra de surcos oscura, cultivo, y vegetación clara lateral. Dados los elementos, se muestra indiscutible que el suelo de los surcos pasa de ser el elemento de tonalidad media a al elemento de tonalidad oscura y, posteriormente, regresa a ser el elemento de tonalidad media. El suelo de los surcos es

sujeto del balance de contraste automático que la cámara utiliza para garantizar tomas claras entre los agentes de la composición de la fotografía.

En conclusión y advertencia, no sólo la iluminación ambiental puede jugar un papel en la determinación perjudicial de la intensidad de la tonalidad de los elementos sino que también el equilibrio entre ellos interpretado a través de las compensaciones de autoenfoco realizadas por la cámara.

#### **5.4 Parcela con áreas de subdesarrollo en el cultivo**

Se seleccionó una parcela de brócoli de la que se tenía conocimiento previo del crecimiento rezagado padecido (ilustración 36), con la finalidad de comprobar si en la perspectiva centrada en contrastes que se está estudiando se pueden localizar estas secciones de oportunidad con garantía.

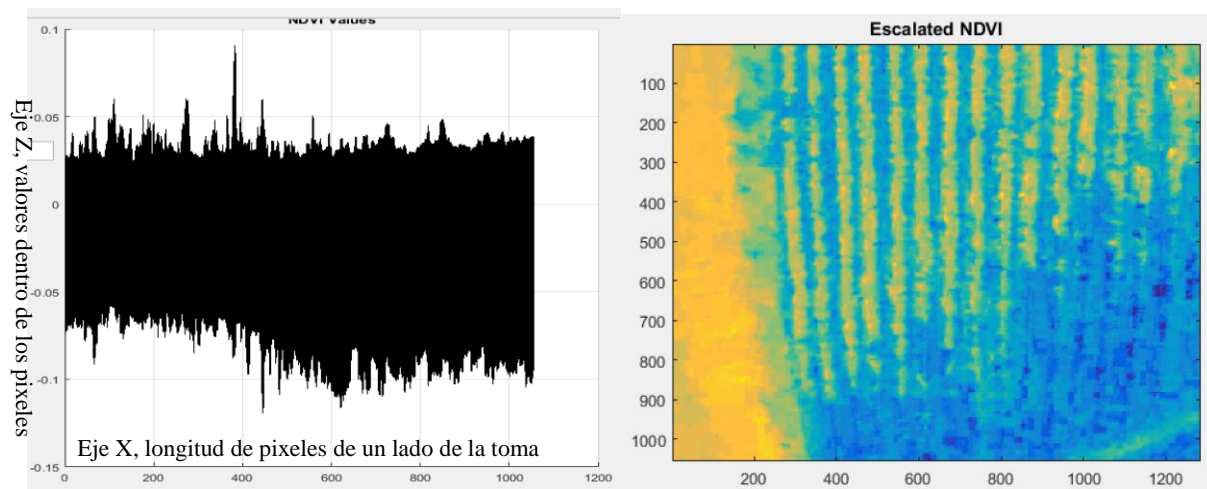
**Ilustración 36**



Imagen original de la sección con rezago en el crecimiento.



### Ilustración 37



a)

b)

a) Plano XZ de la superficie que representa los valores guardados (Z) en el mapa de píxeles (XY). b) NDVI escalado bajo el rango de valores [-0.1, 0.04].

### Ilustración 38

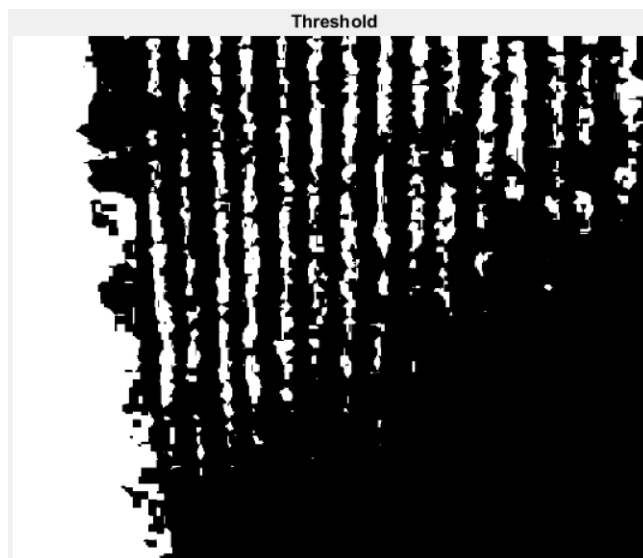


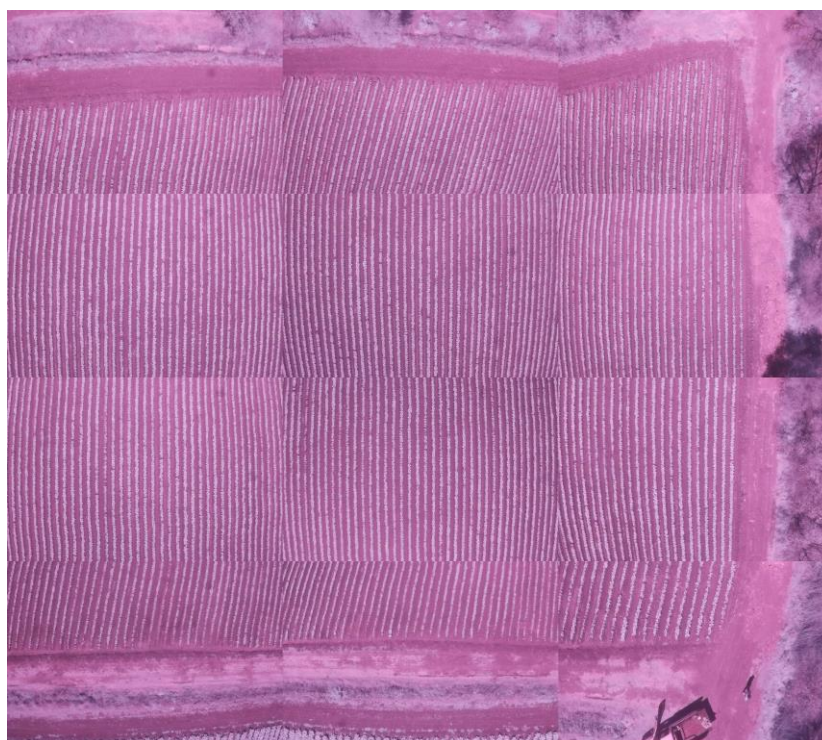
Imagen obtenida con la pauta de un umbral de 127 en la escala de 0 a 255 sobre el NDVI calculado.

Tanto los valores como la pigmentación de la ilustración 37 dan prueba que la fotografía de esta zona es caso confiable para discernir la materia vegetal de la no vegetal (ilustración 38) y deja claro a simple vista que existen secciones de los surcos que no son ocupadas por plantas de cultivo.

### 5.5 Parcela de desarrollo uniforme

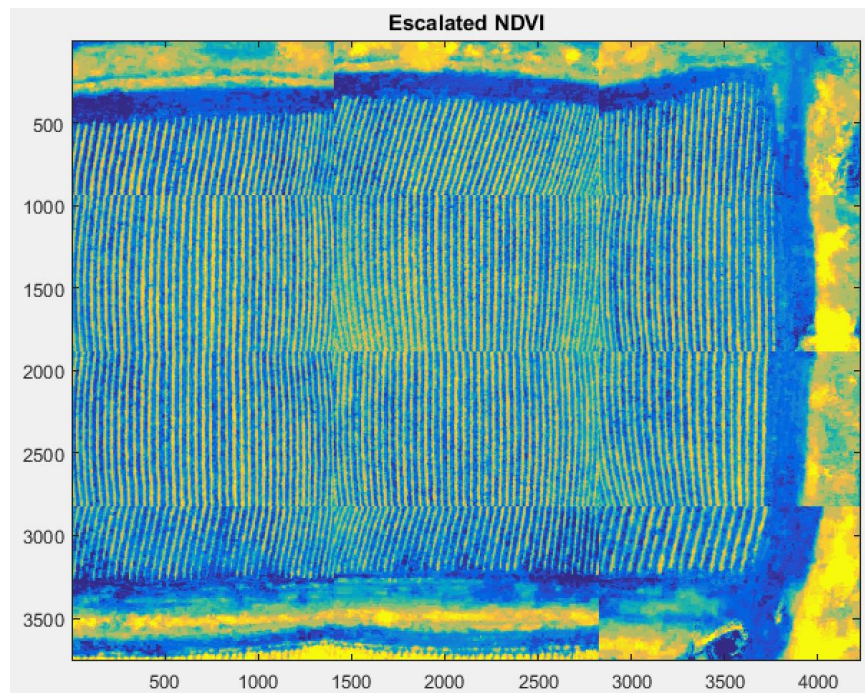
Una vez documentada la respuesta ante el extremo negativo del desarrollo vegetal, es de importancia verificar que las condiciones del extremo positivo sean recopiladas de manera consistente, es decir, a sabiendas de que se puede caracterizar el extremo de crecimiento vegetal no ideal también se debe buscar que se pueda reconocer una evolución de cultivo con uniformidad. De tal manera que, se construyó un ortomosaico de una parcela con un excepcional desarrollo paralelo en toda su extensión, sin incluir el común y poco significativo subdesarrollo en las periferias.

Ilustración 39



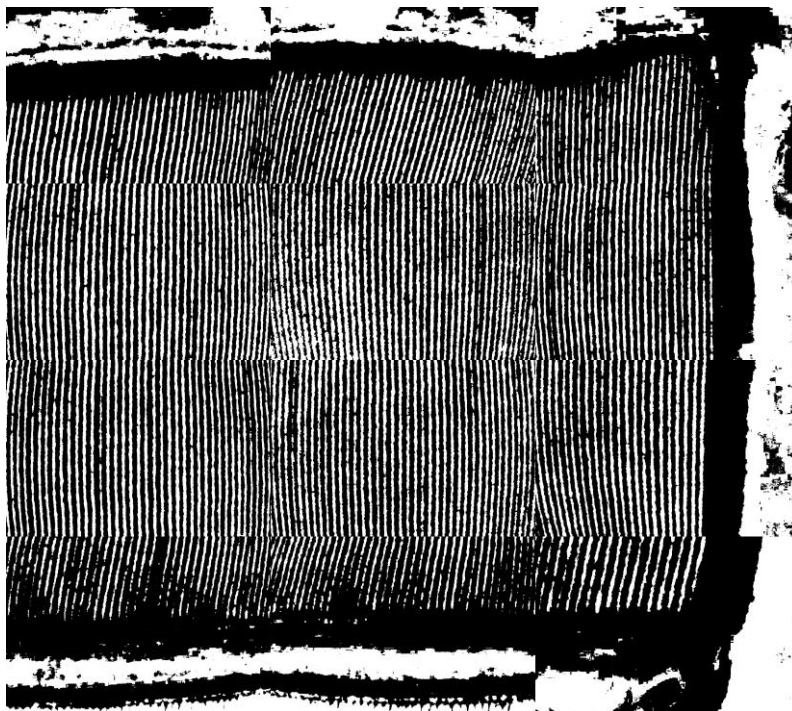
Ortomosaico original a 40 m de altura de una parcela de brócoli poco mayor a una hectárea con un crecimiento del cultivo uniforme.

Ilustración 40



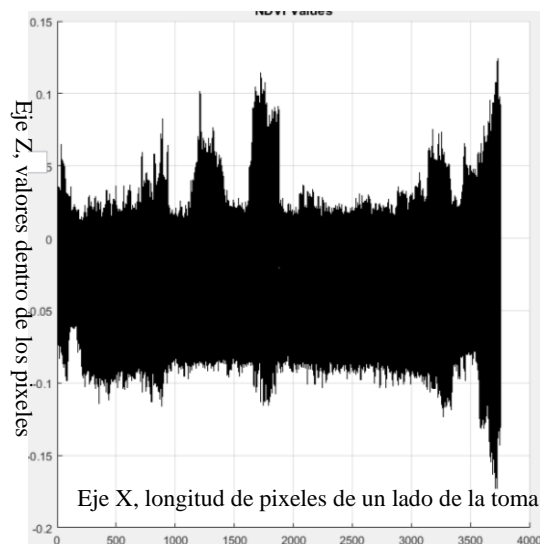
Escalamiento del NDVI del cultivo con los valores -0.08 a 0.02.

Ilustración 41



Umbral del NDVI obtenido bajo el valor de 127.

#### Ilustración 42



Gráfica 3d de los valores del NDVI en el plano XZ.

Pese a los numerosos comportamientos inesperados del equipo resaltados anteriormente se sigue contando con un desempeño efectivo en el marco de ciertas condiciones: ambientes no aislados, iluminación ambiental homogénea y vertical, además de, preferentemente evitar los elementos intrusos y dominantes que alteren la composición de colores de la toma. En un arreglo como este se pueden lograr tomas concluyentes.

En la obtención de material confiable que se vislumbra en la ilustración 39 tanto como el mapeo térmico del NDVI escalado (ilustración 40) permite diferenciar radicalmente las zonas vegetales del suelo del cultivo. En particular, en esta ilustración con mapeo térmico se admira un subdesarrollo de los especímenes de brócoli aún más evidente que en una toma sin procesar (ilustración 39). Se habla de que se pueden identificar áreas como ésta con mayor facilidad a través de las transformaciones realizadas a la imagen, tan es así que, en la ilustración 41 de carácter binario se puede observar que el crecimiento en el área total es satisfactoriamente paralelo; sin embargo, esta parcela adolece del característico rezago en zonas alejadas de la ubicación de los tubos de riego.

### 5.6 Parcela con lámina de riego

Otro de los objetivos es mostrar cómo el suelo es caracterizable en su comportamiento reflectante conforme su humedad cambia. Se presenta en la ilustración 43 una lamina de riego por acequias con una carga de agua acumulada en la parte superior y una sección inferior derecha con influencia reducida del riego. De manera que la humedad pasa de excesiva en la parte superior, donde se encuentra la tubería que proporciona el agua, a menos efectiva en la inferior derecha, zona alcanzada por efecto del nivelado de la parcela, como comúnmente pasa en este sistema de riego no tecnificado.

Ilustración 43



Ortomosaico generado a 40 m de altura en una parcela sin materia vegetal prominente y con un riego aplicado por agua rodada en acequias

Ilustración 44

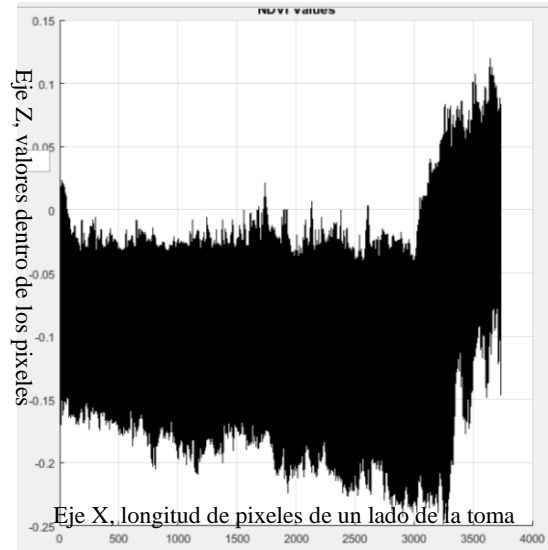
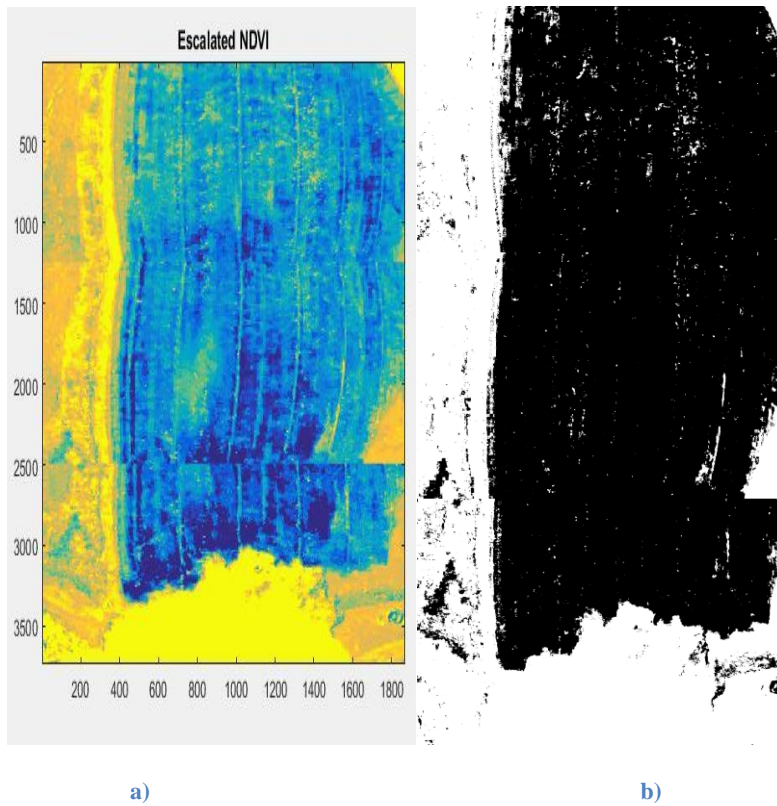


Imagen del plano XZ donde se muestran los valores de los pixeles (Z) con respecto a su ubicación en el eje horizontal. Nótese el elevado valor del NDV en el extremo derecho como consecuencia de la zona poco húmeda con mayor capacidad reflectante.

Ilustración 45



a) NDV escalado en el rango de  $[-.08, 0.02]$ . b) Umbral obtenido bajo el valor de 118 sobre el rango de 0 a 255.

En lo que respecta a las propiedades reflectantes del suelo se aborda un comportamiento más predecible que aquellos en el desarrollo de un cultivo. Mientras en el segundo, dentro el esquema principal, actúan dos elementos: las plantas y el suelo de la parcela; en el análisis de los suelos sin cultivo y en riego solamente se cuenta con el suelo mismo. En este medio las variaciones de humedad guardan una relación con los resultados del NDVI obtenido con el instrumental del presente proyecto, y esta relación consiste en que las zonas de mayor humedad o incluso láminas de riego en proceso de distribución muestran valores considerablemente bajos con respecto a los espacios secos o de menor humedad.

Tómese como ejemplo la ilustración 43 con su respectivo mapa de valores de NDVI en la ilustración 45. En las zonas de la foto donde se agrupan los pixeles correspondientes a la mayor acumulación de humedad, que son los surcos de la izquierda, se aprecian valores con tendencia más baja que el comportamiento promedio; por otro lado, en los pixeles correspondientes a la zona derecha de la fotografía donde hay una zona completamente seca y zonas intermedias que gradualmente pasan de totalmente secas a húmedas hasta incorporarse a las regiones cubiertas uniformemente por agua. Es en esta zona se encuentran valores de NDVI dramáticamente altos, equiparables incluso a la vegetación circundante.

Si se lograra aislar suelos en riego sin plantas de la vegetación circundante o de elementos contrastantes o intrusos que afecten el auto enfoque de la cámara se podría obtener una línea de suelos, es decir, una curva que manifieste el comportamiento reflectante de la escala de humedad de un tipo de suelo característico (en composición mineral) pasando desde los valores de NDVI de las reflexiones de secciones de suelo seco hasta secciones de suelo saturado en agua. De obtenerse esta línea de suelos el agricultor podría parametrizar el comportamiento de absorción de agua de los suelos en preparación para la plantación de individuos germinados en invernaderos; así como podría observar el estado de humedad en los suelos donde la semilla ha sido sembrada y aún no ha germinado.

Se hace hincapié en situaciones donde la planta no ha sido colocada en la parcela o donde la semilla no ha germinado pues la conclusión de un comportamiento consistente se hizo sobre una muestra de terreno despejado. En el hipotético de contar con un elemento más en la toma, como lo es la planta, se pueden alterar los valores numéricos obtenidos en el procesamiento de la imagen. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de, si bien, no crear una línea de suelos, de obtener material visual basado en contrastes para determinar las zonas de mayor humedad y menor humedad en una parcela con plantas desarrolladas y un suelo en riego usando el escalamiento térmico.

## 5.7 Suelo nitrogenado

Mientras se realizaba la recopilación de las pruebas se presentó la oportunidad de analizar una de las consecuencias del cultivo de brócoli. Acorde a lo señalado por las empresas recolectoras del brócoli, los productores poco experimentados suelen aplicar cantidades excesivas de fertilizantes de nitrógeno al suelo de las parcelas; tan es así que, el fertilizante persiste y manifiesta su efecto en el cultivo en la siguiente rotación. En este caso, se presenta una fotografía de una sección de alfalfa donde se aprecia que la mitad derecha se encuentra sobre terreno antes ocupado por brócoli y ahora fertilizado residualmente, y en la mitad izquierda se observa una alfalfa desarrollada en las condiciones cotidianas y sin antecedentes particulares (ilustración 46).

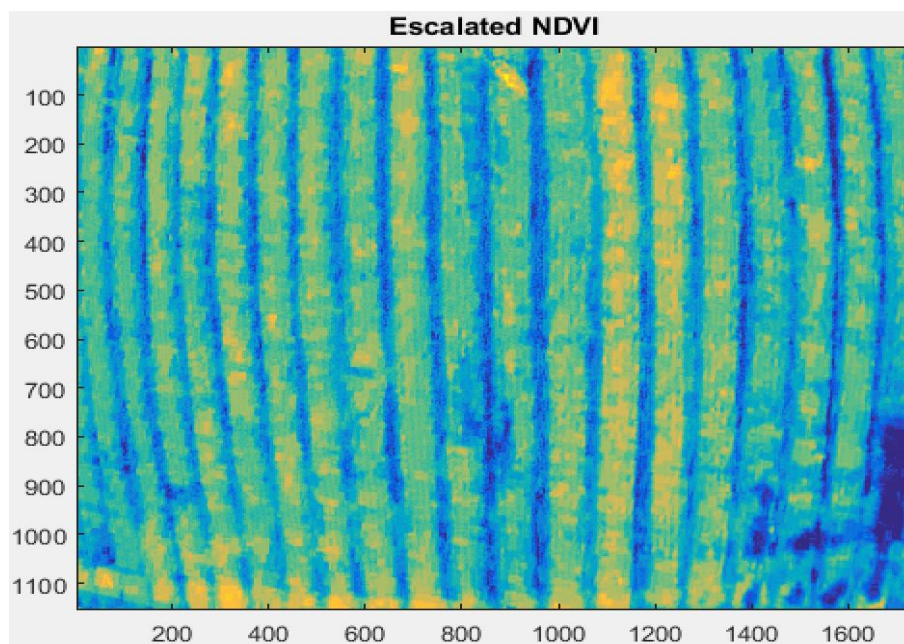
Ilustración 46



Imagen original del área donde se da la transición del suelo convencional al residualmente enriquecido.

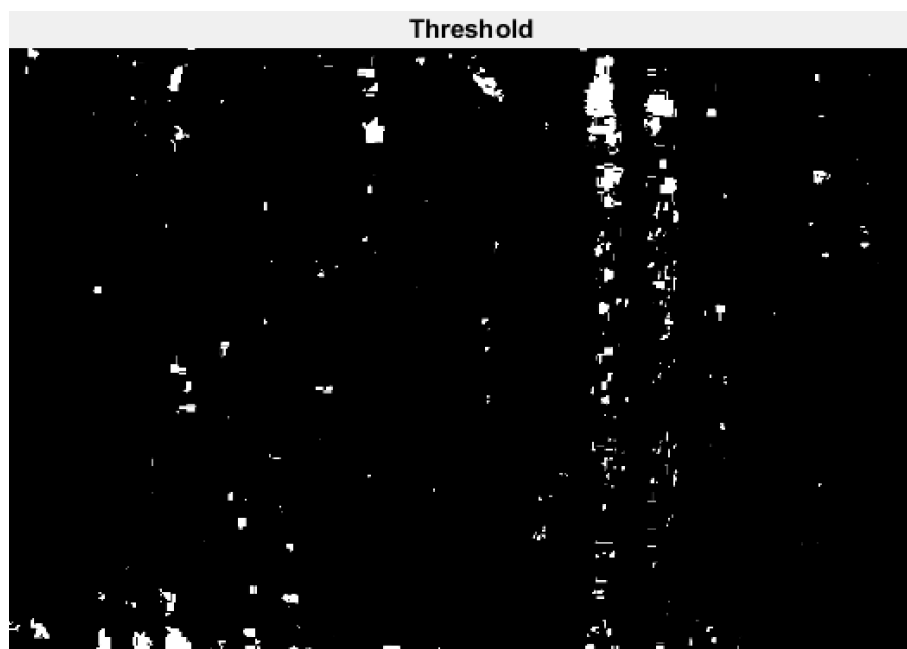


Ilustración 47



Escalamiento del NDVI del cultivo con los valores -0.08 a 0.025.

Ilustración 48



Umbral del NDVI obtenido bajo el valor de 127 donde se muestran las áreas de desarrollo sobresalientes. Nótese la existencia de dos surcos con clara ventaja de crecimiento. Los surcos restantes a la derecha muestran el mismo fenómeno pero sus propiedades reflectantes se ven reducidas por el efecto ojo de pez.

Siguiendo la misma línea de debate sobre zonas con comportamientos vegetales distintivos, se retoman los resultados de la ilustración 46. En ella los residuos químicos de los fertilizantes para brócoli aplicados en el cultivo anterior dentro de la rotación han producido una frontera de crecimiento abrupta. La parte derecha tiene una cantidad anormalmente mayor de plantas en relación al área de la izquierda que tiene un desarrollo convencional.

Debido a los costos de los fertilizantes los resultados no sugieren necesariamente que el agricultor debe aplicar el mismo tipo de fertilizante para el brócoli en cultivos de alfalfa, ni que aplicando en mayor cantidad los ya usados generará una abundancia de resultados que resulte benéfica en el análisis final de inversión y ganancias. Lo que sí permite concluir la imagen es que, en una frontera de un desarrollo peculiar y pronunciado las fotografías obtenidas por la cámara pueden delatar el comportamiento siempre y cuando las áreas a considerar se encuentren cerca del centro de la foto, como es el caso de los dos surcos sobresalientes. Ya que, aunque el resto de los surcos a la derecha también mostraban una densidad anormal de alfalfa por unidad de superficie, esto no se ve reflejado en la toma por efectos del fenómeno de ojo de pez. En la ilustración 48 se ha adaptado un umbral que permite observar las zonas de mayor desarrollo por sobre las demás características visuales ofrecidas en la toma original.

## 6 Conclusiones

Conjuntando las tendencias de comportamiento en ambientes aislados como producto de las modificaciones de una Mobius convencional a una Mobius con un lente IR se observan obstáculos para tomar por enteramente confiables y satisfactorias las tomas obtenidas. Cualquier espectro de luz produce filtraciones en los canales no correspondientes; las emisiones infrarrojas son registradas en su canal pero contaminan los restantes en cierta medida, de igual manera, una fuente de luz verde contamina los canales rojo y NIR. Esto implica que la cámara adolece de inexactitudes en comparación con las cámaras multispectrales profesionales que dividen a la imagen en diferentes espectros con mayor limpieza.

Cuando se trata de emisiones pertenecientes al tercer canal, el relacionado al espectro de luz azul, el fenómeno es dual. Existe una susceptibilidad residual del tercer canal a las emisiones azules, sin dejar atrás a la contaminación existente pero en menor medida de los espectros verde y rojo. Sin embargo, se ha demostrado con dos fuentes de luz de infrarrojo cercano de longitud de onda diferentes (940 nm y 785 nm) que, pese a las desfavorables dos características anteriores sí se registra con protagonismo, en este tercer canal, la información relacionada al espectro NIR del estímulo luminoso retratado.

Ahora, cuando se discute la iluminación de las tomas capturadas en sistemas no aislados se habla de dos fenómenos que modifican radicalmente la estrategia para la recolección de las tomas. Se trata de los efectos de la luz ambiental dependiendo de la posición del sol y del balance de contrastes según las tonalidades de los elementos dentro de la composición de la fotografía.

Las muestras consideradas de “calidad suficiente” para emitir conclusiones basados en la definición de sus contrastes fueron obtenidas en el rango de horas de las 11:00 am a las 13:00 pm. Las fotos tomadas fuera de este rango manifiestan una corrupción en la reflectancia de la luz en cada individuo vegetal dependiendo de su posición en la fotografía y, evidentemente, de qué tan alejada es la hora de la ejecución del vuelo con respecto al medio día (momento de iluminación vertical).

En lo que respecta al segundo fenómeno se presentan pruebas de que, sin la influencia de un fenómeno natural espontáneo y poco duradero una sola secuencia de tomas de una sola parcela presenta tonalidades diferentes para los mismos elementos. La tierra de los surcos sufre de un oscurecimiento en las tomas de la segunda línea de vuelo debido a que un tercer elemento (el primero siendo el brócoli, el segundo siendo el suelo de los surcos y el tercero siendo las plantas adyacentes a la parcela) entra en juego con una tonalidad contrastantemente clara y de gran presencia en el área total. Al interactuar este tercer elemento tan claro o más claro que las plantas del brócoli, la cámara busca distinguir a cada elemento nítidamente a través del aumento del contraste y consecuentemente oscurece el suelo de la parcela.

A partir del principio inferido anteriormente, se tendría que hablar de una composición constante, es decir, mantener los elementos de importancia en su nivel de color comparativo dentro de la foto, ya sea el cultivo o el suelo durante el riego. Idealmente se deben evitar elementos intrusos de gran tamaño y tonalidades fuera del esquema objetivo convencional a fin de evitar que estos elementos se apropien de un gran espacio en la toma y marquen un giro en el contraste automático que hace la cámara.

Dejando fuera los fenómenos que advierten cómo debe ser la estrategia para definir las buenas prácticas en el uso del instrumental se advierten casos de éxito. Las fotografías procesadas son capaces de proyectar con dramatismo y definición a las plantas sobre los surcos; lo cual implica que si se logran apreciar favorablemente los cuerpos vegetales también se logra ubicar cuando estos no están. Las muestras registradas en el capítulo de resultados respaldan la conclusión de que el instrumental y el procesamiento son capaces de emitir resultados concluyentes basados en el contraste para que el operador perciba las zonas de problema de aquellas estándar o deseadas.

En otro aspecto satisfactorio de los resultados, se observa que en un mismo espacio retratando un suelo en riego con diferentes grados de humedad las manifestaciones de la reflectancia varían consistentemente en proporción a la cantidad de agua de la zona. Haciendo hincapié en que se trata de un mismo espacio sí se podrían caracterizar las diferentes situaciones de humedad con respecto a su NDVI y con facilidad se podría hablar del nivel de homogeneidad en el riego analizado.

Sin embargo, debido a que los comportamientos entre espacios no son constantes por la naturaleza poco sofisticada del material fotográfico la comparación numérica entre tomas a diferentes momentos o en diferentes suelos con diferentes contenidos minerales difícilmente emitirían información incuestionable.

Se enfatiza la atención en situaciones de análisis de suelos donde la planta no ha sido colocada en la parcela o donde la semilla no ha germinado pues la conclusión de un comportamiento consistente se hizo sobre una muestra de terreno despejado. En el hipotético de contar con un elemento más en la toma, como lo es la planta insertada o la semilla germinada, pueden llegar a alterarse dramáticamente los valores numéricos obtenidos en el procesamiento de la imagen

Abordando las condiciones que impiden comparar una parcela fotografiada en un momento con una segunda parcela en otro momento, y de igual manera con los suelos despejados y en riego, se entiende que no existe un sistema de referencia para confirmar repetitividad en los experimentos ya sea debido al auto-enfoque o a la contaminación errática de los canales.

A razón de los valores de los resultados que se obtuvieron de NDVI, la literatura señala que los cuerpos vegetales tienen un valor alrededor del 0.7 o superior. Puesto que al normalizar las capacidades reflectantes de la materia vegetal y las influencias ambientales, usando el instrumental adecuado, se obtienen resultados con repetitividad y consistencia.

**Tabla 3**

COVER TYPE	RED	NIR	NDVI
Dense vegetation	0.1	0.5	0.7
Dry Bare soil	0.269	0.283	0.025
Clouds	0.227	0.228	0.002
Snow and ice	0.375	0.342	-0.046
Water	0.022	0.013	-0.257

Tabla que marca en su primera columna los tipos de elementos que pueden cubrir un área dentro de una foto analizada para obtener su NDVI; en la segunda, tercera y cuarta columna presenta los valores numéricos que corresponden a los encabezados: espectro rojo, espectro infrarrojo cercano y NDVI respectivamente.

Fuente: Introduction to Photogrammetry. (2005) Departamento de matemáticas de la Universidad de Coimbra. [Online]. <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>

De manera desfavorable y seguramente debido a todos los fenómenos de alteración que se han descrito anteriormente, los resultados de NDVI, numéricamente hablando, no corresponden a los estipulados sistemáticamente por la literatura correspondiente. En el material recopilado el índice oscila en un rango significativamente menor. En ningún momento, bajo ninguna muestra de territorio o condiciones de iluminación se captaron valores sostenidos de 0.7 en el NDVI para superficies con vegetación. Se hablan de valores que cubren los siguientes rangos [-0.12, 0.05] (ilustración 33), [-0.1, 0.05] (ilustración 40) ; y para los resultados de suelo se obtuvieron resultados dentro del rango de [-0.2, 0.01] (ilustración 42).

Los rangos de NDVI no están diferenciados de manera tan amplia como los resultados obtenidos por cámaras multispectrales o imágenes satelitales, sino que están concentrados en un rango más condensado, las fronteras para diferenciar entre tipos de elementos con propiedades reflectantes evaden estrategias básicas. Se discute que, dependiendo de los factores que influyen en la toma pueden haber elementos no vegetales que posean resultados de NDVI de misma magnitud pero que no tengan que ver ni con cultivo ni con suelos en riego. Tómese como ejemplo la ilustración 49 donde exitosamente se resalta focalizadamente la existencia de materia con clorofila pero, también, dentro del mismo rango de coloración en el mapeo térmico, se encuentran la vestimenta de las personas dentro del espacio retratado.

#### Ilustración 49

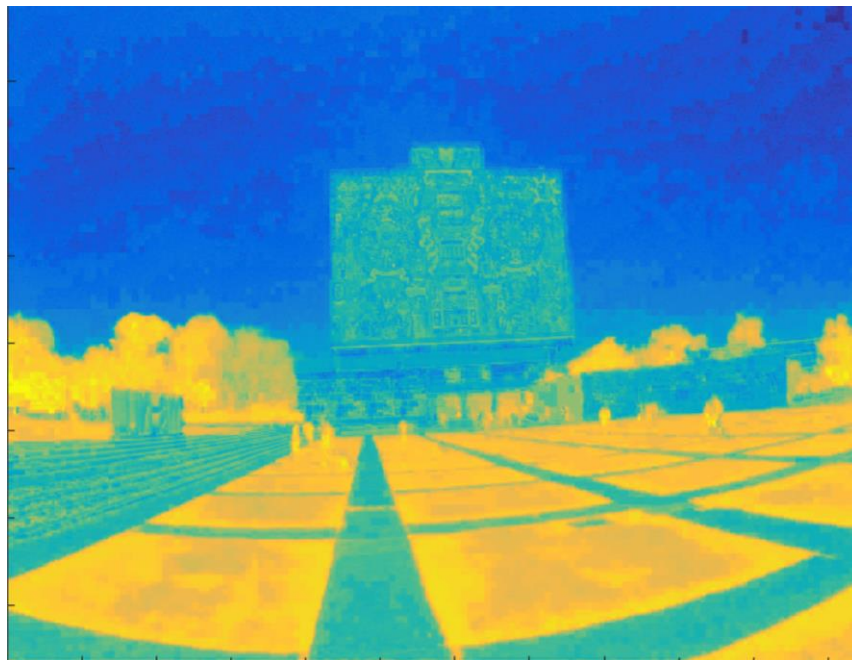


Imagen resultado de un NDVI escalado a un mapa térmico que retrata la presencia vegetal en la urbanidad alrededor de la Biblioteca Central en Ciudad Universitaria.

Consecuentemente, las evidencias anteriores dificultan parrear resultados con bases de datos que formen parte del acervo bibliográfico de investigaciones anteriores. También surge la necesidad de perspectivas y herramientas de interpretaciones auxiliares (el NDVI escalado con rangos variables) creadas a la medida de los resultados. Son estos recursos de procesamiento complementarios los que aportan la evidencia decisiva para emitir las conclusiones en los contrastes.

Si bien existe un comportamiento que raya en desempeños impredecibles e indeseados, es una realidad que se ha logrado conseguir la deserción entre materia vegetal y materia no vegetal en muchas de las tomas presentadas en el capítulo de resultados. El lente en conjunto con la cámara tienen características indeseables en lo que a la pureza de la división de los espectros se refiere pero también cuentan con un campo de acción donde, bajo ciertas circunstancias, se desempeña una labor consistente a la premisa de esta investigación: detectar materia vegetal contrastada con su medio. Para sostener esta premisa se observa que en alrededores urbanos (véase ilustración 49) donde la materia vegetal es la materia orgánica reflectante predominante, las fotografías obtenidas aunadas al procesamiento propuesto son capaces de marcar un reconocimiento consistente entre las plantas con actividad clorofílica y la materia que lo rodea.



El equipo seleccionado y descrito en este proyecto tuvo como objetivo confirmarse como una alternativa económica para los servicios profesionales que se pueden contratar en EEUU y que

comienzan a llegar a México. Las expectativas se elevan con la esperanza de abordar la factibilidad de este instrumental para encontrar secciones del cultivo con necesidad de tratamientos auxiliares a raíz de la falta de crecimiento en la planta.

En la cuesta por crear tecnología accesible para el agricultor promedio aún hay mucho que hacer. Se propone que se tomen a consideración las siguientes recomendaciones para futuras iteraciones basadas en este trabajo; iteraciones que vean una utilidad en la detección por contraste y en el análisis del operador.

Debido a que para algunas muestras se tomaron las fotografías a una altura que ronda los 40 m (la altura puede variar dependiendo del enfoque que tenga el diagnóstico con respecto a las características del cultivo), las imágenes no cubren una gran área y consecuentemente se deben tomar cuantiosas fotografías para construir un mapa completo del cultivo. La elaboración del espacio de trabajo completo se torna en un proceso poco práctico para llevarse a cabo por el usuario en la selección manual de cada foto en relación a su ubicación en el ortomosaico. Se propone el uso de una cámara que capture imágenes geo-referenciadas para poder ser procesadas por un software adecuado. Es verdad que se sacrifica autonomía al integrar un software de este nivel de sofisticación pero, por otro lado, mantiene la factibilidad del proyecto frente a áreas de cultivo extensas a nivel de detalle alto en bajas alturas.

Si bien el precio también se eleva con el uso de una unidad de vuelo diferente, ahora existen capacidades combinatorias alternativas que se observan desde la experiencia que ha generado esta primera iteración. A continuación se presenta una propuesta de instrumental para una segunda iteración del proyecto considerando recursos más apropiados e incluyendo su respectivo presupuesto.

Instrumental usado		Instrumental recomendado	
Drone			
“Phantom 2 ” 	340 USD	“Phantom 3: standard” 	499 USD (399 restaurado)
Ruta Waypoints			
“2.4G Bluetooth Datalink” (más alimentación)	149 USD 18.55 USD 24.28	“Conexión Wifi”	Incluida

 <p data-bbox="272 955 552 987">"DJI Ground Station"</p> 	<p data-bbox="678 252 747 283">USD</p> <p data-bbox="673 1060 755 1092">Gratis</p>		<p data-bbox="966 961 1079 993">"DJI Go"</p> <p data-bbox="1328 1060 1409 1092">Gratis</p>
Cámara			
<p data-bbox="349 1234 479 1266">"Mobius"</p> 	<p data-bbox="678 1407 747 1480">80 USD</p>		<p data-bbox="1315 1423 1421 1455">Incluida</p>
Filtro			
<p data-bbox="337 1707 483 1738">"IR Lense"</p>	<p data-bbox="678 1690 747 1764">25 USD</p>	<p data-bbox="945 1707 1107 1738">"Filtro rojo"</p>	<p data-bbox="1315 1707 1421 1738">15 USD</p>



	
<b>Display</b>	
<p style="text-align: center;">“Ipad”</p> 	<p style="text-align: center;">“Celular o Ipad”</p> 
<b>Total</b>	
<b>636.83 USD</b>	<b>514 USD</b> <b>414 USD (Versión restaurada)</b>

Esta segunda propuesta parece muy atractiva, sobre todo considerando el precio de la versión restaurada, sin embargo, es de importancia saber que la cámara integrada en el Phantom 3 es una versión adaptada de la Go Pro HERO3 y que este modelo es de alta dificultad en la sustitución de los filtros. Fuera de esta especificación las ventajas son evidentes: una versión optimizada en la línea Phantom, menos artículos involucrados y menor precio.

En lo que al procesamiento de imágenes de refiere se reconoce que ante las posibilidades de una paquetería especializada en el procesamiento e imágenes, la técnica utilizada aquí donde los resultados son condicionados al buen diagnóstico del usuario por efecto único de contrastes, se recomienda abordar el concepto de densidad vegetal sobre las imágenes de NDVI. Con esta herramienta de procesamiento se pueden superar la incompatibilidad numérica de los resultados obtenidos con lentes modificados con las bases de datos establecidas haciendo uso del comportamiento numérico local.

Los algoritmos de cálculo de densidades en imágenes son variados y se pueden valer de pre-procesamientos con filtros. En la literatura ya existen estudios que abordan la identificación de plantas en un suelo de cultivo usando imágenes a color. Se abordan problemas elementales como el traslape de plantas y los efectos en los bordes de las imágenes dentro del marco de la estereología. Se han propuesto, incluso, métodos basados en regresiones no lineales y características de la planta\* o hay quienes establecen una relación directa entre la textura de un sección vegetal con la densidad de la misma apoyándose en las siguientes técnicas: matriz de coocurrencia en niveles de gris, análisis basados en fractales para la segmentación, análisis de textura mediante wavelets, entre otros.

---

\* Tengase en cuenta el aporte del siguiente estudio: Assessment of weed density at an early stage by use of image processing  
<http://onlinelibrary.wiley.com/wol1/doi/10.1111/j.1365-3180.1997.tb01817.x/abstract>

## 7 Bibliografía

- [1] Federal Aviation Administrations. (2016, Aug.) Federal Aviation Administrations. [Online]. <https://www.faa.gov/uas/>
- [2] Chris Anderson. MIT Technology Review. [Online]. <https://www.technologyreview.com/s/526491/agricultural-drones/>
- [3] North America's Leader in UAV Technology. (2014, Apr.) Drones over Idaho: Robert Blair, the Unmanned Farmer. [Online]. <https://news.3dr.com/drones-over-idaho-robert-blair-the-unmanned-farmer-75854f3a2868#.nig4fi7uv>
- [4] Andrew Amato. (2014, Oct.) DRONELIFE.COM. [Online]. [www.DRONELIFE.com/2014/10/01/best-agricultural-drones/](http://www.DRONELIFE.com/2014/10/01/best-agricultural-drones/)
- [5] DRONENTHUSIAST. (2016) DRONENTHUSIAST. [Online]. <http://www.dronethusiast.com/agricultural-drones/>
- [6] Andre Nixon. (2016, June) BEST DRONE FOR THE JOB. [Online]. <http://bestdroneforthejob.com/drone-buying-guides/agriculture-drone-buyers-guide/>
- [7] SenseFly. SenseFly. [Online]. <https://www.sensefly.com/applications/agriculture.html>
- [8] PresicionHawk. PresicionHawk. [Online]. <http://www.precisionhawk.com/agriculture>
- [9] DJI. DJI. [Online]. <http://www.dji.com/es/mg-1>
- [10] CONACYT. (2016, Feb.) Centros Públicos de Investigación CONACYT. [Online]. ] <http://centrosconacyt.mx/objeto/laboratoriodrones/>
- [11] Israel Pérez Valencia. (2015, Oct.) CONACYT Agencia iNFORMATIVA. ]
- [12] CO AV-23/10 R2. (2015, Apr.) Aristegui Noticias. [Online]. ] <http://aristeguinoticias.com/2904/mexico/regulan-uso-de-drones-en-mexico-documento/>
- [13] Alberto Valdés Matthew A. McMahon. (2011, Julio) SAGARPA. [Online]. ] [http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/descap/documents/analisisextensionismoagricola\\_mexico.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/desarrollorural/descap/documents/analisisextensionismoagricola_mexico.pdf)
- [14] SAGARPA. (2015, Octubre) SAGARPA. [Online].

- ] <http://sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B702.aspx>
- [15 Natural Resources Conservation Service. (2007, Junio) Natural Resources Conservation Service. [Online].  
] [http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1043474.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043474.pdf)
- [16 (2002, Agosto) Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Online].  
] <http://www.fao.org/docrep/004/y3557s/y3557s09.htm>
- [17 Monografía de cultivos: brócoli. (2011, julio) SAGARPA. [Online].  
] <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Estudios/Documents/monografias/brocoli.pdf>
- [18 Cadena agroalimentaria de brócoli: Trayectoria y Prospectiva de la Oferta Tecnológica. (2003, mayo) FUNDACIÓN GUANAJUATO PRODUCE. [Online].  
] <http://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit7.pdf>
- [19 GUANAJUATO, MÉXICO, MEDIANTE TÉCNICAS MULTIVARIADAS: UN ANÁLISIS DE VALORACIÓN PARA DOS ÉPOCAS 2005, 2009-2010 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA DE YURIRIA. (2012, octubre) scielo.org.mx. [Online]. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v29n3/v29n3a2.pdf>
- [20 Jorge Caire Lomelí, *Fotogrametría Aérea*. Ciudad de México, Ciudad de México, México: UNAM.
- [21 Introduction to Photogrammetry. (2005) Departamento de matemáticas de la Universidad de Coimbra. [Online]. <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>
- [22 John Weier and David Herring. (2000, Agosto) Earth Observatory. [Online].  
] [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.php)
- [23 SEOS. Science Education Through Earth Observation for High Schools. [Online].  
] <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s04.html>
- [24 Department of Plant and Soil Sciences, Oklahoma State University. Nitrogen Use Efficiency. [Online]. [http://www.nue.okstate.edu/VRT\\_Applicator/Wet\\_Dry\\_2002.htm](http://www.nue.okstate.edu/VRT_Applicator/Wet_Dry_2002.htm)
- [25 Dashboard Camera Reviews. (2013, Septiembre) Dashboard Camera Reviews. [Online].  
] <https://dashboardcamerareviews.com/mobius-action-camera-review/>
- [26 The Public Lab Store. The Public Lab Store Starter kits for DIY environmental science. [Online]. <http://publiclab.myshopify.com/collections/diy-infrared->

] [photography/products/infragram-point-shoot-plant-cam](#)

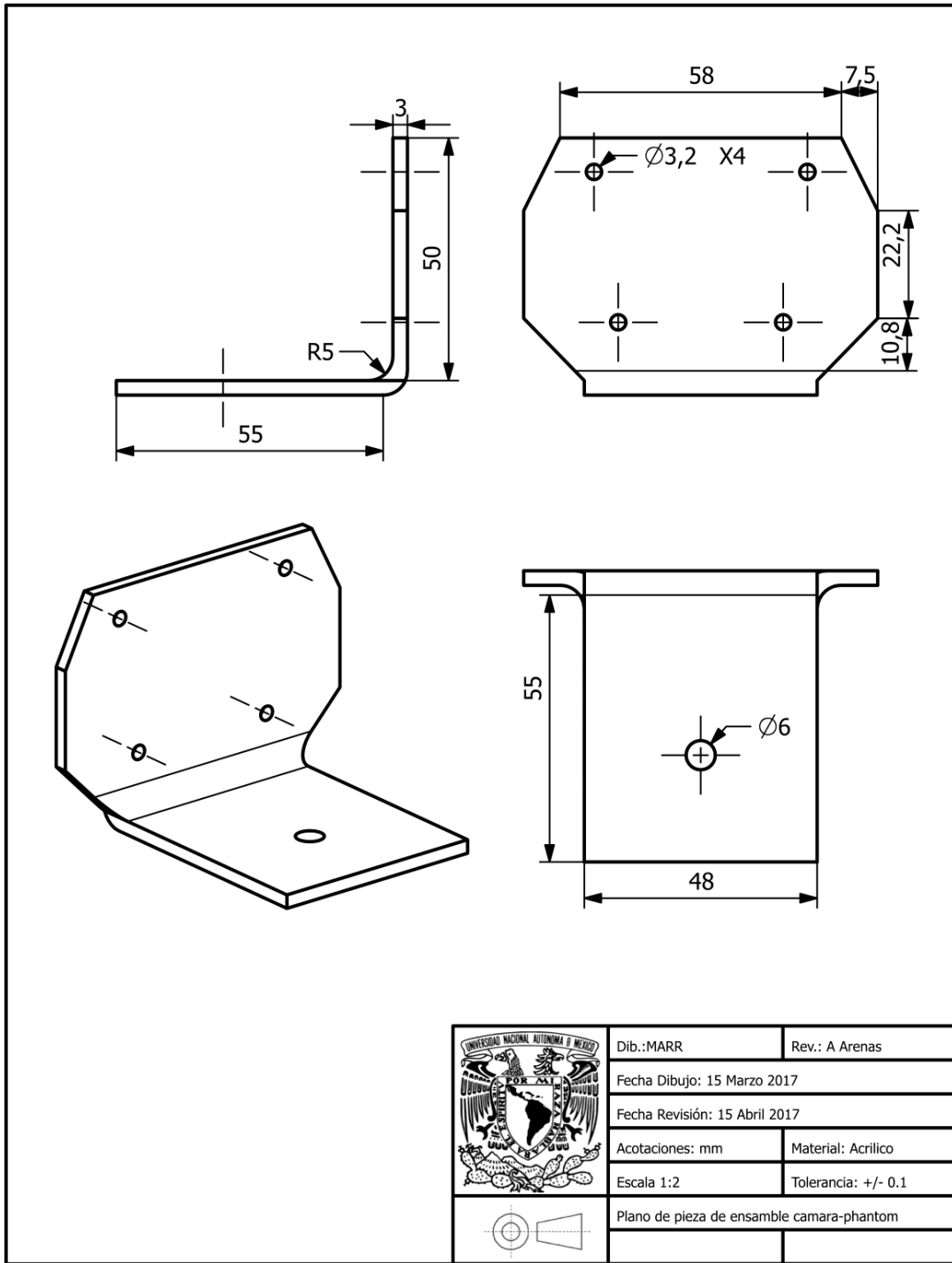
[27 abdul. (2016, octubre) Public Lab. [Online]. <https://publiclab.org/wiki/infragram-point-shoot#Assembly>

[28 nedhorning. (2013, octubre) Public Lab. [Online]. <https://publiclab.org/notes/nedhorning/10-30-2013/red-vs-blue-filters-for-ndvi>

[29 Introduction to Photogrammetry. (2005) Departamento de matemáticas de la Universidad de Coimbra. [Online]. <http://www.mat.uc.pt/~gil/downloads/IntroPhoto.pdf>

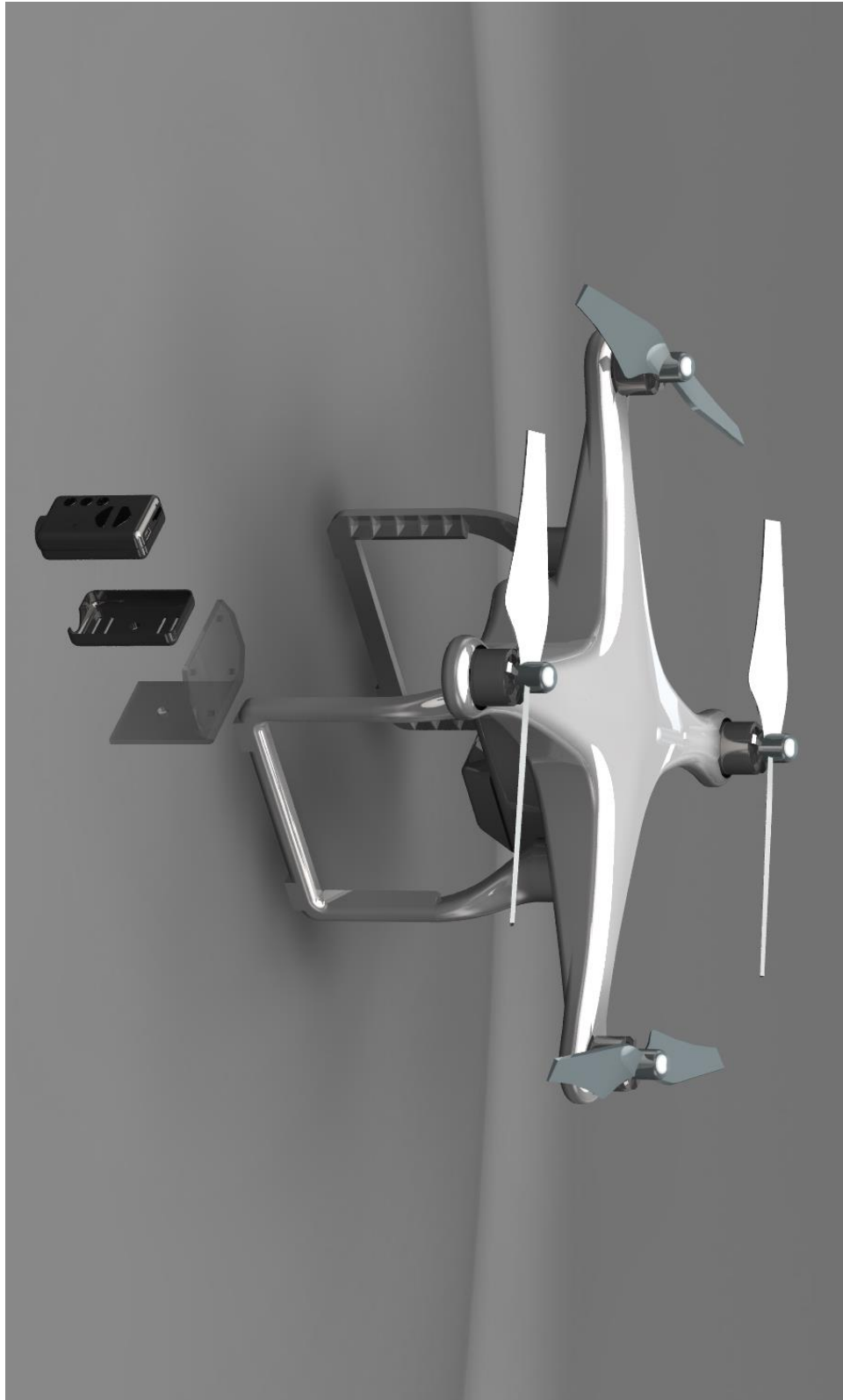
[30 Miguel Angel Rosas Raya, "Trinidad Raya Almanza: productor de brocolí.," Salvatierra, Guanajuato, México, Entrevista febrero 1, 2017.

# ANEXO 1: Plano del Gimbal



	Dib.:MARR	Rev.: A Arenas
	Fecha Dibujo: 15 Marzo 2017	
	Fecha Revisión: 15 Abril 2017	
	Acotaciones: mm	Material: Acrílico
	Escala 1:2	Tolerancia: +/- 0.1
	Plano de pieza de ensamble camara-phantom	

**ANEXO 2: Explosivo del ensamble gimbal, cámara y drone.**



## ANEXO 3: CÓDIGO

```
function varargout = loopin(varargin)

% LOOPIN MATLAB code for loopin.fig

%   LOOPIN, by itself, creates a new LOOPIN or raises
the existing

%   singleton*.

%

%   H = LOOPIN returns the handle to a new LOOPIN or
the handle to

%   the existing singleton*.

%

%   LOOPIN('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
calls the local

%   function named CALLBACK in LOOPIN.M with the
given input arguments.

%

%   LOOPIN('Property','Value',...) creates a new LOOPIN
or raises the

%   existing singleton*. Starting from the left, property
value pairs are

%   applied to the GUI before loopin_OpeningFcn gets
called. An

%   unrecognized property name or invalid value makes
property application

%   stop. All inputs are passed to loopin_OpeningFcn via
varargin.

%

%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose
"GUI allows only one

%   instance to run (singleton)".

%

% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help loopin

% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Mar-2017 13:09:57

% Begin initialization code - DO NOT EDIT

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @loopin_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @loopin_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State,
varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before loopin is made visible.

function loopin_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
```



```

% This function has no output args, see OutputFcn.

% hObject handle to figure

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% varargin command line arguments to loopin (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for loopin

handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes loopin wait for user response (see
UIRESUME)

% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.

function varargout = loopin_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

% varargout cell array for returning output args (see
VARARGOUT);

% hObject handle to figure

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure

```

```

varargout{1} = handles.output;

function dims_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to wtv (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of wtv as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
wtv as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

function wtv_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to wtv (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles empty - handles not created until after all
CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.

% See ISPC and COMPUTER.

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

end

```
function pathf_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to pathf (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of pathf as
text

% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
pathf as a double
```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

```
function pathf_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to pathf (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.

% See ISPC and COMPUTER.

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

end

% --- Executes on button press in submit.

```
function submit_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
t1=get(handles.dims,'String');
```

```
t11=t1{1};
```

```
dimen=strsplit(t11,'x');
```

```
dimensionss=str2double(dimen);
```

```
folderp=get(handles.pathf,'string');
```

```
folderpa=folderp{1};
```

```
count=1;
```

```
number=dimensionss(1)*dimensionss(2);
```

```
xco=str2double(get(handles.xco,'String'));
```

```
yco=str2double(get(handles.yco,'String'));
```

```
b=str2double(get(handles.base,'String'));
```

```
h=str2double(get(handles.hight,'String'));
```

```
for K=1:dimensionss(1)
```

```
for P=1:dimensionss(2)
```

```
index1=int2str(K);
```

```
index2=int2str(P);
```

```
path=strcat(folderpa,'\',index1,'x',index2,'.JPG');
```

```
I{K,P}=imread(path);
```

```
I{K,P}=imcrop(I{K,P},[xco yco b h]);
```

```
count=count+1;
```

```
end
```

```
end
```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

for K2=1:dimensionss(1)

    for P2=1:dimensionss(2)

        if P2==1

            tool=I{K2,1};

            line{K2}=tool;

        else

            line{K2}=[tool, I{K2,P2}];

            tool=line{K2};

        end

    end

end

end

for K3=1:dimensionss(1)

    if K3==1

        tool2=line{1};

        mosaic=tool2;

    else

        mosaic=[tool2; line{K3}];

        tool2=mosaic;

    end

end

end

hObject.UserData=mosaic;

imshow(mosaic), title('Orthomosaic')

% hObject   handle to submit (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% --- Executes on button press in red.

function red_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

red = im2single(mosaic(:,:,1));

hObject.UserData=red;

imshow(red), title('Red band')

% hObject   handle to red (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton3.

function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject   handle to pushbutton3 (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

function xco_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject   handle to xco (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of xco as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
xco as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
```

```
function xco_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to xco (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
function yco_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to yco (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of yco as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
yco as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
```

```
function yco_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to yco (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
function base_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to base (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of base as text

%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
base as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

```

```

function base_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to base (see GCBO)

% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.

```

```

%      See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function hight_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to hight (see GCBO)

% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles    structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of hight as
text

```

```

%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
hight as a double

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

```

```

function hight_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject    handle to hight (see GCBO)

% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called

```

```

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.

```

```

%      See ISPC and COMPUTER.

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

% --- Executes on button press in green.

```

```

function green_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

red = im2single(mosaic(:,:,2));

imshow(red), title('Green band')

% hObject    handle to green (see GCBO)

```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in nir.
```

```
function nir_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
red = im2single(mosaic(:,:,3));
```

```
imshow(red), title('NIR band')
```

```
% hObject handle to nir (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in original.
```

```
function original_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
imshow(mosaic), title('Orthomosaic')
```

```
% hObject handle to original (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in rhis.
```

```
function rhis_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
red = im2single(mosaic(:,:,1));
```

```
imhist(red), title('Red Histogram')
```

```
% hObject handle to rhis (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in ghis.
```

```
function ghis_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
green = im2single(mosaic(:,:,2));
```

```
imhist(green), title('Green Histogram')
```

```
% hObject handle to ghis (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```

```
% --- Executes on button press in nirhis.
```

```
function nirhis_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
nir = im2single(mosaic(:,:,3));
```

```

imhist(nir), title('NIR Histogram')

% hObject handle to nirhis (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% --- Executes on button press in ndvi.

```

```

function ndvi_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

NIR = im2single(mosaic(:,:,3));

red = im2single(mosaic(:,:,1));

ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);

double(ndvi);

imshow(ndvi), title('NDVI')

% hObject handle to ndvi (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% --- Executes on button press in surf.

```

```

function surf_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

NIR = im2single(mosaic(:,:,3));

red = im2single(mosaic(:,:,1));

ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);

```

```

double(ndvi);

surf(ndvi, view(90,0), title('NDVI Values'))

% hObject handle to surf (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% --- Executes on button press in scale.

```

```

function scale_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

NIR = im2single(mosaic(:,:,3));

red = im2single(mosaic(:,:,1));

ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);

double(ndvi);

open=str2double(get(handles.orange,'String'));

close=str2double(get(handles.crange,'String'));

c=close;

o=open;

cla;

```

```

figure, imagesc(ndvi,[o,c]), title('Escalated NDVI')

```

```

% hObject handle to scale (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% --- Executes on button press in threshold.

```

```

function threshold_Callback(hObject, eventdata, handles)

h=findobj('Tag','submit');

mosaic=h.UserData;

NIR = im2single(mosaic(:,:,3));

red = im2single(mosaic(:,:,1));

ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red);

double(ndvi);

ndvi = floor((ndvi + 1) * 128); % [-1 1] -> [0 256]

ndvi(ndvi < 0) = 0;

ndvi(ndvi > 255) = 255;

ndvi = uint8(ndvi);

limit=str2double(get(handles.limit,'String'));

% You may need to experiment with this value

i = (ndvi > limit);

imshow(i), title('Threshold')

% hObject handle to threshold (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

function orange_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to orange (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```

```

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of orange as
text

% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
orange as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.

function orange_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to orange (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles empty - handles not created until after all
CreateFns called

% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.

% See ISPC and COMPUTER.

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

set(hObject,'BackgroundColor','white');

end

```

```

function crange_Callback(hObject, eventdata, handles)

% hObject handle to crange (see GCBO)

% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB

% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```



```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of crange as text
```

```
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of crange as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function crange_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to crange (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
function limit_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to limit (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of limit as text
```

```
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of limit as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function limit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to limit (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles  empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
function pathfolder_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject  handle to pathfolder (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles  structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of pathfolder
as text
```

```
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
pathfolder as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
```

```
function pathfolder_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to pathfolder (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
```

```
% handles    empty - handles not created until after all
CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on
Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
% --- Executes on button press in save.
```

```
function save_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
%Create folder
```

```
folder=get(handles.pathfolder,'string');
```

```
path=folder{1};
```

```
mkdir(path,'CropImages');
```

```
out=strcat(path,'\CropImages');
```

```
%Get individual bands and their histograms
```

```
h=findobj('Tag','submit');
```

```
mosaic=h.UserData;
```

```
imwrite(mosaic,strcat(out,'Orthomosaic.JPG'));
```

```
NIR = im2single(mosaic(:, :, 3)); %save
```

```
imwrite(NIR,strcat(out,'NIRband.JPG'));
```

```
red = im2single(mosaic(:, :, 1));
```

```
imwrite(red,strcat(out,'Redband.JPG'));
```

```
green = im2single(mosaic(:, :, 3));
```

```
imwrite(green,strcat(out,'Greenband.JPG'));
```

```
imhist(green), title('Green Histogram')
```

```
f1=getframe(gca);
```

```
ghist=f1.cdata;
```

```
imwrite(ghist,strcat(out,'Greenhist.JPG'));
```

```
imhist(red), title('Red Histogram')
```

```
f1=getframe(gca);
```

```
ghist=f1.cdata;
```

```
imwrite(ghist,strcat(out,'Redhist.JPG'));
```

```
imhist(NIR), title('NIR Histogram')
```

```
f1=getframe(gca);
```

```
ghist=f1.cdata;
```

```
imwrite(ghist,strcat(out,'NIRhist.JPG'));
```

```
%imwrite(imhist(red),strcat(out,'Redhist.JPG'));
```

```
%imwrite(imhist(NIR),strcat(out,'NIRhist.JPG'));
```

```

%Create NDVI
ndvi = (NIR - red) ./ (NIR + red); %save
imwrite(ndvi, strcat(out, 'NDVI.JPG'));
double(ndvi);

surf(ndvi), view(90,0), title('NDVI Values')
f1=getframe(gca);
ghist=f1.cdata;
imwrite(ghist, strcat(out, 'NIRsurf.JPG'));

%Scale NDVI
open=str2double(get(handles.orange, 'String'));
close=str2double(get(handles.crange, 'String'));
c=close;
o=open;
figure, imagesc(ndvi,[o,c]), title('Escalated NDVI')
f=getframe(gcf);
es=f.cdata;
imwrite(es, strcat(out, 'escaledNDVI.JPG'));
%figure, imagesc(ndvi,[o,c]), title('Escalated NDVI')

%Creath Threshold
ndvi2 = floor((ndvi + 1) * 128); % [-1 1] -> [0 256]
ndvi2(ndvi2 < 0) = 0;
ndvi2(ndvi2 > 255) = 255;
ndvi2 = uint8(ndvi2);

limit=str2double(get(handles.limit, 'String'));
% You may need to experiment with this value
i = (ndvi2 > limit);
imwrite(i, strcat(out, 'NDVIThreshold.JPG'));

% hObject handle to save (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of
MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)

```