

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR EN CULTIVOS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN BAJO ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN, PROPORCIONADOS POR UN SENSOR MULTIESPECTRAL UBICADO EN UN DRONE.

SHARON TATIANA CUENCA CARRILLO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

NEIVA, 2019



DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR EN CULTIVOS, MEDIANTE LA
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN BAJO ANÁLISIS DE ÍNDICES DE
VEGETACIÓN, PROPORCIONADOS POR UN SENSOR MULTIESPECTRAL UBICADO EN UN
DRONE.

SHARON TATIANA CUENCA CARRILLO

Proyecto Aplicado presentado como opción de grado para optar por el título de Ingeniero
Electrónico.

Director del Proyecto:

ANGELO ALBANO REYES CARVAJAL

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERIA

PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRONICA

NEIVA, 2019

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	8
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	9
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2. ANTECEDENTES	11
3. JUSTIFICACION	13
4. OBJETIVOS	14
4.1 OBJETIVO GENERAL	14
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
5. MARCO DE REFERENCIA	15
5.1 MARCO TEORICO	15
5.1.1 El suelo	15
5.1.2 Teledetección	15
5.1.3 Espectro Electromagnético	16
5.1.4 Índices de vegetación en agricultura de precisión	18
6. METODOLOGIA	22
7. DESARROLLO INGENIERIL	24
7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	24
7.2 ELECCIÓN DEL CULTIVO	25
7.3 TECNOLOGIA IMPLICITA	26
7.3.1 Cámara Espectral Mapir Survey 3	26
7.3.2 Lenguaje de programación	27
7.4 TECNICA TELEDETECCION	27
7.4.1 Índice de vegetación NDVI	27
7.5 SOFTWARE IMPLEMENTADO	29
8. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
8.1 DESCOMPOSICIÓN DE LA INFORMACIÓN ESPECTRAL CONTENIDA EN LAS IMÁGENES CAPTURADAS	30
8.2 CÁLCULO Y VISUALIZACIÓN DEL NDVI	31



8.3 SOFTWARE IMPLEMENTADO	32
8.4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE A CULTIVOS DE ARROZ.....	34
9. CONCLUSIONES.....	39
10. BIBLIOGRAFIA	40

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Electromagnético 17

Figura 2. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación 19

Figura 3. Escala de colores del índice NDVI 20

Figura 4. Proceso del proyecto 24

Figura 5. Relación tecnología implícita 26

Figura 6. Cámara espectral 27

Figura 7. Espacio de color RGB. Descomposición de una imagen en los tres canales RGB. 28

Figura 8. Operación matemática del NDVI 29

Figura 9. Izquierda: Canales (RGB) presentes en una imagen tomada con la cámara del dron. Derecha: canales (NRB) presentes en una imagen tomada con la cámara espectral Survey3. En esta última se observa la descomposición de la información presente en los canales 30

Figura 10. NDVI obtenido para una imagen de cultivo de arroz 31

Figura 11. Imagen original en espacio de color RGB. Las zonas claras corresponden a carreteras internas y secas. 32

Figura 12. Interfaz de usuario diseñada para el análisis del NDVI 33

Figura 13. Resultados de la interfaz de usuario diseñada para el análisis del NDVI. 33

Figura 14. Imágenes seleccionadas de un sobrevuelo en un cultivo de arroz. 35

Figura 15. NDVI obtenido para la Imagen A 36

Figura 16. NDVI obtenido para la Imagen B 37

Figura 17. NDVI obtenido para la Imagen C 38



TABLA DE CONTENIDO DE ANEXOS

ANEXOS 1. APARTES DEL SOFTWARE DE PROGRAMACION	431
---	------------

RESUMEN

Dada la crisis energética y el desabastecimiento natural que el planeta está experimentando, surgen muchos sistemas de modelamiento aplicados directamente al agro en busca de la optimización de los procesos de producción de alimentos y aprovechamiento de suelos. En pro de sistemas agrícolas sustentables nace la agricultura de precisión o también conocida como “agricultura de sitio específico”, que no es más que el monitoreo y control electrónico dirigido a la recolección, análisis y procesamiento de información, como base sólida para la toma de decisiones respecto a la asignación de insumos y espacios en el manejo de cultivos.

Conociendo que los nutrientes de un suelo varían según su uso y aprovechamiento, los estudios edafológicos¹ son imperantes en nuestra época cuando se pretende conservar la biodiversidad y contrarrestar el cambio climático. La clave en este tipo de tecnologías es rescatar información certera para controlar costos, optimizar tiempos y aumentar el rendimiento de las cosechas.

La presente propuesta busca bajo el concepto de agricultura de precisión, implementar dentro de las actividades propias de la gestión agronómica la medición de los índices de vegetación de los cultivos propios de la región norte del departamento del Huila (iniciando específicamente con el cultivo del arroz), mediante la aplicación de técnicas de *Teledetección* a partir de un sensor espectral que estará ubicado en un dron, para después de su incorporación en un sistema de información, analizar el estado actual del mismo y generar información que permita apoyar la toma de decisiones del agricultor en relación al Potencial Hídrico Foliar del cultivo. Se busca que a futuro la aplicación sea adaptable a cualquier tipo de cultivo de la región.

¹ Edafología: rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea. Dentro de la edafología aparecen varias ramas teóricas y aplicadas que se relacionan en especial con la física, la química y la biología.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se plantea como una alternativa de solución para los agricultores de arroz, para la medición y cálculo de áreas en zonas rurales de difícil acceso del norte del departamento del Huila, mediante la utilización de un vehículo aéreo no tripulado, conocido también bajo el nombre de Drone. Se implementa con el fin de la elaboración de una plataforma grafica la cual será codificada por el software llamado Matlab el cual es de fácil manejo, para la digitalización de imagen tomada en una zona específica para el análisis, por medio de un sensor espectral alojado en el Drone, los cuales serán procesados, permitiendo saber por medio de los índices de vegetación que lo que está sufriendo el cultivo, para el mejoramiento del producto y su calidad.

Por medio de la tecnología y las funcionalidades que nos ofrece, en este caso el Drone, es una herramienta que va de primera mano para el difícil acceso de zonas extensas del cultivo. Así mismo la facilidad de observar desde el aire el lugar en análisis, ofrece ventajas agregadas que pueden optimizar los procesos de planeación correspondientes al agro.

La adquisición de un Drone y el diseño de un software aplicativo, el cual va a mostrar al agricultor el proceso de monitoreo, adicionalmente se toman puntos de control en el suelo con un GPS de alta precisión que permite georreferenciar cada imagen del cultivo, para lograr una panorámica de sus terrenos y poder tener mediciones con cálculos de áreas más rápidamente. Es por ello que este proyecto busca crear una aplicación que realice dichos procesos de una manera económica, eficaz, sencilla, y al alcance de todos.

El desarrollo del proyecto se compone de seis fases. La primera corresponde al reconocimiento a la elección del cultivo, el cual se obtiene las principales características (humedad, condiciones del suelo, tiempo de vida). La segunda la verificación del equipo, la identificación de las características operativas del sensor espectral y sus respectivas pruebas del sensor adaptado en el drone. La tercera corresponde a la estructuración técnica de teledetección, la selección de los índices de vegetación para el análisis del potencial hídrico foliar. La cuarta es el análisis y proceso espectral, es el tratamiento de la información- procesamiento fotospectral- diseño de la aplicación. La quinta, la interpretación de las imágenes procesadas en relación a la aplicación diseñada. Y sexta y última la entrega de resultados al agricultor.

Este proyecto es altamente innovador y creativo, conlleva a la facilitación de procesos en beneficio del agro y sus propietarios; se considera que su tiempo de vida u operatividad será largo y de gran aceptabilidad por quienes lo conozcan.

TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HÍDRICO FOLIAR EN CULTIVOS, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN BAJO ANÁLISIS DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN, PROPORCIONADOS POR UN SENSOR MULTIESPECTRAL ALOJADOS EN UN DRONE.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es de sobresaltar que el crecimiento económico del planeta depende de la explotación de los recursos naturales incluyendo la fauna, la flora y sus suelos. Este último, es el factor vital para el sostenimiento de los otros (flora y fauna), y varía en relación a agentes como: el lugar del planeta al que se haga referencia y sus condiciones ambientales, su buen o mal manejo, su aprovechamiento intensivo, sus funciones intrínsecas como son la retención de nutrientes, depuración de sustancias tóxicas, regulación de la infiltración de ramas pluviales, transformación y retención de químicos, etc.

Los cultivos además del suelo, también dependen de las condiciones climáticas y naturales de la zona (otros seres vivos); todo esto en su conjunto determina la vida y calidad de los cultivos durante su tiempo de desarrollo y producción. Son por tanto actividades propias de la producción de un cultivo: la consideración del tiempo y clima ideal para la planta, la preparación del suelo, la fumigación y control de plagas, el suministro de nutrientes, y ante todo la garantía de una hidratación adecuada, entre otros.

El departamento del Huila, perteneciente a la zona andina, el clima de Huila es muy diverso, la temperatura varía de acuerdo con la altitud y el relieve de cada lugar, alterada por los vientos y las lluvias. Los períodos de lluvia son en los meses de abril, mayo, y de octubre a diciembre; el resto del año se considera como época seca, aun cuando se presentan lluvias esporádicas. Los suelos son aluviales, jóvenes, muy fértiles en los valles altos del Cauca y el Magdalena, y ácidos y lavados en los valles bajos de esos ríos. Aunque la zona presenta buena infraestructura y una excelente localización geográfica para la producción agrícola, y es la zona más desarrollada del punto de vista agropecuario con explotaciones tecnificadas de arroz, maíz, algodón, soya entre otros, presenta variabilidad en relación a sus climas demarcado sobretudo en el norte del departamento. Esta variabilidad conlleva a un déficit de agua en algunos meses y un exceso en los otros.

A partir de lo anterior surge una inestabilidad en la producción de los cultivos relacionada con las técnicas de manipulación del riego según las condiciones del cultivo, que le suministran la hidratación necesaria a la planta, y que en ocasiones resultan desconocidas para el campesino agricultor. Es así como surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo identificar las condiciones actuales de un cultivo, de manera que se pueda obtener información asertiva sobre su estado presente en relación a su vigorosidad, y así generar un diagnóstico actual sobre la situación natural del mismo?

Para atender tal cuestionamiento hoy en día se implementan técnicas de teledetección, algunas apoyadas en sensores espectrales que mediante el estudio del espectro electromagnético permite conocer y detectar la composición fisicoquímica del cultivo en conjunto con el ambiente y sus suelos. El uso de técnicas de clasificación digital y visual mediante análisis espectrales otorga información valiosa para solucionar tal interrogante.

2. ANTECEDENTES

Son contadas las incursiones que bajo la implementación de equipos de vuelo se hayan realizado últimamente en función de labores agropecuarias, pero dado que hoy en día uno de los elementos principales para la ejecución de este proyecto están tan de moda, y al alcance del usuario, pues implementarlos con beneficios colectivos ha sido un gran motivante.

Anteriormente, para este tipo de cálculos en zonas de difícil acceso se utilizaban avionetas con fotógrafos que tomaran las imágenes desde el aire de diferentes posiciones, pero con una misma altura, para luego unificarlas y hacer una sola fotografía grande de todo el terreno, luego se tomaba una hoja preferiblemente pergamino que se pudiera sobreponer a la fotografía y realizar diferentes métodos de análisis para hallar el área. Ahora con la implementación de los vehículos aéreos no tripulados (drones), se obtienen imágenes a tiempo real y con mejor precisión.

Los vehículos aéreos no tripulados, surgieron inicialmente como herramientas militares, pero hoy en día sirven para uso personal y empresarial, los cuales pueden tomar imágenes de la superficie terrestre para realizar los mapas del país. Los aparatos usados para ello tienen una autonomía de vuelo de hasta 25 minutos, pueden elevarse a alturas hasta los 2.000 metros sobre la superficie y están equipados con GPS, sistema inercial para estabilizar tomas y cámara de alta resolución para obtener imágenes aéreas de entre 500 y 600 hectáreas. Una vez se logra capturar la imagen a una escala determinada se hace la previa planeación del vuelo e identificación de puntos de GPS en campo, se descargan y se ensamblan digitalmente las imágenes con los puntos geo-referenciados, se procesa la información geográfica de la imagen, se hace un estudio de calidad y se genera el llamado mapa. En este sentido, los drones son ideales para captar fotos en sitios remotos o de difícil acceso como quebradas, caños y complejas zonas de orden público.

A nivel medioambiental respecto a su aplicabilidad el uso de drones permite llevar a cabo tareas de vigilancia y control; permite observar desde una perspectiva privilegiada los fenómenos y cambios que se producen en grandes espacios y comparar su evolución a lo largo del tiempo. Hoy en día se implementan de manera directa en: Vigilancia forestal y extinción de incendios, control de cuencas hidrográficas, evaluaciones de impacto ambiental, documentación de zonas de degradación y erosión, control de vertidos, control de almacenaje de residuos, estudio de especies salvajes o en peligro de extinción entre otros. Es altamente utilizado en esta área debido a que es poco invasivo y no trastorna el desarrollo normal de la vida natural.

El equipo del instituto Nacional de tecnología agropecuaria de precisión del INTA Manfredi, evaluó la precisión de los datos obtenidos por un dron en condiciones reales, explicando MENDEZ² “Pudimos detectar una muy buena correlación entre el dato logrado en la medición por una cámara multiespectral montada en un avión, con respecto a la medición tomada con el sensor activo Green Seeker montado en una pulverizadora”, lo cual genera un gran avance tecnológico en la agricultura de precisión, “Es una herramienta para saber con certeza lo que ocurre en el campo y certificarlo. En este caso, si hay deriva o no”¹.

Con estos avances tecnológicos, se pueden tomar decisiones en menor tiempo con tan solo observar las imágenes o videos y analizar el área, ya que se identifican cuáles son los problemas, las fallas

² Drones un aliado de precisión para el campo. MENDEZ, Andres. Buenos Aires: INTA Manfredi.2014.

en los terrenos y/o plantaciones, las plagas que tienen, entre otros y se cuenta con la opción de acercar la imagen si es necesario, o pausar el video, retroceder por un tiempo o adelantar el video.

Una de las aplicaciones más extendidas a nivel mundial que tiene los drones, es la realización de topografía aérea para obtener modelos de elevación del terreno que pueden usarse para aplicaciones en construcción, para inclusión en sistemas GIS y para comprobación de superficies y catastro en las ciudades.

Además de estas aplicaciones se pueden encontrar otras más agroforestales, que sirven para el control del aire, para la prospección y explotación de recursos minerales, aplicaciones hidrológicas y de agricultura, aplicación al seguimiento fitosanitario para masas forestales, extinción nocturna de incendios forestales, evaluación de impactos, y lo más reciente lanzado por DJI en 2015, un Drone con un aplicativo ya incluido que fumiga los cultivos.

En Colombia, también ya se encuentran a la venta diversos drones para diferentes necesidades, los cuales se pueden conseguir desde internet que ofrecen muchos servicios de cartografías en zonas amplias y de difícil acceso, entre los cuales se pueden nombrar a empresas como MAROCIT, AFI Aerofotografías e Ingeniería, Topoequipos S.A, entre otros.

3. JUSTIFICACION

Debido al crecimiento acelerado de la población se ha establecido que para el año 2050 la demanda mundial de alimentos aumente en un 60% según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. Este hecho hace que los grandes, medianos y pequeños agricultores a nivel mundial desempeñen una función clave para satisfacer estas necesidades. Desde el punto de vista regional, Colombia tiene un gran potencial en la producción de alimentos debido a su diversidad de climas y suelos, hecho que contrasta con el aporte del solo 6.3% al PIB (año 2014).

Por lo anterior, este proyecto se justifica en la necesidad de adaptar innovaciones tecnológicas (uso de drones y sensores espectrales) en la agricultura, con el objeto de suministrar información precisa que conlleve a un mejor manejo de cultivos, a aumentar la productividad e indirectamente aportar a la demanda de alimentos nacional y mundial que tiene nuestra población.

La importancia de conocer del suelo, y los cultivos proporciona el aumento de la cantidad y calidad de la producción agrícola, y en consecuencia pecuaria, así como la preservación del medio ambiente. Cada comunidad vegetal tiene su ciclo de vida que es importante reconocer para lograr realizar un tratamiento familiarizado con la misma de manera que se garanticen resultados factibles para el aprovechamiento general.

La presente propuesta permitirá en el caso inicial, suministrar información sobre el potencial hídrico foliar (condiciones de humedad) en el cultivo de arroz propio de la región norte del departamento del Huila, de manera que, a manera de diagnóstico, le permita al agricultor tomar medidas de mejoramiento sobre el manejo del mismo.

Por otro lado, los recursos para ejecutar la propuesta han sido gestionados en concurso con el Plan de Gestores de la Gobernación del Huila, En el año inmediatamente anterior se gestionó una propuesta alterna, con la cual se adquirió el drone; en el mes de octubre del presente año se participó con la propuesta actual y el proyecto fue ganador bajo bolsa concursable obteniendo la aprobación del rubro necesario para comprar la cámara espectral adaptable al drone.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Aplicar técnicas de teledetección, para análisis de índices de vegetación proporcionados por un sensor multiespectral alojado en un dron, y así determinar el potencial hídrico foliar en cultivos de arroz de la zona rural del municipio de Campoalegre, Huila.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer las condiciones naturales que deben considerarse en un cultivo, previo a su análisis espectral.
- Identificar la técnica de teledetección a implementar que, en relación al índice de vegetación seleccionado, permita de manera precisa otorgar información sobre el potencial hídrico foliar en el cultivo.
- Desarrollar una aplicación de fotointerpretación haciendo uso de Matlab, para el análisis del potencial hídrico foliar, a través de las imágenes multiespectrales capturadas por el sensor durante los sobrevuelos al cultivo de arroz.
- Diseñar un sistema de información que permita obtener un mapa general del índice de humedad del cultivo, y facilite al agricultor de manera indirecta la toma de decisiones en cuanto a la determinación de frecuencia de riegos, en el cultivo.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 MARCO TEORICO

5.1.1 El suelo

“El suelo es un cuerpo natural, tridimensional, situado sobre la superficie de la tierra, formado a partir de materiales minerales y orgánicos, soporta o es capaz de soportar plantas en forma natural, además está constituido de una gran variedad de organismos, entre los que se encuentran los virus, bacterias, protozoarios, invertebrados de diversos phyla, hongos, algas y plantas.

El suelo es un elemento dinámico, cambia con el tiempo y en el espacio, contiene material mineral y/u orgánico no consolidado que ha sido sujeto a los factores formadores (clima, roca, organismos, relieve y tiempo). En el suelo se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología, características y funciones. La formación de un suelo es un proceso largo que dura de cientos a miles de años, por lo que este recurso natural debe considerarse como no renovable.

El suelo constituye el medio natural en donde se desarrolla la vegetación y los cultivos agrícolas, en él se inicia y termina la cadena alimentaria: las plantas toman de allí sus nutrimentos, agua y oxígeno. Los herbívoros necesitan de las plantas para vivir, en tanto que los consumidores secundarios, los carnívoros, requieren de los herbívoros para su subsistencia. Cuando plantas, herbívoros y carnívoros mueren los desintegradores (invertebrados, hongos y bacterias) los descomponen y se reciclan los nutrimentos.

El uso adecuado del suelo influye en: la conservación de la biodiversidad, estabilidad del clima mundial, conservación de los cuerpos de agua, funciona como un reactor (filtrando, amortiguando y transformando los contaminantes); aumento de la producción agrícola, pecuaria y forestal; y en la disminución de problemas de contaminación ambiental” .

La agricultura de precisión surge como una herramienta fundamental para el manejo ideal de los suelos y sus cultivos, y busca optimizar los procesos agrícolas en una finca o parcela desde los enfoques agronómico, medio ambiental y económico. “La agricultura de precisión es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores, satélites e imágenes aéreas junto con Sistemas de Información Geográfico (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos”.

5.1.2 Teledetección

La Teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que dicho proceso sea posible es necesario que exista algún tipo de interacción entre los objetos observados (ya sean en superficie terrestre, marina o en la atmosfera)

y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión o dron). El análisis de la información obtenida por medio de la teledetección, permite el reconocimiento de las características de los objetos observados, permitiendo así, obtener información útil para ser aplicadas en diversas ciencias como la geografía geología meteorología y agronomía, entre otras.

En general, la interacción que se produce va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo en cuanto a su origen puede ser de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado).
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico).
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar).

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva, y la última como activa.

En la actualidad la teledetección está en aumento, inició con verificaciones satelitales de la tierra en los años 70, y va en la implementación puntual de drones. La teledetección es el término traducido del inglés “remote sensing”, que usualmente consiste en captar imágenes (en diferentes bandas del espectro electromagnético) a distancia de la tierra para luego ser procesadas, analizadas e interpretadas, en otras palabras, la aplicación de la teledetección es posible gracias a la interacción de la energía electromagnética con las cubiertas terrestres que tienen un comportamiento reflectivo variable, condicionado por su estado al momento de la adquisición de la imagen.

5.1.3 Espectro Electromagnético

Los índices de vegetación utilizados para diversas aplicaciones de teledetección especialmente en la agricultura, utilizan la información espectral contenida en imágenes para determinar características específicas de cultivos o zonas a analizar.

La información espectral, depende del rango de funcionamiento de los sensores utilizados, que generalmente pueden estar en varios rangos de longitudes de onda, así:

Espectro visible (longitudes de onda desde 0,4 μm a 0,7 μm). Se denomina así por tratarse de la única radiación electromagnética que pueden percibir nuestros ojos, coincidiendo con las longitudes de onda en donde es máxima la radiación solar. Dentro de esta región, suelen distinguirse tres bandas elementales, que se denominan azul (longitudes de onda: 0,4 μm a 0,5 μm), verde (longitudes de onda: 0,5 μm a 0,6 μm), y rojo (longitudes de onda: 0,6 μm a 0,7 μm), es la única porción del espectro que podemos asociar al concepto de color (ver Figura).

Infrarrojo (longitudes de onda desde 0.7 μm y 100 μm). Este tipo de radiación se asocia generalmente con el calor y puede ser producida por cuerpos que generan calor o por diodos emisores de luz o láseres. El infrarrojo a su vez, puede subdividirse en dos categorías basadas en las propiedades de la radiación, IR Reflejado y el IR térmico o emitido. El primero es utilizado en teledetección de manera similar al visible, y el IR térmico es diferente al visible e IR reflejado, ya que

esta energía es esencialmente la radiación emitida por la superficie de la tierra en forma de calor.

Infrarrojo cercano (longitudes de onda desde 0,7 μm a 1,3 μm). También se denomina infrarrojo próximo, reflejado o fotográfico, puesto que parte de él puede detectarse a partir de películas dotadas de emulsiones especiales.

Infrarrojo medio (longitudes de onda desde 1,3 μm a 8 μm). En esta región se entremezclan los procesos de reflexión de la luz solar y de emisión de la superficie terrestre. En el primer caso, hablamos de infrarrojo de onda corta (Short Wave Infrared, SWIR), que se sitúa entre 1,3 μm y 2,5 μm y resulta una región idónea para estimar el contenido de humedad en la vegetación o los suelos. La segunda región de interés está comprendida entre 3 μm y 5 μm , y suele denominarse más propiamente como infrarrojo medio (IRM), siendo determinante para la detección de focos de alta temperatura (incendios o volcanes activos).

Infrarrojo lejano o térmico (longitudes de onda desde 8 μm a 14 μm). Incluye la porción emisiva del espectro terrestre, en donde se detecta el calor proveniente de la mayor parte de la cubierta terrestre.

Microondas (longitudes de onda desde por encima de 1 mm). Con gran interés por ser un tipo de energía transparente a la cubierta nubosa.³

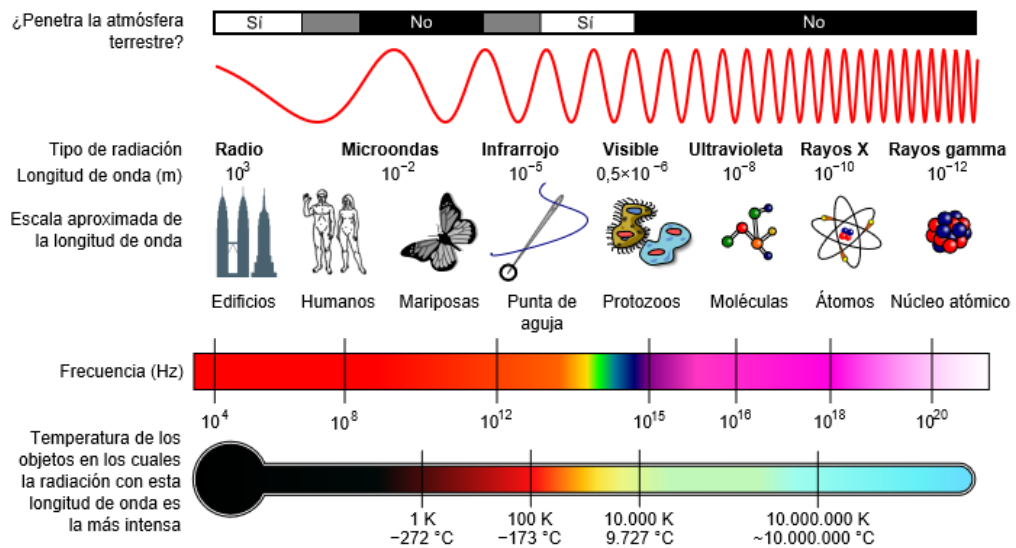


Figura 1. Espectro Electromagnético

³ GONZAGA AGUILAR, Carlos. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de La Loja Ecuador. Universidad Nacional de La Plata. Argentina, 2014, p 26.

5.1.4 Índices de vegetación en agricultura de precisión

Un índice de vegetación normalmente es el resultado de una fórmula que utiliza una o varias bandas del espectro electromagnético. La relación entre estas bandas tiene detrás un estudio empírico que demuestra la relación directa entre el valor numérico captado por el sensor y la variable de la planta a medir (normalmente biomasa o vigor vegetal).

“Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites o equipos de Teledetección, cuya función es realzar la cubierta vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros componentes como el suelo, la iluminación, etc.

La vegetación verde y vigorosa refleja mucha menos radiación en la banda visible roja (banda R), región de absorción de la clorofila, que en la banda del infrarrojo cercano (banda IR), región de alta reflectancia del componente celulósico. Cuando la vegetación sufre estrés, los valores de la banda R aumentan y los de la banda IR decrecen. Estas propiedades llevaron a definir varios índices de vegetación basados en operaciones algebraicas entre las bandas R e IR.

Los índices de vegetación, son pues imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales: densidad, índice de área foliar y actividad clorofílica⁴.

Índice de vegetación NDVI: es conocido como Índice Normalizado Diferencial de Vegetación, éste índice fue introducido por Rouse et al (1974) con el objetivo de separar la vegetación del brillo que produce el suelo. Este índice utiliza las propiedades de absorción y reflexión de la energía que tienen las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. Estas propiedades están relacionadas con la actividad fotosintética y la estructura foliar de las plantas, como, por ejemplo, en la parte visible del espectro (rojo), los pigmentos de las hojas absorben la mayor parte de la energía que reciben mientras que en el NIR se reflejan debido a que la composición celular de las hojas es agua. No obstante, cuando la vegetación presenta algún tipo de estrés ya sea por plagas o sequías, la cantidad de agua en las paredes de la hoja disminuyen considerablemente, por lo que la reflectividad disminuye en el NIR y aumenta de manera paralela la absorción en el rojo, por lo cual, este comportamiento permite la separación de vegetación sana con otras características indeseadas dentro del cultivo.

El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida por los objetos terrestres (plantas) en diversas partes del espectro electromagnético.

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (1)$$

⁴ Índices de vegetación. Tomado de internet: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_ndvi.htm. [Citado en 12 de noviembre de 2017].

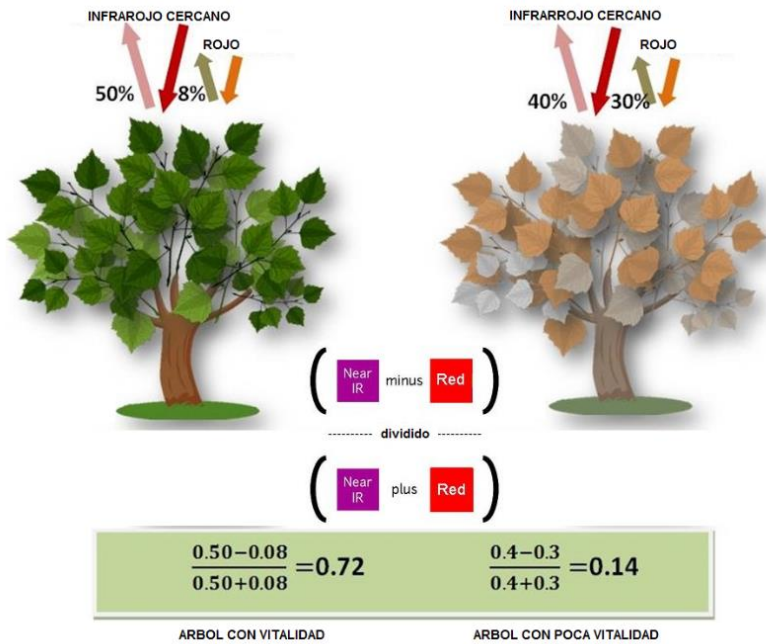


Figura 2. Índice Normalizado Diferencial de Vegetación

¿Cómo interpretar la escala de colores del índice NDVI?

El rango de valores de las reflexiones espectrales se encuentra entre el 0 y el 1; ya que, tanto la reflectividad del infrarrojo cercano como la del rojo, son cocientes de la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral. Por consecuencia de estos rangos de valores, el NDVI varía su valor entre -1 y 1, en los cuales se puede establecer que por encima de 0.1 existe la presencia de vegetación y en cuanto más se aproxime a 1 se puede concluir que la vigorosidad de la planta es mejor.

En el caso de los valores positivos próximos a 0 representan zonas rocosas y desnudas las cuales adquieren algo de vegetación hasta llegar a valores próximos a 0,3. A partir de este valor encontramos presencia de vegetación. Cuando mayor sea el valor será más visible la vegetación hasta adquirir hasta adquirir valores próximos a 1.

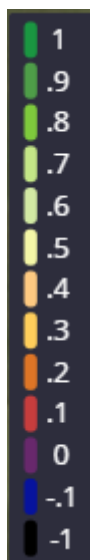


Figura 3. Escala de colores del índice NDVI

GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index): este índice incluye la respuesta del cultivo en la banda verde, indicador que reemplaza en la fórmula de NDVI la banda roja por la verde, en donde los pigmentos de las hojas y el desarrollo de la clorofila es fácilmente detectable, y a su vez es considerablemente más sensible a la variabilidad de la vegetación cuando la cubierta es elevada. Para este índice, los valores oscilan entre 0,6 y 1, que corresponde a las variaciones presentes de la cubierta vegetal, permitiendo interpretar con facilidad la variación de sanidad dentro de un mismo cultivo. Los valores negativos, corresponden a superficies cubiertas de agua, o a suelo desnudo.

$$GNDVI = \frac{NIR-G}{NIR+G} \quad (2)$$

El índice de vegetación Ajustado al Suelo (SAVI): es un buen indicador en los primeros estados del cultivo, donde la cubierta vegetal es parcial, y donde el dato adquirido por el satélite es una combinación de cultivo y suelo. Al utilizar como factor de corrección la línea de suelo (denominado factor L), dicho índice permite ignorar la reflectividad del suelo, basándose solo en la actividad vegetal. Este índice oscila entre los valores -1 y 1, donde 1 representa el estado de sanidad y óptima de cultivo y donde 0 a 0.2 aproximadamente representa la ausencia de actividad vegetal.

Una vez que el cultivo haya incrementado su vigor, llegando a una buena cobertura de suelo, el SAVI ya no será de tanta utilidad por lo que es recomendable migrar hacia otro indicador. Aquí aparece el NDVI, siendo el índice verde por excelencia, aunque no el único.

El SAVI, es un indicador del vigor o verdor de la vegetación, muy sensible a la dinámica de los cultivos, dada su alta correlación con factores biofísicos, densidad de biomasa, actividad fotosintética y porcentaje de cubierta vegetal, interpretando la diferencia entre las características de dos bandas espectrales: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda del infrarrojo cercano. Su estrecha relación con la actividad

fotosintética de la planta lo hace un muy buen estimador de la sanidad del cultivo y el incremento de biomasa. Los valores se encuentran entre el -1 y el 1 donde los valores por encima de 0 determinan la presencia de actividad vegetal, y a medida que el valor asciende se incrementa la vigorosidad del cultivo. De esta manera se estima que los valores comprendidos entre 0 y 0,4 determinan pasturas o vegetación rala, valores comprendidos entre 0,6 o 0,8 corresponden a cultivos en desarrollo y valores elevados como 0,8 a 1 determinan cultivos sanos y vigorosos, y a su vez montes o bosques (por lo que también es muy utilizado en estudios ambientales y de forestación). Sin embargo, cuando los cultivos alcanzan un gran vigor, o la concentración de biomasa es elevada, el NDVI se ve limitado por no poder determinar variabilidad en el cultivo debido a la saturación que provoca dicha concentración.

$$SAVI = \frac{IR-R}{IR+R+L} (1 + L) \quad (3)$$

EVI y EVI₂: Son las siglas de Enhanced Vegetation Index. Estos índices de vegetación (el EVI₂ es una evolución del EVI) se estudiaron para teledetección satelital y utilizan además la banda azul (además del rojo e infrarrojo cercano) para compensar los errores derivados de las distorsiones atmosféricas. Recordemos que la energía que capta el sensor multiespectral de un satélite tiene que viajar atravesando la atmósfera unos 800km que es donde orbitan este tipo de satélites. El EVI₂ es una modificación para evitar tener que hacer cálculos con la banda del azul, por lo que se podría trabajar con sensores de cámaras embarcadas en drones (que pueden carecen de la banda azul).

Este índice se calcula:

$$EVI_{ij} = GX \frac{P_{ijIRP} - P_{ijR}}{P_{ijIRP} + C_1 \cdot P_{ijR} - C_2 \cdot P_{ijB} + L} \quad (4)$$

CWSI

De los índices de vegetación anteriormente tratados este difiere un poco. Este índice se calcula no con imagen multiespectral si no con un sensor termográfico que nos da la temperatura superficial del cultivo. Existen estudios que demuestran la relación directa en la temperatura del cultivo y el potencial hídrico foliar, esta última magnitud mide de forma directa el estrés hídrico del cultivo. Consiguiendo establecer estas relaciones, es posible calcular si la planta está sufriendo por falta de agua o no.⁵

Este índice se calcula:

$$CWSI = \frac{((T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{II})}{((T_c - T_a)_{wl} - (T_c - T_a)_{II})} \quad (5)$$

⁵ Ibíd.

6. METODOLOGIA

Según los objetivos del proyecto, y los elementos con los que se cuenta para materializarlos, los siguientes son el alcance, el tipo y el proceso metodológico a desarrollar.

Diseño de la investigación: Exploratoria

“Ayuda a familiarizarse con fenómenos desconocidos, obtener información para realizar una investigación más completa en un contexto particular, investigar nuevos problemas, identificar conceptos o variables promisorias, establecer prioridades para investigaciones futuras, o sugerir afirmaciones y postulados. Entre sus características se tiene”⁶:

- Investigan problemas poco estudiados
- Indagan desde una perspectiva innovadora
- Ayudan a identificar conceptos promisorios
- Preparan el terreno para nuevos estudios

Enfoque de la investigación: Tipo Mixto (cuantitativa y cualitativa)

“Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2008).

Chen (2006) los define como la integración sistemática de los métodos cuantitativo y cualitativo en un solo estudio con el fin de obtener una “fotografía” más completa del fenómeno, y señala que éstos pueden ser conjuntados de tal manera que las aproximaciones cuantitativa y cualitativa conserven sus estructuras y procedimientos originales (“forma pura de los métodos mixtos”); o bien, que dichos métodos pueden ser adaptados, alterados o sintetizados para efectuar la investigación y lidiar con los costos del estudio (“forma modificada de los métodos mixtos”).

En resumen, los métodos mixtos utilizan evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases para entender problemas en las ciencias (Creswell, 2013a y Lieber y Weisner, 2010)⁷.

Población: Población de zona rural norte del departamento del Huila, para empezar el municipio de Campoalegre

⁶ HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill, 6 ed, 2014. P. 91.

⁷ HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill, 6 ed, 2014. P. 24.

Procedimiento para determinar la muestra: Toma de múltiples imágenes en diferentes puntos de posición del dron.

Recolección de la información: los instrumentos a utilizar para la recolección de la información serán: dron, cámara espectral, Smart Phone o Tablet, computador.

Análisis de los datos: por medio del análisis de información de imágenes tomadas por el dron realizando el debido procesamiento en una aplicación de Matlab.

7. DESARROLLO INGENIERIL

7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Una vez determinadas las necesidades y objetivos del proyecto, se planteó el siguiente flujograma que describe de manera específica el paso a paso gestado para la concepción del presente proyecto.

Proceso del proyecto

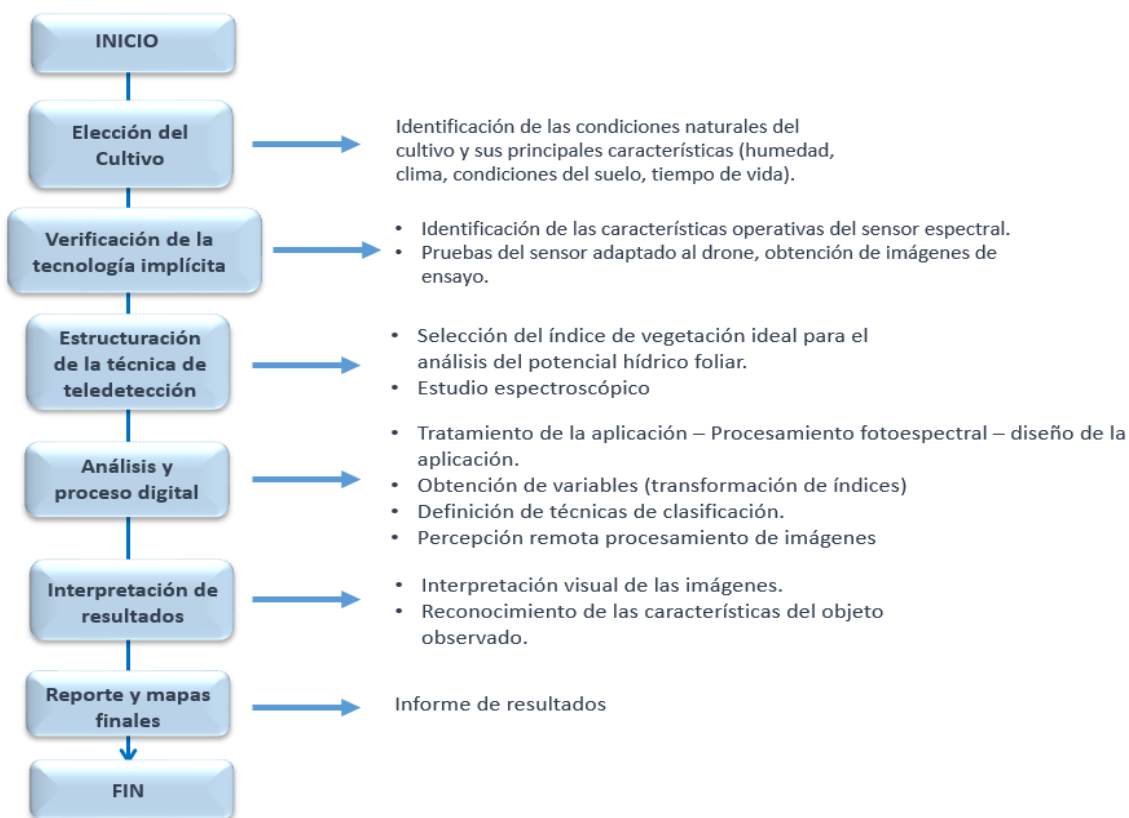


Figura 4. Proceso del proyecto

Para los propósitos generales del proyecto, se ejecutarán las siguientes fases:

7.2 ELECCIÓN DEL CULTIVO

En este proyecto se tiene en cuenta la problemática relacionada con la falta de planificación en los cultivos de arroz y los sobrecostos en la atención de enfermedades que estos presentan, así como la importancia de la implementación de herramientas tecnológicas económicamente viables que permitan planificar las actividades agrícolas, predecir daños y tomar decisiones adecuadas ante situaciones que afectan el desarrollo de los cultivos en el municipio de Campoalegre.

El Municipio de Campoalegre se encuentra ubicado a una distancia de 26 km del perímetro urbano de la ciudad de Neiva y se localiza en el centro del departamento del Huila entre el Llano Grande y la Cordillera Oriental, cuenta con una extensión de 661 Km².

Su clima es cálido, donde uno de los grandes beneficios para el desarrollo es que su ubicación se encuentra sobre la vía conocida como La Troncal del Sur, convirtiéndolo a nivel regional en paso obligado para la comunicación con 25 municipios del departamento del Huila.

Esta región campoalegruna es aledaña a la zona natural de La Siberia, sitio importante que da origen a varios afluentes de agua como son las quebradas de Río Frío, Motilón, San Bartola, Río Neiva y Las Ceibas. Sus bosques naturales conservan el medio ambiente. El área constituye un “Ecosistema funcional con interesante y exclusiva biodiversidad”.

OBLIGACIONES AGRO-ECOLÓGICOS PARA EL CULTIVO DE ARROZ:

El arroz requiere de una temperatura relativamente alta y de suficiente radiación solar, las cuales deben estar entre los 20 y 30° C, siendo las temperaturas próximas a 30° C las ideales para su desarrollo. El crecimiento vegetativo de la hoja es pequeño o casi nulo en presencia de temperaturas próximas o inferiores a 10° C, quedando frenado por debajo de los 4° C. Sin embargo, es capaz de resistir heladas de -2 a -4° C sin morir. Temperaturas superiores a los 40° C provocan un efecto no deseado sobre la velocidad de crecimiento, causando daños en la floración y disminuyendo la capacidad de retención de legumbres.

Las temperaturas óptimas oscilan entre los 15 y los 18° C para la siembra y los 25° C para la floración. Sin embargo, la floración de la hoja puede comenzar con temperaturas próximas a los 13° C.

La hoja es una planta sensible a la duración del día, es una planta de día corto. Es decir, que, para la floración de una variedad determinada, se hacen indispensables unas determinadas horas de luz, mientras que, para otra, no.

Respecto a la humedad, durante su cultivo, la soja necesita al menos 300 mm de agua, que pueden ser en forma de riego cuando se trata de regadío, o bien en forma de lluvia en aquellas zonas templadas húmedas donde las precipitaciones son suficientes, así como de un suministro suficiente de agua, durante toda la temporada de desarrollo del cultivo que varía de 3 a 5 meses. La temperatura, la radiación solar y la precipitación pluvial afectan directamente los procesos fisiológicos de la planta de arroz, que de una u otra manera inciden en la producción de grano e indirectamente inciden en la presencia de plagas y enfermedades del cultivo.

Aparte de lo anterior los suelos deben ser aptos para el cultivo, con características que permitan una adecuada retención de agua y disponibilidad de nutrientes.

El cultivo de arroz se desarrolla en suelos neutros o ligeramente ácidos. Con un pH de 6 hasta la neutralidad se consiguen buenos rendimientos. Es especialmente sensible a los encharcamientos del terreno, por lo que en los de textura arcillosa con tendencia a encharcarse no es recomendable su cultivo. Si el terreno es llano, debe estar bien nivelado, para que el agua no se estanque en los rodales. Sin embargo, es una planta que requiere mucha agua, por lo que en los terrenos arenosos deberá regarse con frecuencia. La soja es algo resistente a la salinidad.

7.3 TECNOLOGIA IMPLICITA

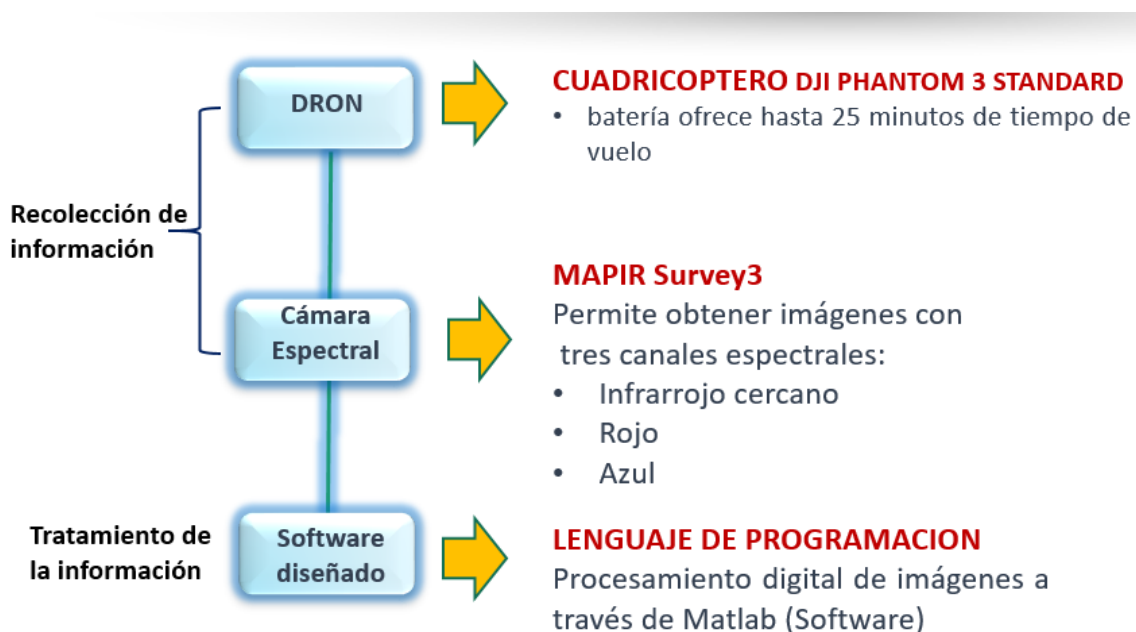


Figura 5. Relación tecnología implícita

7.3.1 Cámara Espectral Mapir Survey 3

Se utilizó una cámara espectral que a través del procesamiento digital de imágenes permite descomponer las imágenes tomadas en tres canales espectrales: Infrarrojo cercano (NIR), rojo y azul (NRB). La información que proporciona cada uno de los canales permitirá encontrar el NDVI para cada una de las fotografías analizadas.

La cámara espectral es la Survey3, que se observa en la Figura 6, donde una de sus principales características es que puede colocarse mediante un soporte en dron para los respectivos sobrevuelos y adquisición de imágenes.



Figura 6. Cámara espectral

7.3.2 Lenguaje de programación

El software que se utilizó para el análisis de las imágenes es Matlab. Este cuenta con un Toolbox de procesamiento de imágenes el cual permite el análisis a nivel gráfico y matemático de la información que contiene cada una de las imágenes obtenidas. Para el procesamiento digital de la imagen se utilizará el propio lenguaje de programación del Software conocido como “lenguaje M”, cual permitirá las operaciones matemáticas para la obtención del NDVI a través de la programación orientadas a objetos.

El software dispone de dos aplicaciones útiles para el desarrollo del programa que se implementará, las cuales son: Simulink (plataforma de simulación) para los cálculos matemáticos necesarios y GUIDE (editor de interfaces de usuario- GUI) el cual permitirá crear la interfaz donde se mostrarán los respectivos resultados.

7.4 TECNICA TELEDETECCION

7.4.1 Índice de vegetación NDVI

Para determinar el potencial hídrico foliar en el cultivo de arroz, se hizo uso del NDVI que se describió en la sección 5.1.4. Este índice permite que a través de la descomposición de la información presente en cada fotografía se pueda establecer el estado de cultivo. Para la obtención del NDVI se realizaron los siguientes pasos que se describen a continuación:

Paso 1: Extracción de la información presente en las imágenes: Es de recordar, que por ejemplo una fotografía tomada con el dron o utilizando una cámara de un celular o dispositivo electrónico común, siempre tiene tres canales para la formación de la imagen, estos son el rojo, verde y azul, tal y como lo observamos en la Figura 7.

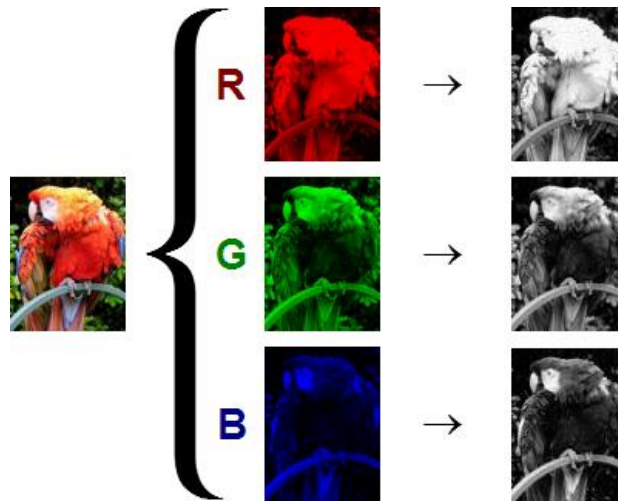


Figura 7. Espacio de color RGB. Descomposición de una imagen en los tres canales RGB.

De igual forma que el espacio RGB, las imágenes obtenidas por medio de la cámara espectral, es posible extraer la información en cada una de las componentes espectrales, es decir NIR, rojo y azul. Esta información es extraída mediante rutinas de programación generando así tres imágenes nuevas, de las cuales, sólo dos (Infrarrojo cercano y rojo) son necesarias para el cálculo del NDVI.

Paso 2: Operaciones matemáticas para el cálculo del NDVI: Una vez descompuesta la imagen en los canales respectivos, se procedió a implementar un algoritmo matemático, en el cual se realizó la siguiente operación matemática con cada uno de los pixeles que contienen la información:

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (6)$$

Es decir, se tomaron las dos imágenes (infrarrojo cercano y rojo) y con la información presente en cada una de ellas se realizó la operación matemática descrita en la Ecuación 6. El resultado de esta operación es un valor que puede estar entre -1 y 1, en el cual, el -1 representa un estado de planta seco o deficiente en agua y 1 representa una planta con alta vigorosidad. Esta información se representa en una imagen o matriz nueva cuyos valores sólo se encuentran en dicho rango, es decir, que se obtiene una nueva imagen o matriz como se muestra en la Figura 8.

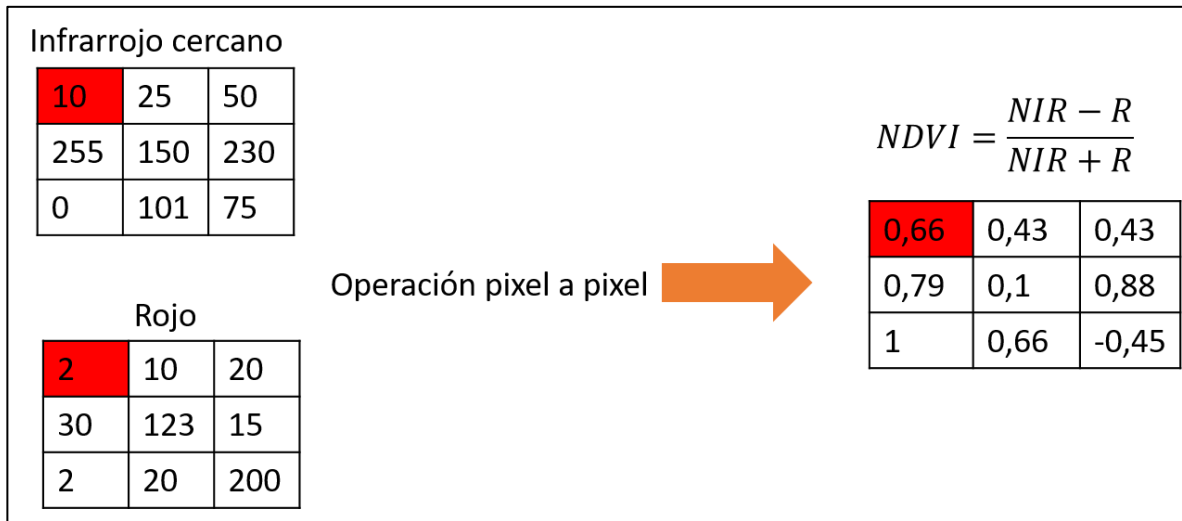


Figura 8. Operación matemática del NDVI

A partir de los NIR y rojo se aplica la operación matemática del NDVI para así obtener una nueva imagen o matriz cuyos valores varían entre -1 y 1, dando como resultado final el NDVI para cada uno de los pixeles de la imagen.

Paso 2: Visualización del NDVI en la imagen original: Debido a que la información resultante de la matriz final que contiene el resultado de la operación matemática del NDVI está comprendida entre valores de -1 y 1 y no es posible visualizarla en un espacio de color apropiado, fue necesario realizar un campo en el espacio de color, el cual permitió atribuir una escala de colores desde el rojo intenso (-1) hasta un verde intenso (1), el cual permite determinar de manera cualitativa el estado de la planta, donde el color verde representa la máxima vigorosidad y el color rojo un estado deficiente (seco) de la misma.

7.5 SOFTWARE IMPLEMENTADO

A través del GUIDE (editor de interfaces de usuario) de Matlab, se procedió a implementar una interfaz para el programa implementado donde se muestran los diferentes resultados para cada una de las imágenes. Esta interfaz permite al usuario visualizar de manera inmediata el NDVI de las fotografías obtenidas mediante la cámara espectral, con el fin de determinar medidas preventivas o correctivas por el agricultor a partir de la información suministrada por el mismo.

8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 DESCOMPOSICIÓN DE LA INFORMACIÓN ESPECTRAL CONTENIDA EN LAS IMÁGENES CAPTURADAS.

La información proporcionada por la cámara Survey3 presenta información espectral en el infrarrojo cercano, rojo y azul, por eso el color oscuro de la imagen derecha superior en la Figura 9. Para el cálculo del NDVI sólo se es necesaria información de los canales infrarrojo cercano y rojo, por lo cual mediante el procesamiento digital de imágenes se procedió a descomponer la imagen original en dos imágenes que corresponden a cada uno de los canales mencionados y que se muestran en la Figura 9 (derecha).

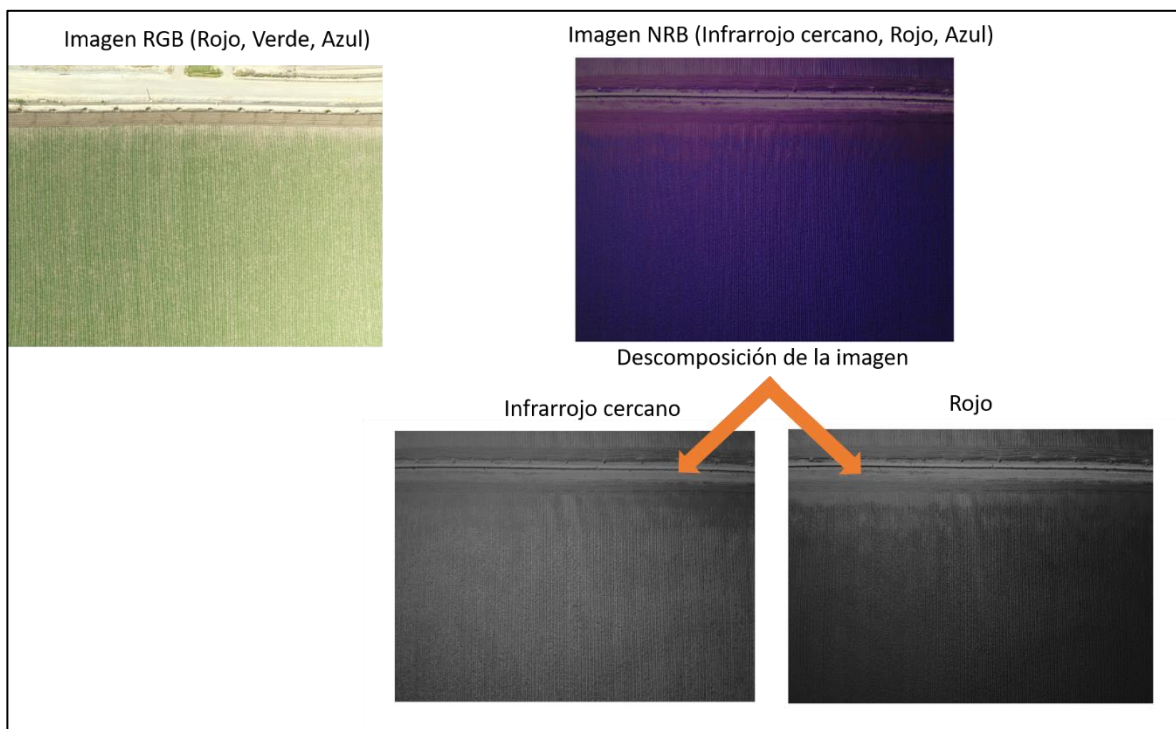


Figura 9. Izquierda: Canales (RGB) presentes en una imagen tomada con la cámara del dron. Derecha: canales (NRB) presentes en una imagen tomada con la cámara espectral Survey3. En esta última se observa la descomposición de la información presente en los canales

El proceso anterior, se realizó para cada una de las imágenes obtenidas y además, es de aclarar que el resultado de la descomposición de la imagen original proporciona información por cada uno de los píxeles que constituyen la imagen.

En las imágenes correspondientes a infrarrojo cercano y rojo que se visualizan en la Figura 9, se observa claramente que estas presentan diferentes tonalidades, esto debido a que cada planta

interactúa de manera diferente ante las diferentes longitudes de onda del espectro, dando como resultado una mayor o menor absorción dependiendo del canal analizado. Dicha información de absorción o reflexión de la luz, es utilizada para el cálculo del NDVI.

8.2 CÁLCULO Y VISUALIZACIÓN DEL NDVI

Como se mencionó en el marco teórico, el potencial hídrico foliar de una planta depende de los porcentajes de reflexión y absorción de la radiación electromagnética analizada, específicamente a la infrarroja cercana y roja. Por ejemplo, si el porcentaje de reflexión de la radiación correspondiente al rojo es baja en comparación con la reflexión del infrarrojo cercano, el NDVI calculado a través de la Ecuación 6 con lleva que este tenga un valor alto, lo cual corresponde a un estado saludable de la planta. Caso contrario sucede si los valores de reflexión de los dos canales son casi similares, esto lleva a que los valores sean pequeños o cercanos a 0 o a -1, por lo cual se establece que la planta se encuentra con un potencial hídrico foliar bajo (planta seca).

En la Figura 10, se muestra el resultado del NDVI para una imagen en particular. Esta imagen se logró a través de la implementación del cálculo matemático de la Ecuación 6 como se describió en la sección anterior (sección 7.4). Para lograr la visualización y debido a que el resultado del NDVI es un valor del pixel entre -1 y 1, fue necesario vincular el contenido espectral de la imagen con el espacial, esto a través de un cambio en el espacio de color, de tal forma que permita observar la imagen de manera fácil para su respectiva interpretación.

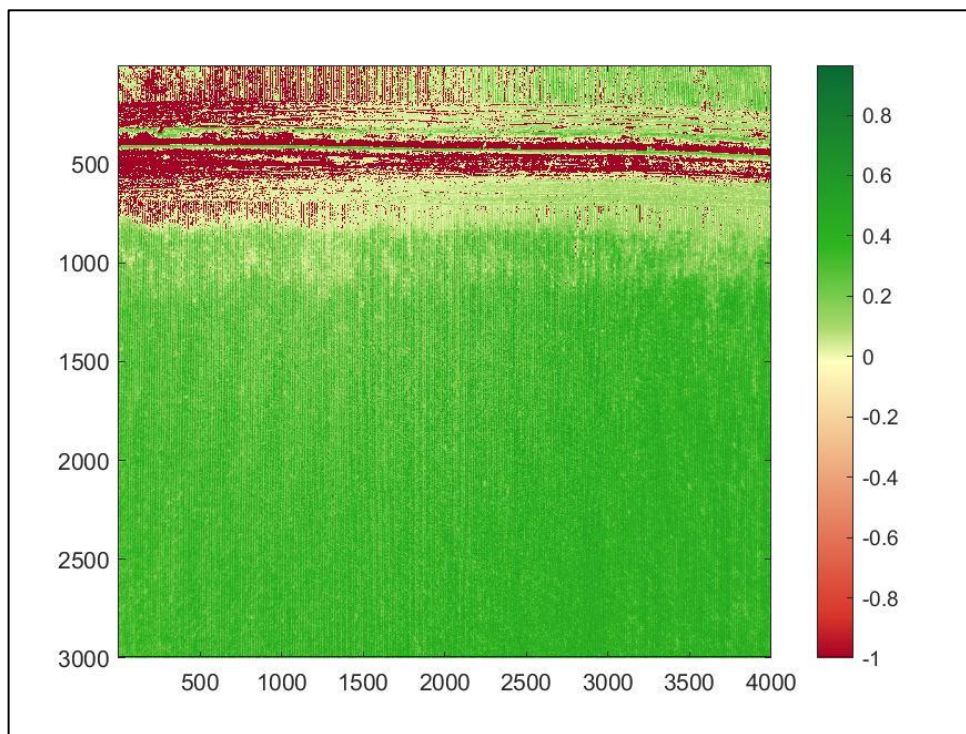


Figura 10. NDVI obtenido para una imagen de cultivo de arroz.

Las zonas de color rojo corresponden a carreteras dentro del cultivo o zonas secas (valor del NDVI inferior a 0.2). Las zonas de color verde corresponden a un NDVI superior a 0.2 e indican un estado óptimo del cultivo.

Las zonas con un NDVI superior a 0.2 se presentan en color verde poco intenso (Figura 10) hasta llegar a zonas con un verde de mayor intensidad, que corresponde a un NDVI cercano a 1. Este color verde en la imagen indica que el cultivo presenta un potencial hídrico foliar aceptable. Al comparar este resultado con la imagen en RGB mostrada en la Figura 11 se aprecia que la parte inferior se encuentra concentrado el cultivo que presenta mejor estado (mayor NDVI), esto debido a que se encuentra más lejos de la carretera. Las zonas de color blanco y rojo en la Figura 10 corresponden a zonas secas o áridas. Estas presentan correspondencia con lo mostrado en el espacio de color RGB mostrado en la Figura 11.

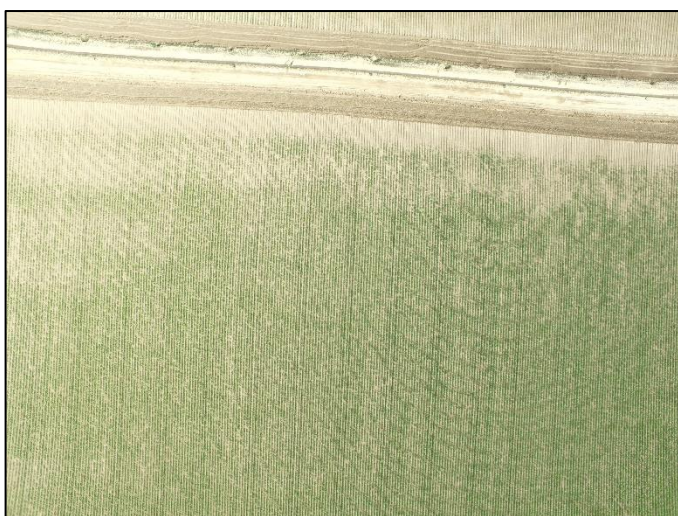


Figura 11. Imagen original en espacio de color RGB. Las zonas claras corresponden a carreteras internas y secas.

8.3 SOFTWARE IMPLEMENTADO

El programa para visualizar el NDVI de cada una de las imágenes se desarrolló en Matlab a través del toolbox GUIDE, como se mencionó en la sección anterior. Un esquema general de la interfaz del programa se muestra en la Figura 12. Esta interfaz contiene un espacio para introducir la imagen original obtenida de la cámara espectral Survey3 y un botón para hacer los respectivos cálculos.

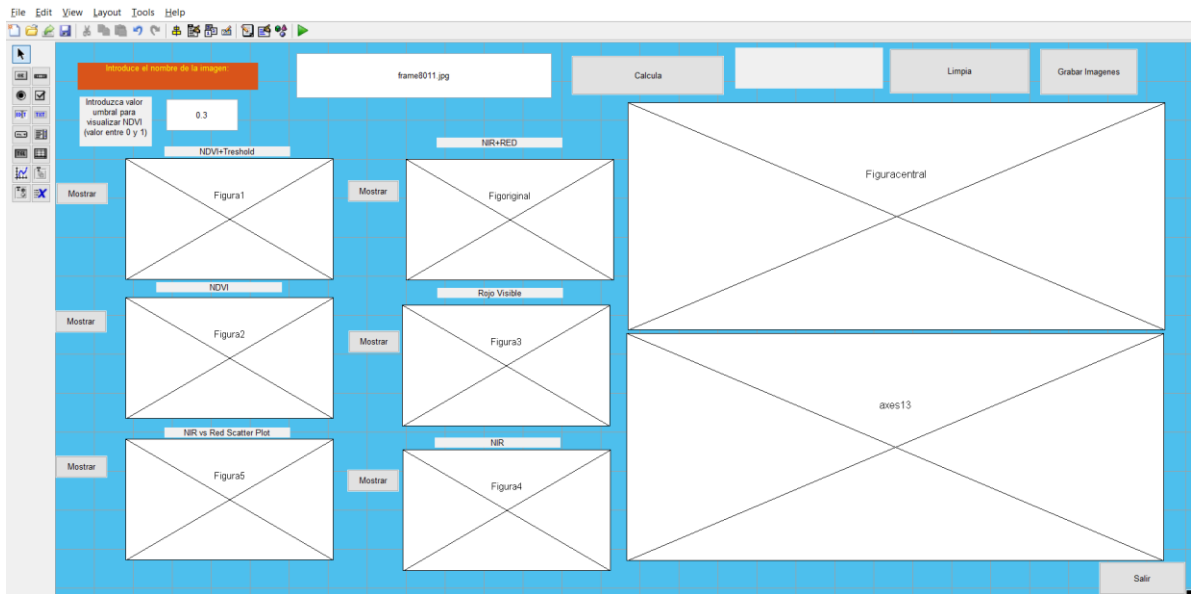


Figura 12. Interfaz de usuario diseñada para el análisis del NDVI.

Los resultados que muestra la interfaz son los siguientes: imagen original espectral y en espacio de color RGB, imagen canal NIR (infrarrojo cercano), imagen canal rojo, NDVI, Niveles de NIR vs Rojo, y posición de NDVI en la imagen, como se muestra en la Figura 13.

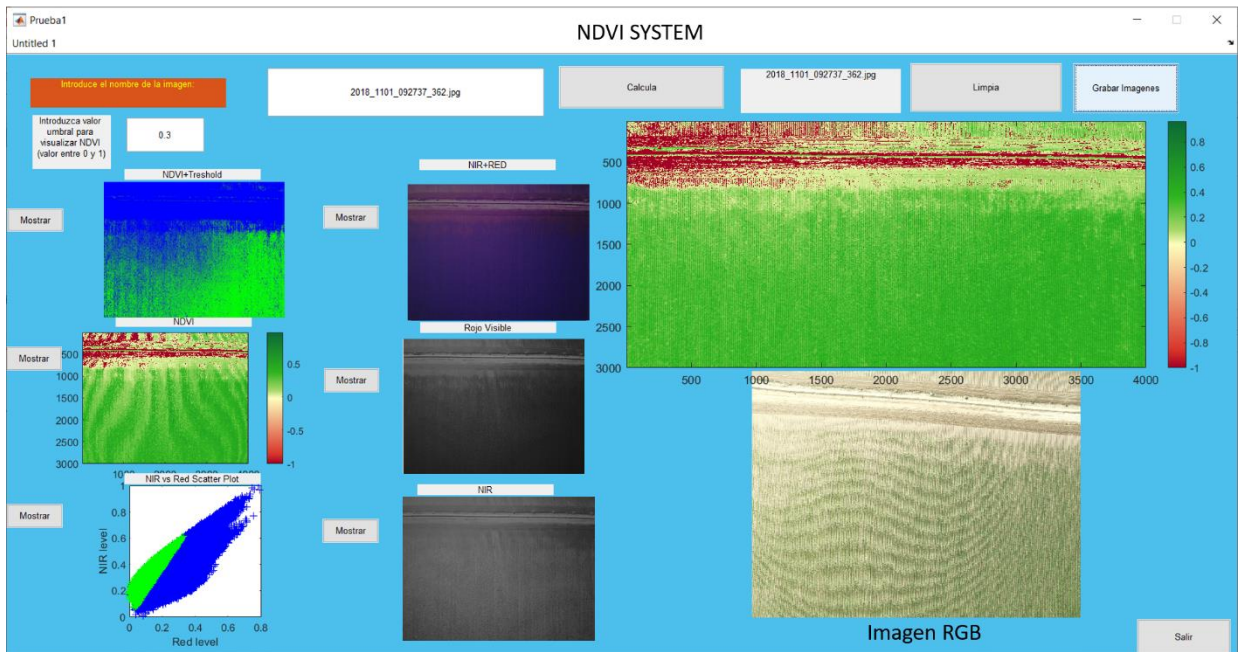


Figura 13. Resultados de la interfaz de usuario diseñada para el análisis del NDVI.

Imagen Original espectral: Llamada en el programa NIR+RED, permite al usuario conocer la imagen original tomada por la cámara espectral y es la base de los cálculos del NDVI.

Imagen RGB: Esta imagen es obtenida con el dron y permite comprar el espacio de color RGB con los obtenidos mediante la cámara espectral. Además, proporciona datos importantes como la geolocalización a través del software del dron.

Imagen Rojo visible y NIR: Estas dos imágenes permiten al usuario conceptualizarse sobre la diferente información que contiene las imágenes espectrales tomadas con la cámara Survey3. Además, son los canales utilizados para el cálculo posterior del NDVI.

Imagen NDVI: Esta imagen relaciona la información espectral encontrada con la espacial. Permite al agricultor o el ingeniero agrónomo analizar el resultado del potencial hídrico foliar del cultivo. Mediante la ubicación espacial de los valores del NDVI en la imagen pueden identificar las zonas donde el cultivo se encuentra es un estado óptimo o no. Esta información es fundamental para la toma de decisiones acerca de posibles acciones que conduzcan al mejoramiento del cultivo.

Imagen NDVI+Treshold: Permite la manipulación de un umbral para identificar zonas de mayor o menor valor del NDVI. Este también tiene el objetivo de proporcionar una ubicación espacial para los valores del NDVI inferiores a 0.2 que corresponde a zonas secas o de bajo potencial hídrico foliar.

Imagen NIR vs Red Scatter Plot: En esta imagen se proporciona la información espectral de los canales NIR y ROJO. El color verde en la imagen representa la vegetación que se encuentra en buen estado.

8.4 APLICACIÓN DEL SOFTWARE A CULTIVOS DE ARROZ.

La aplicación diseñada permitió el análisis del potencial hídrico foliar de cultivos de arroz. En este apartado se muestran los resultados para varios sobrevuelos donde se tomaron imágenes espectrales y RGB para el respectivo análisis de un agrónomo experto.

Del sobrevuelo realizado por el dron se seleccionaron tres imágenes (A, B y C) que se presentan en la Figura 14. Estas imágenes tanto espectrales y RGB permiten evaluar el estado del cultivo a través de la aplicación.

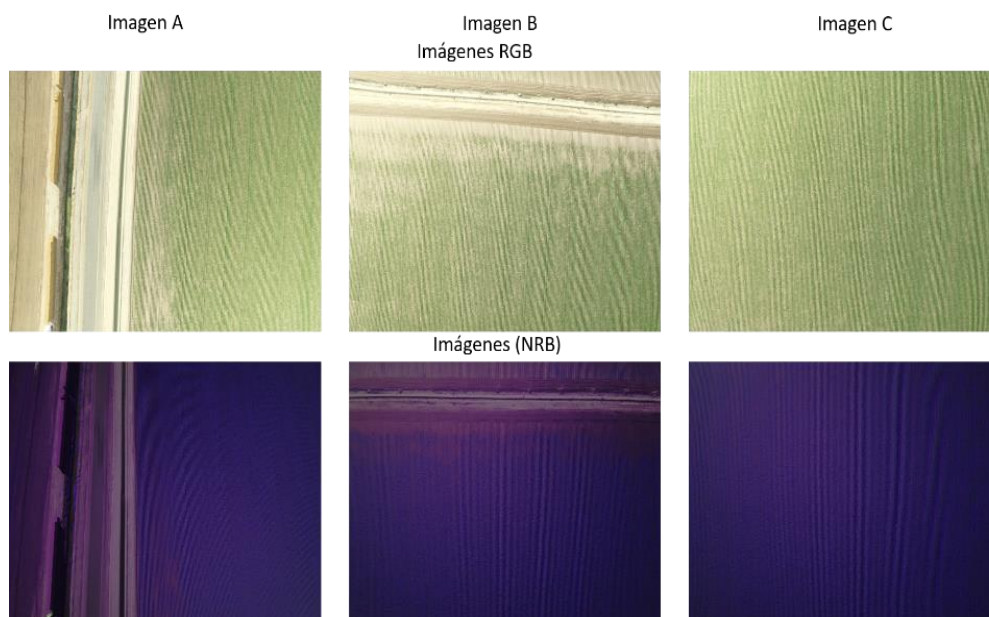


Figura 14. Imágenes seleccionas de un sobrevuelo en un cultivo de arroz.

Cada una de las tres imágenes presentan diferentes características, por ejemplo, en la Imagen A se aprecia una carretera que va desde la parte inferior hasta la parte superior en la imagen. En la Imagen B, la carretera que atraviesa el cultivo se observa en la superior y la Imagen C muestra una zona del cultivo donde no hay carreteras que pueden afectar el cultivo.

Resultado NDVI Imagen A: En la Figura 15 se aprecia el resultado del NDVI para la imagen A. Es de aclarar y como se ha mencionado anteriormente, en la figura se encuentra representada la información espacial y espectral del cultivo.

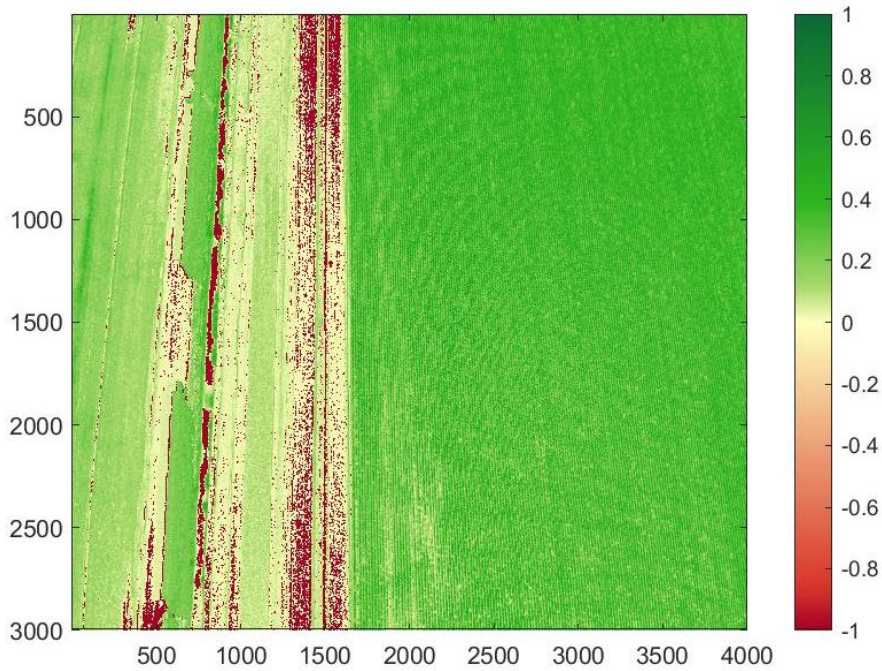


Figura 15. NDVI obtenido para la Imagen A.

Claramente se observa que gran parte del cultivo tiene valores del NDVI por encima de 0.2. Los valores de color verde oscuro que se observan en la parte derecha de la imagen, representan un potencial hídrico foliar alto, indicando un estado saludable en el cultivo (valores en NDVI cercanos a 1). Los colores amarillos, blancos y rojos (NDVI por debajo de 0.2), indican que la reflexión de la radiación de los canales NIR y ROJO son comparables o casi iguales, dando como resultado zonas secas o de muy bajo potencial hídrico foliar. Esta información es congruente, ya que debido a la carretera que se observa en la imagen RGB, las zonas aledañas al cultivo tienen menor humedad y por lo tanto se encuentran más susceptibles a los aumentos de temperatura, teniendo como consecuencia zonas secas del cultivo.

Resultado NDVI Imagen B: En la Figura 16 se aprecia el resultado del NDVI para la imagen B. De igual forma que en la Imagen A, las plantaciones que se encuentran cerca de la carretera observada en la Imagen RGB se encuentran con NDVI por debajo de 0.2, indicando que muchas de ellas se encuentran zonas o carecen de una humedad adecuada.

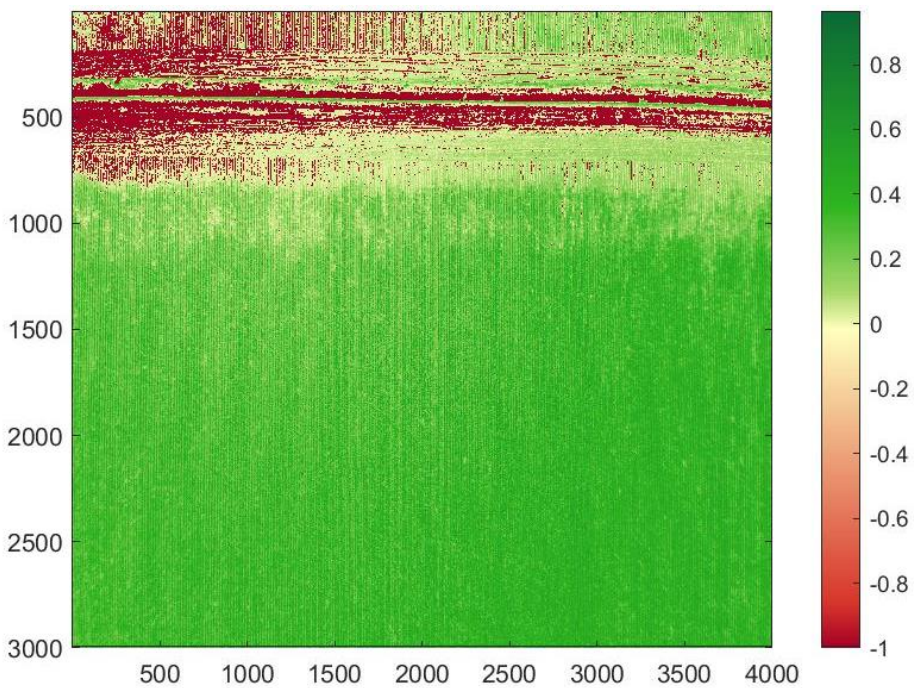


Figura 16. NDVI obtenido para la Imagen B.

Debido a la información encontrada en las imágenes A y B, se procedió a hacer un reconocimiento visual de las zonas afectadas, donde se verificó la información proporcionada por la aplicación, dando como resultado la identificación de muchas plantas con bajo nivel de humedad. Después de la inspección se procedió a tomar medidas para mejorar el sistema de inundación o riego de agua de las plantas cercanas a la carretera, esto con el objetivo de mejorar la producción en dichas zonas.

Resultado NDVI Imagen C: En la Figura 17 se aprecia el resultado del NDVI para la imagen C. Debido a que la imagen evaluada pertenece a una zona central del cultivo donde la humedad es adecuada, se observa claramente que el NDVI es casi uniforme en toda la imagen y dicho valor supera el 0.2. Lo anterior indica que el potencial hídrico foliar de la zona evaluada es adecuada.

Los resultados del NDVI de las tres imágenes analizadas, permiten una evaluación cualitativa de un cultivo en términos de su potencial hídrico foliar. Esta información es de gran utilidad para tomar decisiones acerca de las posibles intervenciones del cultivo para mejorar la producción.

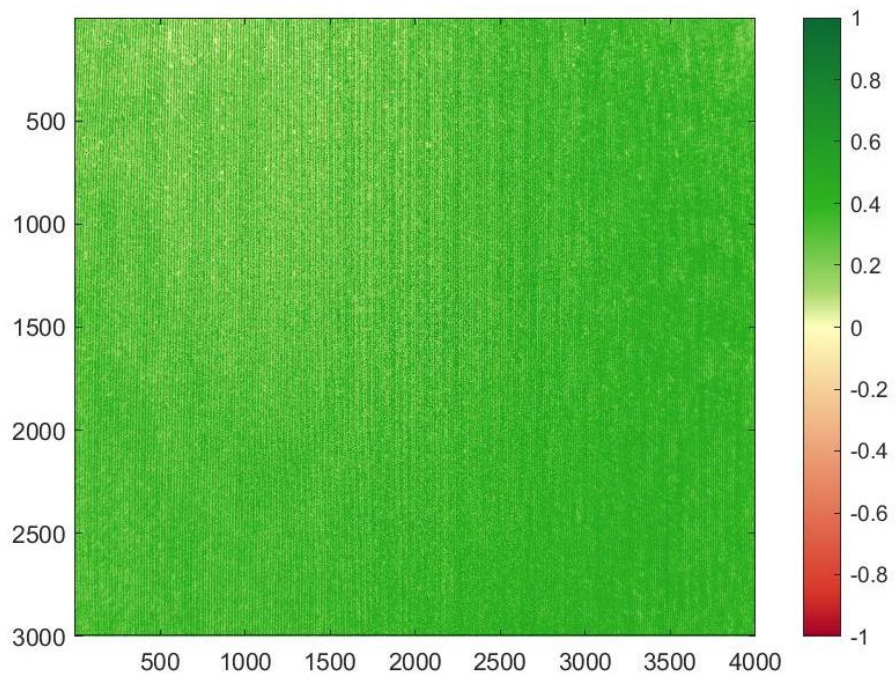


Figura 17. NDVI obtenido para la Imagen C.

9. CONCLUSIONES

Se reconocieron de manera exitosa las condiciones naturales del cultivo de arroz, para luego ser evaluado a través de un análisis espectral. En él se identificó que la humedad de la planta y del terreno debe ser adecuada para un óptimo crecimiento y producción.

A través de la información espectral proporcionada por la cámara Survey3 se estableció el potencial hídrico foliar del cultivo de arroz a través del cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). A partir de la revisión bibliográfica se concluyó que valores superiores a 0.2 del NDVI indican una planta con un nivel óptimo de humedad.

Se desarrolló una aplicación en Matlab que permitió encontrar el NDVI del cultivo de arroz a través de la evaluación de imágenes espectrales. Esta aplicación permitió relacionar la información espectral (valores de NDVI) de la imagen con su información espacial.

Los resultados del NDVI que proporcionó el software en los diferentes sobrevuelos, permitieron identificar zonas donde el cultivo carecía de la humedad adecuada, específicamente para las plantaciones cercanas o zonas secas como carreteras. Esta información fue de gran importancia para el agrónomo ya que se implementaron acciones que conllevaron a mejorar las condiciones de humedad para estas zonas, con el objetivo de disminuir el impacto de la falta de humedad en la producción de dichas plantas.

Finalmente, se puede concluir que el análisis espectral a través del cálculo de índices de vegetación, en combinación con la utilización de software especializado para su respectivo cálculo, permiten la evaluación de manera práctica y rápida de un cultivo. La información proporcionada por los índices de vegetación, en especial el NDVI como se demostró en este trabajo de grado, dieron lugar a la implementación de acciones que conllevaron a disminuir el impacto de la falta de humedad para algunas plantas, lo cual, de manera indirecta mejora la producción del agricultor.

10. BIBLIOGRAFÍA

AGROMÁTICA, Índices de vegetación en agricultura de precisión. Disponible en internet: <https://www.agromatica.es/indices-de-vegetacion/> [Citado en 12 de noviembre de 2017].

BANCO MUNDIAL, Agricultura, valor agregado (% del PIB). Tomado de internet: http://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS?name_desc=false. [Citado en 27 de noviembre de 2016].

BAUTISTA ZUÑIGA, Francisco y PALACIO, Álvaro Gerardo. Caracterización y manejo de suelos de la península de Yucatán: Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. México. Universidad Autónoma de Yucatán. México, 2005, 282 p.

Drones para agricultura, topografía e ingeniería civil. Disponible en internet: <http://www.vyaweb.com/drones-para-agricultura-topografia-e-ingenieria-civil/>. [Citado en 27 de noviembre de 2016].

GASPARI Y DELBUONO, Estudio de agronomía. Disponible en internet: http://www.estudiogyd.com.ar/ncms/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=31. [Citado en 27 de noviembre de 2016].

GONZAGA AGUILAR, Carlos. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de La Loja Ecuador. Universidad Nacional de La Plata. Argentina, 2014, p 24.

HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto. Metodología de la investigación. México: Mc Graw Hill, 6 ed, 2014. 634 p.

Los Drones como herramienta de monitoreo. Disponible en internet: <http://www.lahoradelmate.com/noticias/general/item/los-drones-como-herramientas-para-el-monitoreo>. [Citado en 27 de noviembre de 2016].

MatchWorks. Descripción de Matlab. Disponible en internet: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html> [Citado en 12 de noviembre de 2017].

VEGA GUZMAN, Álvaro, LOPEZ GARCIA, José y MANZO DELGADO, Lilia de Lourdes. Análisis espectral y visual de vegetación y uso del suelo con imágenes Landsat ETM + con apoyo de fotografías aéreas digitales en el Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. En: Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM. 2008. Núm. 67, pp. 59-75.



ANEXOS

ANEXO 1. APARTES DEL SOFTWARE DE PROGRAMACION

```

function varargout = Prueba1(varargin)
% PRUEBA1 MATLAB code for Prueba1.fig
%     PRUEBA1, by itself, creates a new PRUEBA1 or
%     raises the existing
%     singleton*.
%
%     H = PRUEBA1 returns the handle to a new PRUEBA1
%     or the handle to
%     the existing singleton*.
%
%     PRUEBA1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
%     calls the local
%     function named CALLBACK in PRUEBA1.M with the
%     given input arguments.
%
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Prueba1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Prueba1_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 Prueba1 is made visible.

```

```
function Prueba1_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 Prueba1 (see
VARARGIN)

% Choose default command line output for Prueba1
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Prueba1 wait for user response (see
UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the
command line.
function varargout = Prueba1_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 la_ecuacion_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to la_ecuacion (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
```

```

% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global texto; %variable umbral para imagen a cargar

texto= get(handles.la_ecuacion, 'String'); %lee lo que
hay en el casilla llamada la_ecuación

function vumbral_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to vumbral (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
vumbral as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of vumbral as a double

global valumbral x;
syms x;
valumbral= eval(get(gcbo, 'String'));

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

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function la_ecuacion_CreateFcn(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to la_ecuacion (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 pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global texto; %llamado a variable global que contiene el
nombre de la imagen a cargar
global q;
global NIR;
global R;
global NDVI;
global NDVI1;
global imga;
global valumbral x;
global map;
syms x;

%%%codigo de ejecución

imga = imread (texto);
%código para mostrar imahen en pantalla ROjo visible
axes(handles.Figoriginal)
axis off;
imshow(imga)

NIR=im2single(imga(:,:,3));
R=im2single(imga(:,:,1));

% figure(1);
% imshow(R)
% title('Rojo Visible')
%código para mostrar imahen en pantalla ROjo visible

```

```

axes(handles.Figura3)
axis off;
imshow(R)
%%%%

% figure(2);
% imshow(NIR)
% title('Infrarojo Cercano')
% código para mostrar imahen en pantalla Infrarrojo
cercano
axes(handles.Figura4)
axis off;
imshow(NIR)
%%%%

%calcular el indice NDVI

NDVI= (NIR - R) ./ (NIR + R);
NDVI1= (NIR - R) ./ (NIR + R);

% figure(4);
% imshow(NDVI,'DisplayRange',[-1 1])
% title('Índice de Vegetación de Diferencia
Normalizada')

minimo=min(min(NDVI1));
maximo=max(max(NDVI1));

%paleta de colores
T = [12, 106, 54
      46, 181, 32
      169, 216, 107
      255, 255, 189
      216, 53, 43
      166, 1, 38]./255;

z = [255
      100
      30
      0

```

```

    % 0
    -220
    -255];

map = interp1(z/255,T,linspace(-1,1,255));

[col,fil]=size(NDVI1);
for i=1:1:col
    for j=1:1:fil
        if(NDVI1(i,j)<=0)
            NDVI1(i,j)=-1;
        end
    end
end

%código para mostrar imahen en pantalla NDVI
axes(handles.Figura2)
imagesc(NDVI1)
colormap (map)
colorbar
%%%%

%Localice la vegetación - Umbral de la imagen NDVI,
donde se identifica
% los píxeles con mayor probabilidad de contener
vegetación significativa,
%aplique un umbral simple a la imagen NDVI.

if valumbral==0
    valumbral=0,3;
end
threshold = valumbral;
q= (NDVI > threshold);

%código para mostrar imahen en pantallaNIR Vs Red Scatter
Plot
axes(handles.Figura5)
plot(R,NIR, '+b')
hold on
plot(R(q(:)),NIR(q(:)), 'g+')
axis square

```

```

xlabel('Red level')
ylabel('NIR level')
%%

%subplot(1,2,2)
% figure(7);
% imshow(q)
% colormap(gca,[0 0 1; 0 1 0]);
% title('NDVI with Threshold Applied')

%código para mostrar imahen en pantalla NDVI con umbral
axes(handles.Figural)
axis off;
imshow(q)
colormap(gca,[0 0 1; 0 1 0]);

axes(handles.FiguraCentral)
axis off;
imshow(q)
colormap(gca,[0 0 1; 0 1 0]);
%%

%% Para mostrar en otras casillas el nombre de la
imagen cargada
para_derivada=findobj(gcf,'Tag','mostrar');
partel=texto;
set(para_derivada,'String',partel);
%%enviar figura

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
clear;
clear golbal;

%obtener controles

```

```

para_derivada=findobj(gcf,'Tag','mostrar');

%crear limpia
limpia='';

%hacer limpiar
set(para_derivada, 'String', limpia);
cla;

% 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 Untitled_1_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to Untitled_1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function vumbral_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to vumbral (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 ver1.
function ver1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ver1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global q;
axes(handles.Figuracentral)
axis off;
imshow(q)
colormap(gca,[0 0 1; 0 1 0]);

% --- Executes on button press in Grabar.
function Grabar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to Grabar (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global NIR;
global q;
global R;
global NDVI;
global NDVI1;
global imga;
global map;

formatOut = 'yyymmddTHHMMSS' ;%para establecer formato
de fecha y hora
fecha=datestr (now, formatOut);%obtiene fecha y hora

```

```
%graba Figura 1 NDVI+Treshold
figure(1)
imshow(q)
colormap(gca,[0 0 1; 0 1 0]);
nomb1='NDVITreshold';
nombre1=strcat(nomb1,fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre1=[carp, '\', nombre1,];
saveas(figure(1), nombre1, 'jpg');
close(figure(1));
```

```
%graba Figura 2 NDVI
figure(2)
imagesc(NDVI1)
colormap (map)
colorbar
nomb2='NDVI';
nombre2=strcat(nomb2,fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre2=[carp, '\', nombre2,];
saveas(figure(2), nombre2, 'jpg');
close(figure(2));
```

```
%graba Figura 5 NIRvsRED
figure(5)
plot(R,NIR, '+b')
hold on
plot(R(q(:)),NIR(q(:)), 'g+')
axis square
xlabel('Red level')
ylabel('NIR level')
nomb5='NIRvsRED';
nombre5=strcat(nomb5,fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre5=[carp, '\', nombre5,];
```

```

saveas (figure (5) , nombre5, 'jpg' );
close (figure (5) );

%graba Figura 6 Original
figure (6)
imshow (imga);
nomb6='Original';
nombre6=strcat (nomb6, fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre6=[carp, '\', nombre6, ];
saveas (figure (6) , nombre6, 'jpg' );
close (figure (6) );

%graba Figura 3 Rojovisible
figure (3)
imshow (R);
nomb3='Rojo_visible';
nombre3=strcat (nomb3, fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre3=[carp, '\', nombre3, ];
saveas (figure (3) , nombre3, 'jpg' );
close (figure (3) );

%graba Figura 4 NIR
figure (4)
imshow (NIR);
nomb4='NIR';
nombre4=strcat (nomb4, fecha);
carp='C:\Users\Sharon\Desktop\Sharon programa\Sharon
programa\resultados';%cambiar siempre dirrección de
carpeta cuando se cambia de computador
nombre4=[carp, '\', nombre4, ];
saveas (figure (4) , nombre4, 'jpg' );
close (figure (4) );

% --- Executes on button press in ver2.
function ver2_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

% hObject      handle to ver2 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global NDVI1;
global map;
axes(handles.Figuracentral)
imagesc(NDVI1)
colormap (map)
colorbar

% --- Executes on button press in ver3.
function ver3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ver3 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global R;
global q;
global NIR;

axes(handles.Figuracentral)
plot(R,NIR, '+b')
hold on
plot(R(q(:)),NIR(q(:)), 'g+')
axis square

% --- Executes on button press in ver4.
function ver4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ver4 (see GCBO)
% eventdata   reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global R;
axes(handles.Figuracentral)
axis off;
imshow(R)

% --- Executes on button press in ver5.

```

```

function ver5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ver5 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global NIR;
axes(handles.Figuracentral)
axis off;
imshow(NIR)

% --- Executes on button press in ver6.
function ver6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to ver6 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see
GUIDATA)
global imga;
axes(handles.Figuracentral)
axis off;
imshow(imga)

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit3 (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 edit3
as text
%          str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit3 (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 pushbutton11.
function pushbutton11_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to pushbutton11 (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 pushbutton12.
function pushbutton12_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to pushbutton12 (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 pushbutton13.
function pushbutton13_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to pushbutton13 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
close (gcbf)
```

```

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit4 (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 edit4
as text
%           str2double(get(hObject,'String')) returns
contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all
properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to edit4 (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 pushbutton14.
function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject      handle to pushbutton14 (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 pushbutton15.

```

```
function pushbutton15_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton15 (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 pushbutton16.
function pushbutton16_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton16 (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 pushbutton17.
function pushbutton17_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton17 (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 pushbutton18.
function pushbutton18_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton18 (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 pushbutton19.
function pushbutton19_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject    handle to pushbutton19 (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 pushbutton20.
function pushbutton20_Callback(hObject, eventdata,
handles)
% hObject handle to pushbutton20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future
version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see
GUIDATA)
```