



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA

TEMA:

“Procesamiento de imágenes del cultivo de un terreno con visión artificial para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada.”

AUTOR: Jimmy Javier Báez Carranco

DIRECTOR: MSc. Iván Iglesias Navarro, Ing.

IBARRA – ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL AUTOR			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100398013-1		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Báez Carranco Jimmy Javier		
DIRECCIÓN:	Río Chota 16-04 & Nazacota Puento		
EMAIL:	jjbaez@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062653393	TELÉFONO MÓVIL:	0994822426
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	“Procesamiento de imágenes del cultivo de un terreno con visión artificial para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada”		
AUTOR:	Báez Carranco Jimmy Javier		
FECHA (DD/MM/AAAA):	18/08/2021		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	Pregrado		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica		
ASESOR/DIRECTOR:	MSc Iván Iglesias Navarro, Ing.		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de agosto de 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jimmy Báez', is written over a horizontal line.

Nombre: Jimmy Báez

Cédula: 1003980131

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del presente Trabajo de Grado titulado: “Procesamiento de imágenes del cultivo de un terreno con visión artificial para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada”, certifico que fue desarrollado por el señor Jimmy Javier Báez Carranco, bajo mi supervisión.

MSc. Iván Iglesias, Ing.

DIRECTOR DEL PROYECTO

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se la dedico especialmente a mi madre la MSc. Elsa Carranco, Lic. quien me ha acompañado y motivado para culminar todas las etapas de mi vida, siendo ella quien ha luchado arduamente para darnos la mejor herencia que es la educación a mí, así como también a mi hermano y hermana.

A su vez también dedico esta investigación a mis abuelitos, especialmente a Luzmila González y a Humberto Carranco debido a que se adelantaron y no pudieron verme culminar mi etapa universitaria.

-Jimmy Báez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, debo agradecer a Dios por guiar mi camino y no haberme desviado hasta lograr culminar esta etapa universitaria para llegar a ser Ingeniero en Mecatrónica.

De la misma forma debo agradecer a mi familia por siempre motivarme y brindarme la ayuda necesaria cada vez que la he requerido.

También se me hace justo agradecer a mis compañeros, amigos de carrera y ahora profesionales al Ing. Edison Báez y al Ing. Alejandro López que desde los primeros niveles hemos estado en los grupos de trabajo aprendiendo y hasta logrado ser campeones en concursos internos.

A su vez también debo agradecer a Alexandra Elbakyan, creadora del sitio web Sci-Hub, pues me permitió acceder a información importante para el desarrollo de mi investigación.

Por último, pero no menos importante agradezco a mi tutor el MSc. Iván Iglesias, Ing. que ha sido mi docente desde primer nivel y ha impartido sus clases magistrales logrando darme sabiduría que a futuro aplicaré en mi desempeño como ingeniero. De igual manera a todos los docentes que me forjaron y motivaron durante todo mi transcurso en la carrera de ingeniería.

RESUMEN

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) determina el estado del cultivo y a su vez verifica la hidratación del suelo. Existen plataformas que permiten el cálculo del NDVI, sin embargo, son licenciadas, de alto costo y las pruebas gratuitas son limitadas.

En este trabajo de investigación se muestra el proceso de diseño y programación de una interfaz gráfica de usuario, la cual está realizada bajo el lenguaje de programación *Python* y permite al usuario calcular el NDVI a cualquier imagen capturada por dron del cultivo de un terreno.

La interfaz desarrollada cuenta con dos modos para el cálculo del NDVI, siendo el primero y más básico el modo simple donde el usuario selecciona una imagen y se calcula el NDVI de toda la imagen. Además, se cuenta con el modo avanzado donde el usuario selecciona una imagen y luego define una región de interés para que finalmente se calcule el NDVI únicamente de esta área y no de toda la imagen.

El cálculo del NDVI mediante el modo avanzado permite determinar el estado del cultivo o del suelo de una manera óptima pues se desprecian las áreas donde no existe la presencia de cultivos o suelos.

ABSTRACT

The normalized difference vegetation index (NDVI) allows determining the crop condition and at the same time verifying soil hydration. There are platforms that allow the calculation of NDVI; however, they are licensed, high cost and free trials are limited.

This research work shows the design and programming process of a graphical user interface, which is made under the *Python* programming language and allows the user to calculate the NDVI to any image captured by drone of a field crop.

The developed interface has two modes for NDVI calculation, being the first and most basic the simple mode where the user selects an image and the NDVI of the whole image is calculated, and the advanced mode where the user selects an image and then defines a region of interest to finally calculate the NDVI only for this area and not for the whole image.

The NDVI calculation through the advanced mode allows determining the state of the crop or soil in an optimal way because the areas where there is no presence of crops or soils are disregarded.

Índice General

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	II
CONSTANCIAS	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
Índice de figuras	XII
Índice de tablas	XIV
Índice de ecuaciones.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	15
Problema	15
Objetivos.....	16
Objetivo General	16
Objetivos Específicos.....	16
Alcance	16
Justificación	16
CAPÍTULO I.....	18
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1. Agricultura de precisión.....	18
1.2. Drones o UAV's en la agricultura de precisión	18
1.3. Dron DJI Mavic 2 PRO	19
1.4. Cámaras de drones o UAV's.....	19
1.4.1. Sensor CMOS.....	20
1.4.2. Sensor Multiespectral	20
1.4.3. Sensor Hiper espectral	20
1.4.4. Sensor Térmico.....	21
1.5. Legislación de operación de drones.....	21
1.6. Riego del suelo.....	21
1.7. Tipos de suelo en el Ecuador	22
1.7.1. Suelos del plano costero	22

1.7.2.	Suelos de las tierras altas	22
1.7.3.	Suelos de la Amazonía	22
1.7.4.	Suelos de las islas Galápagos	23
1.8.	Cultivos en el Ecuador	23
1.9.	Índice de vegetación de diferencia normalizada	23
1.10.	Visión Artificial.....	24
1.11.	Segmentación de imágenes	24
1.12.	Color RGB.....	25
1.13.	Tipos de formatos de imagen	25
1.14.	Interfaz gráfica de usuario	27
1.15.	Normas de interfaz gráfica de usuario.....	27
1.16.	Lenguaje de programación Python aplicado en Visión Artificial	28
1.17.	Estado del arte	29
CAPÍTULO II.....		32
2.	MARCO METODOLÓGICO	32
2.1.	Análisis de requerimientos.....	32
2.2.	Adquisición de imágenes superficiales del terreno con UAV	32
2.3.	Diagrama de flujo de la interfaz	33
2.4.	Instalación de módulos	33
2.4.1.	Python.....	34
2.4.2.	Visual Studio Code.....	34
2.4.3.	Librería NumPy	34
2.4.4.	Librería Matplotlib	35
2.4.5.	Librería OpenCV	35
2.4.6.	Librería PyQt5 Designer	35
2.4.7.	Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario.....	36
2.4.8.	Entorno de diseño en “QT Designer”	36
2.4.9.	Personalización del cursor	41
2.4.10.	Programación de la interfaz	43
CAPÍTULO III		45
3.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1.	Resultados.....	45
3.1.1.	Descripción general de la GUI	45
3.1.2.	Diseño de la interfaz gráfica de usuario.	45
3.2.	Pruebas.....	49

3.2.1. Modo simple	49
3.2.2. Modo avanzado	54
3.3. Análisis de resultados	57
3.3.1. Imágenes con presencia de edificaciones	57
3.3.2. Imágenes que cuentan netamente con cultivos.....	58
3.3.3. Imágenes de terrenos que no cuentan con cultivos o están retoñando	61
3.3.4. Imágenes que cuentan con sombra de nubes	65
3.3.5. Comparación de la GUI con la plataforma Auravant®	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
REFERENCIAS	72
APÉNDICE	77

Índice de figuras

Fig. 1-1 Dron DJI MAVIC 2 PRO	19
Fig. 1-2 Modo de color RGB, rojo, verde y azul.....	25
Fig. 1-3 Logo del lenguaje de programación Python	28
Fig. 1-4 Logo de la librería OpenCV.....	28
Fig. 2-1 Flujograma de la interfaz	33
Fig. 2-2 Entorno de diseño QT Designer.....	36
Fig. 2-3 Interfaz en blanco y elementos a agregar.....	37
Fig. 2-4 Agregar el elemento Tab Widget.....	37
Fig. 2-5 Colocando y editando el Tab Widget.....	38
Fig. 2-6 Agregar páginas al Tab Widget	38
Fig. 2-7 Creando el botón salir	39
Fig. 2-8 Agregando texto a la interfaz	40
Fig. 2-9 Agregando una imagen a la interfaz	40
Fig. 2-10 Escalar imagen agregada.....	41
Fig. 2-11 Personalizar cursor (parte1)	42
Fig. 2-12 Personalizar cursor (parte 2)	42
Fig. 2-13 Funciones a botones	44
Fig. 3-1 Diseño pestaña Portada.....	46
Fig. 3-2 Diseño pestaña NDVI	47
Fig. 3-3 Diseño pestaña Interpretación.....	48
Fig. 3-4 Diseño pestaña Contacto.....	49
Fig. 3-5 JPG capturada por el UAV	50
Fig. 3-6 Figura seleccionada no visualizada por completo	51
Fig. 3-7 Figura escalada.....	51
Fig. 3-8 Figura calculada el NDVI en escala de grises	52
Fig. 3-9 Figura calculada el NDVI con colormap	52
Fig. 3-10 Figura original y figura calculada el NDVI en una sola	53
Fig. 3-11 Figura original y figura calculada el NDVI con escala de color.....	54
Fig. 3-12 Selección de la ROI por el usuario	55
Fig. 3-13 Entrada por teclado para la definición de la ROI por el usuario.....	55
Fig. 3-14 ROI original y ROI calculada el NDVI con escala de color	56
Fig. 3-15 Figura con edificaciones	57
Fig. 3-16 NDVI calculado a la figura 3-15.....	58
Fig. 3-17 Figura con cultivos para el modo simple	58
Fig. 3-18 NDVI calculado a la figura 3-17.....	59
Fig. 3-19 Figura con afluencia de cultivos	60
Fig. 3-20 Selección de la ROI con mayor afluencia de cultivos	60
Fig. 3-21 NDVI calculado a la ROI seleccionada en la figura 3-20.....	61
Fig. 3-22 Área de interés de la figura 3-21 calculada el NDVI.....	61
Fig. 3-23 Terreno que no cuenta con cultivos	62
Fig. 3-24 NDVI calculado a la ROI de la figura 3-23	62
Fig. 3-25 Terreno que su cultivo está retoñando	63
Fig. 3-26 NDVI calculado a la ROI de la figura 3-25	63
Fig. 3-27 Terreno que cuenta con los dos casos analizados previamente	64

Fig. 3-28 NDVI calculada a la ROI de la figura 3-27	64
Fig. 3-29 Imagen con presencia de nubes	65
Fig. 3-30 NDVI calculado a la figura 3-29.....	66
Fig. 3-31 Imagen con presencia de nubes	66
Fig. 3-32 NDVI calculado a la figura 3-31.....	67
Fig. 3-33 Imagen capturada con UAV del cultivo a comparar.....	67
Fig. 3-34 NDVI calculado a la figura 3-33.....	68
Fig. 3-35 Imagen satelital del área a comparar desde la plataforma Auravant®	68
Fig. 3-36 NDVI calculado desde la plataforma Auravant®	69

Índice de tablas

Tabla 1-1 Características principales del dron DJI MAVIC 2 PRO	19
Tabla 1-2 Formatos de imagen y sus modos de color	26

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 – Cálculo del NDVI.....	24
------------------------------------	----

INTRODUCCIÓN

Problema

El agricultor no puede identificar fácilmente si su cultivo se encuentra de buena salud o si el riego ha sido proporcional en toda el área del cultivo por lo que al tener el dato del NDVI podría identificar estas anomalías a tiempo, sabiendo que en el Ecuador 5,11 millones de hectáreas se encuentran bajo labor agropecuaria [1].

Luego de haber revisado el repositorio de bibliotecas del Ecuador, se evidencia que no hay un trabajo enfocado en el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) en cultivos de terrenos, sin embargo, internamente en nuestra Universidad se realizó un trabajo usando software limitado para el procesamiento de imágenes para determinar el NDVI y verificar el uso de suelo en la reserva ecológica el Ángel [2]. Además, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) nos indica que en el año 2019 a nivel nacional el 24.1% de la superficie cultivada del Ecuador necesita ser regada [3].

El procesamiento de imágenes con visión artificial permite identificar patrones no perceptibles ante el ojo humano, por ello al procesar una imagen superficial a fin de que se le aplique filtros y segmentación permita determinar el NDVI en una escala de -1 a 1 identificando a tiempo enfermedades o partes del cultivo que no han sido proporcionalmente regadas.

La implementación de un software gratuito que permita el procesamiento de una imagen superficial del cultivo de un terreno para determinar el NDVI es una gran herramienta que puede usar el agricultor para evitar pérdidas.

Objetivos

Objetivo General

- Elaborar un software gratuito que permita el procesamiento de imágenes del cultivo de un terreno con visión artificial para el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada.

Objetivos Específicos

- Seleccionar una técnica de visión adecuada de software libre para el procesamiento de imágenes superficiales del cultivo de un terreno.
- Elaborar una interfaz gráfica de usuario que permita determinar el índice de vegetación de diferencia normalizada del cultivo de un terreno.
- Comprobar el funcionamiento y depurar los errores que se presenten.
- Elaborar un manual de usuario que permita la familiarización con el software y su fácil uso.

Alcance

Se desarrollará una aplicación con una interfaz gráfica que permita al usuario ingresar la imagen superficial del cultivo del terreno para que mediante software libre y visión artificial se aplique filtros y segmentación con la finalidad de que se especifique en una escala desde -1 a 1 el índice de vegetación de diferencia normalizada, este valor permitirá identificar anomalías en el cultivo.

Justificación

El riego no siempre es proporcional para toda el área del cultivo, lo que conlleva a que algunas áreas del terreno estén más hidratadas que otras. Teniendo el NDVI se puede analizar y monitorear de manera efectiva el estado de la vegetación y su dinámica en el

área de cobertura terrestre [4]. Al tener un amplio cultivo, no se logra identificar la salud total del mismo, con el NDVI mediante una escala de -1 a 1 se puede determinar la salud real del cultivo.

Ante la necesidad evidente de conocer el NDVI del cultivo, el implemento de visión artificial para procesar la imagen superficial del mismo; beneficiará al agricultor debido a que estará al tanto del estado de la vegetación del cultivo evitando así, pérdidas a largo plazo.

La implementación de este procesamiento de imágenes permitirá tomar decisiones a tiempo para evitar que el cultivo se deteriore por cualquier circunstancia prevenible [5]. En consecuencia, esta implementación encaja con el objetivo cinco del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 toda una vida, “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria” [6].

El uso de la visión artificial aplicada en la agricultura de precisión para obtener el NDVI es una aplicación que ofrecen algunas plataformas y programas, sin embargo, al ser elevados los costos de sus licencias; no son accesibles a los agricultores. Por ello, este software libre permitirá obtener el NDVI de tal manera que permita mantener un control del cultivo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Agricultura de precisión

La tecnología de agricultura de precisión es un concepto de gestión valioso que ayuda a monitorear y controlar con precisión los parámetros del suelo. La automatización permite a los agricultores aplicar la cantidad óptima de agua y fertilizante a las ubicaciones del campo según sea necesario [7].

El producto de investigación resultante de este trabajo permite controlar que estos procesos automatizados de riego se los estén realizando correctamente.

1.2. Drones o UAV's en la agricultura de precisión

Los drones o UAV's (por sus siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicle), han ido evolucionando y en la actualidad son de ayuda a los agricultores para monitorear sus cultivos de tal manera que puedan responder a diferentes enfermedades que afecten a las plantas y a las condiciones de humedad como también la de temperatura que afectan el desarrollo normal [8].

Se evidencia que existen varios drones especializados que brindan posibilidades ilimitadas para el sector agrícola, dado a que con sus sensores (cámaras) incorporados pueden volar rápidamente sobre los campos para capturar información diversa, esto permite que las personas que administran los cultivos accedan a ellos y brinden una herramienta para controlar los diversos factores limitantes incrementando de esta manera la productividad [9].

La teledetección basada en drones es útil para la adquisición de geo-información de diagnóstico oportuno y de alta resolución para la agricultura; especialmente con un gran

número de parcelas de pequeño tamaño como en Japón y la mayoría de los países asiáticos [10].

1.3. Dron DJI Mavic 2 PRO

Las características principales de este modelo en específico constan en la tabla 1 que se muestra a continuación.

Tabla 1-1 Características principales del dron DJI MAVIC 2 PRO [13]

Características principales	
Peso	907g
Velocidad máxima	44,7mph
Cámara	1'' CMOS de 20M
Máximo tamaño de imagen	5472x3648
Formato de imágenes	JPEG, DNG(RAW)
Tiempo de vuelo	Máximo 31 minutos

A continuación, en la Fig.1 se ilustra el dron DJI Mavic 2 PRO.



Fig. 1-1 Dron DJI MAVIC 2 PRO [14]

Es importante dejar claro que este modelo de dron o UAV fue el que se utilizó para la adquisición de imágenes, esto se aprecia en el capítulo 2.

1.4. Cámaras de drones o UAV's

Las cámaras de los drones también son conocidas como sensores y a su vez como sensores de imagen. En los últimos años, se han logrado avances en el desarrollo de nuevos sensores de imagen de alta resolución, especialmente impulsados por productos

electrónicos de consumo. Además, debido al desarrollo de sensores de imagen térmica, actualmente existen cámaras termográficas comerciales en el mercado, que no requieren enfriamiento para ciertas aplicaciones y tienen un precio razonable. De manera similar, se desarrollaron sensores miniaturizados multiespectrales e hiper espectrales que se pueden montar en drones [11].

1.4.1. Sensor CMOS

Los sensores de imagen de semiconductores de óxido de metal complementario (CMOS) son dispositivos típicos para convertir señales de luz en señales eléctricas. Debido a su bajo consumo de energía, alta velocidad de lectura y alta integración (lo que significa tamaño pequeño) su mayor implementación es en teléfonos móviles [12].

1.4.2. Sensor Multiespectral

Existen sensores multiespectrales miniaturizados para colocar en los drones. Estos sensores pueden obtener valores de hasta 6 bandas espectrales y se pueden seleccionar diferentes bandas mediante filtros. Como regla general, estos sensores están diseñados para el estudio de parámetros relacionados con la vegetación, por lo que las bandas se seleccionan en el rango verde, rojo e infrarrojo cercano, donde la vegetación presenta la mayor respuesta de absorptividad y reflectividad [11].

1.4.3. Sensor Hiper espectral

Es el sensor más avanzado en la toma de datos espectrales. En los últimos años se han desarrollado sensores con un peso inferior a 1 kg, lo cual ha permitido su empleo mediante UAVS [11].

La mayoría de las soluciones existentes capturan la información comprendida entre 400 nm y 1.000 nm, tomando datos de hasta 300 bandas. Con ello, se consigue la máxima información espectral en el rango correspondiente a la vegetación [11].

1.4.4. Sensor Térmico

La solución pasa por la integración de un núcleo de sensor térmico, cuyo peso puede ser inferior a los 100 g, en un dron. Dicha integración consiste en la captura de las imágenes tomadas por el núcleo, para su almacenamiento junto con los datos de telemetría del dron, de manera que pueda procederse posteriormente a su corrección geométrica y formar el mosaico [11].

Esta información puede advertir sobre situaciones de estrés hídrico en las plantas, permitiendo detectar ciertos problemas fitosanitarios, y facilita la detección de otro tipo de situaciones de interés a nivel forestal, tales como localización de fauna, detección de vertidos en cauces, etc. [11].

1.5. Legislación de operación de drones

Desde el 04 de noviembre del 2020 en el Ecuador la operación de drones se rige por el “Reglamento de operación de aeronaves pilotadas a distancia” de la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador [15]. Con los permisos necesarios para la operación de drones se puede realizar la adquisición de imágenes superficiales de los cultivos de un terreno para controlar el riego de su suelo.

1.6. Riego del suelo

El manejo apropiado del riego necesita la evaluación, de parte del campesino, de sus necesidades de riego con base a medidas de diversos límites físicos del suelo. Ciertos productores usan equipo sofisticado mientras tanto que otros se fundamentan en procedimientos empíricos o en el sentido común [16].

Un método que se usa comúnmente para determinar cuándo regar, es monitorear la disminución de agua en el suelo. Mientras las plantas usan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un grado en el que es preciso utilizar un riego o el cultivo empieza a estresarse

por falta de agua. Si no se aplica agua, la planta continuará realizando uso de la escasa humedad que queda hasta que al final use toda el agua disponible en el suelo y fallezca de sed [16].

1.7. Tipos de suelo en el Ecuador

En general, los suelos del Ecuador se encuentran entre los más diversos de la Tierra. De acuerdo con sus componentes, estos se agrupan en: suelos aluviales (zonas cercanas a los ríos, fácilmente inundables), suelos sobre cenizas volcánicas y suelos sobre otros materiales (rocas antiguas) [17]. Los cuáles serán descritos a continuación.

1.7.1. Suelos del plano costero

Deben su alta fertilidad a la presencia de suelos andosoles (formados sobre cenizas y vidrios volcánicos) y molisoles (gran concentración de materia orgánica y nutrientes) [17].

1.7.2. Suelos de las tierras altas

Se encuentran en las montañas occidentales y orientales andinas. Tienen una extensión de alrededor de 47 mil km². Esta zona es rica en suelos andosoles, por lo tanto, rica en cenizas y componentes minerales [17].

1.7.3. Suelos de la Amazonía

Estos suelos se benefician de la acción de erosión de los altos andinos que depositan cenizas volcánicas y componentes minerales en sus faldas. Al mismo tiempo, por su configuración selvática recibe un alto componente orgánico [17].

1.7.4. Suelos de las islas Galápagos

La región Insular consiste en 5 islas principales, 14 islotes y 68 isletas o rocas antiguas localizadas todas en el Océano Pacífico. Todas estas formaciones se deben a sucesivas erupciones de volcanes submarinos que las formaron [17].

1.8. Cultivos en el Ecuador

En 2018, la superficie de labor agropecuaria del país alcanzó los 5,3 millones de hectáreas (ha), con una producción de caña de azúcar (para azúcar), banano, palma africana, arroz, papa y maíz duro seco, que supera los cultivos de otros productos, según estudios del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) [18]. Esto evidencia la necesidad de llevar un control de la humedad de los suelos y por ende de cómo afecta esto en el índice de vegetación de diferencia normalizada.

1.9. Índice de vegetación de diferencia normalizada

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, es el más conocido de todos, y es el más utilizado para todo tipo de aplicaciones. La razón fundamental su sencillez de cálculo y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y 1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes. Los valores de NDVI muy bajos (aproximadamente 0,1) corresponden a zonas rocosas, arenosas o nevadas. Los valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pastos naturales. A partir de estos valores obtendremos el nivel correspondiente a pastizales, cultivos, forestación, etc. depende del valor obtenido [19].

En resumen, el NDVI se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de las plantas con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas de la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas conocido como espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja [20].

Ibrahim Wahab & Ola Hall [20] nos indican que el cálculo del NDVI se basa en la fórmula que se muestra a continuación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ecuación 1 – Cálculo del NDVI

donde:

- NIR: luz infrarroja cercana, en imágenes RGB es la banda o luz azul [20].
- RED: es la luz roja visible (también llamada VIS) [20].

1.10. Visión Artificial

La visión artificial o visión por computadora se define como la ciencia de programar una computadora para procesar imágenes y luego comprenderlas. La visión artificial permite una alternativa accesible para lograr las expectativas del consumidor de manera objetiva, rápida y precisa [21].

La visión por computadora se utiliza para detectar pequeños detalles que los ojos humanos no pueden identificar, también para automatizar un proceso o una línea de producción y reducir tiempos y costos. Los humanos están siendo reemplazados por la visión artificial porque es más rápida, más precisa y tiene más replicabilidad. Esto también trae beneficios tanto operativos como de seguridad, ya que la participación humana se ve disminuida [22].

1.11. Segmentación de imágenes

La segmentación de imágenes es una tarea clave en la visión por computadora y el procesamiento de imágenes con importantes aplicaciones como comprensión de escenas, análisis de imágenes médicas, percepción robótica, videovigilancia, realidad aumentada y compresión de imágenes, entre otras [23].

1.12. Color RGB

Los modos de color dependientes de dispositivos (cámaras, proyectores, monitores, etc.) son RGB y CMYK. RGB es el modo de color basado en los colores primarios rojo, verde y azul que forman la luz blanca. Los dispositivos que utilizan este modo de color son las cámaras fotográficas, los escáneres, los monitores, los proyectores, los sistemas de impresión basados en papel fotoquímico y las impresoras de inyección de tinta [24].

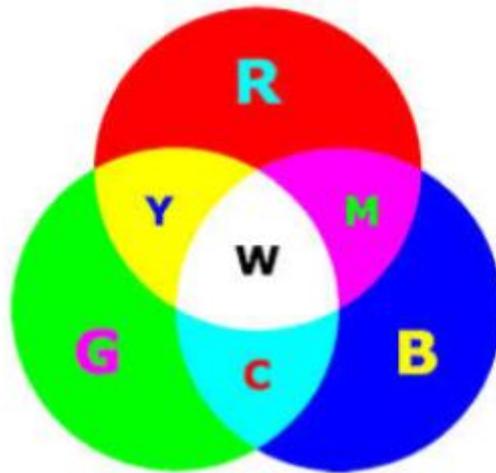


Fig. 1-2 Modo de color RGB, rojo, verde y azul [24]

1.13. Tipos de formatos de imagen

Un formato es la codificación con la que se almacena la imagen. La codificación puede verse como el "lenguaje" que utilizará el computador para almacenar y leer la imagen en disco. Dependiendo de este "lenguaje", la imagen ocupará más espacio o se verá con mayor o menor calidad. A continuación, se describen algunos de los formatos más utilizados en el campo de la imagen digital [25].

Tabla 1-2 Formatos de imagen y sus modos de color [25]

<i>Formato de imagen</i>	<i>Modos de color</i>
GIF Graphics Interchange Format (.gif)	<ul style="list-style-type: none"> • CompuServe GIF: Mapa de bits. Escala de grises. Color indexado. • GIF 89a (GIF animado): Color indexado. RGB. • Mapa de bits (sin canales alfa)
PICT (.pct; .pic)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de grises • Color indexado • RGB (1 canal)
JPEG Join Photographic Expert Group (.jpg; .jpe)	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de grises • RGB • CMYK • Admite todos los modos de color
GIMP (.xcf)	<ul style="list-style-type: none"> • Canal alfa y de tintas planas • Guías, trazados • Capas de ajuste, de texto, efectos capa • Escala Grises
TARGA (.tga;.vda;.icb;.vst)	<ul style="list-style-type: none"> • Color indexado • RGB (16 y 24 bits sin canales alfa) • RGB de 32 bits (un solo canal alfa)
PNG Portable Networks Graphics (.png)	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa de bits • Escala Grises • Color Indexado

TIFF	<ul style="list-style-type: none"> • RGB • Mapa de bits sin canales Alfa • Escala de Grises con canales Alfa y archivos Lab
Tagged Image File Format (.tif)	<ul style="list-style-type: none"> • Color Indexado • RGB con canales Alfa y archivos Lab • CMYK

Antes de continuar, hay que mencionar que el UAV que se utilizó para la adquisición de imágenes (ver epígrafe 1.4) guarda las imágenes en formato JPG y DNG. No obstante, el formato DNG nos permite hacer un post procesamiento y exportar en formato como PNG y TIFF sin perder información.

1.14. Interfaz gráfica de usuario

La Interfaz Gráfica de Usuario o GUI por sus siglas en inglés se caracterizan por una serie de componentes como botones, cajas de texto, etiquetas, paneles, barras de desplazamiento, etc. [26].

1.15. Normas de interfaz gráfica de usuario

En el Ecuador la norma que rige con respecto a la “Ergonomía del software para interfaces de usuario multimedia” es la NTE INEN-ISO 14915-1 [27], la misma que a su vez se basa en la norma internacional ISO 14915-1:2002 que establece los principios de diseño de las interfaces de usuario multimedia y proporciona un marco para abordar las diferentes consideraciones involucradas en su diseño. Resuelve la interfaz de usuario de aplicaciones que fusionan, integran y sincronizan diferentes medios. Esto incluye medios estáticos (como texto, gráficos o imágenes) y medios dinámicos (como audio, animación,

video o medios relacionados con otros modos sensoriales). Los problemas de diseño detallados en un solo medio (por ejemplo, el diseño gráfico de una secuencia de animación) solo se resuelven cuando tienen un impacto ergonómico en el usuario [28].

1.16. Lenguaje de programación Python aplicado en Visión Artificial

Python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos. Combina módulos, excepciones, tipos dinámicos, clases y tipos de datos dinámicos muy avanzados. *Python* combina características extraordinarias con una sintaxis muy clara. Tiene muchas llamadas al sistema y bibliotecas, así como varias interfaces de sistema de ventanas, y se puede extender en *C* o *C++*. También se puede utilizar como un lenguaje de extensión para aplicaciones que requieren una interfaz programable [29].

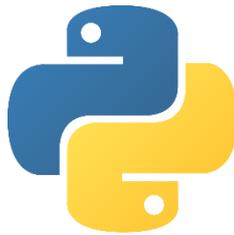


Fig. 1-3 Logo del lenguaje de programación Python [29]

Una vez que se tiene claro qué es el lenguaje de programación *Python*, hay que mencionar que cuando hablamos acerca de visión artificial con *Python* estamos hablando de la librería *OpenCV*.



Fig. 1-4 Logo de la librería OpenCV [30]

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) es una biblioteca de software de aprendizaje automático y visión artificial de código abierto. *OpenCV* tiene como objetivo proporcionar una infraestructura común para aplicaciones de visión por computadora y acelerar el uso de la percepción de la máquina en productos comerciales [30].

1.17. Estado del arte

Manuel Fuentes en [31] implementó un sistema de visión artificial para el control de calidad de hojas de cuero. En su trabajo, se utilizó una cámara y luminarias para que la visión artificial pueda manejar solo los colores blanco y negro. La implementación está montada en una estructura específicamente diseñada para su funcionamiento. El sistema elimina cualquier elemento que no pertenezca a las hojas de cuero o alguna interferencia lumínica exterior al sistema.

Cuasquer Fernanda & Sangurima Andrea en [2] realizaron el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Donde para obtener el dato usaron software licenciado. El NDVI obtenido les permitió identificar los cambios de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal. Ellas en su trabajo accedieron a imágenes satelitales para procesarlas.

Do Valle Goncalves, RR, Zullo, J., Perón, TM, Evangelista, SRM y Romani, LAS [32] implementaron modelos numéricos para pronosticar la producción de caña de azúcar a escala regional basados en series tiempo de imágenes NDVI/AVHRR. La correlación entre Spearman y el análisis de componentes principales (PCA) les permitió seleccionar variables para su modelo de estimación mediante análisis de regresión lineal múltiple. El modelo realizado funciona solo para el estado de Sao Paulo, Brasil. Además de obtener el NDVI ellos lograron obtener el índice de satisfacción del requisito de agua (WRSI).

Luis Carlos Quevedo Viera [33] realizaron un sistema electrónico para el diagnóstico del síndrome de túnel carpiano. Aplicaron procesamiento de imágenes térmicas y el uso de opencv que es una librería de código abierto. Este sistema ofrece una prevención en el área de fisioterapia para la detección temprana del túnel carpiano. Además, el sistema consta de una interfaz gráfica para poder interpretar las imágenes procesadas.

Jéssica Elizabeth López Ortega [34] hizo una evaluación multitemporal del aumento de la superficie de vegetación acuática del embalse Daule Peripa. Lo realizó mediante la aplicación de imágenes espectrales de sensores remotos. Para el análisis de la vegetación acuática se utilizaron las coordenadas UTM 17 SUR de la zona: Boca de Gualipe, Guayaquil Chiquito, Barraganete y La Reserva; el trabajo de campo incluyó salidas en la época lluviosa y seca, correspondientes a finales de marzo y noviembre respectivamente.

T Tulasi Sasidhar, Sreelakshmi K, Vyshnav M.T, Sowmya V, Soman K.P [35] clasificaron imágenes de satélite de cobertura terrestre mediante el NDVI y Simple CNN. Para obtener las imágenes usaron landsat 4 y 6 para posteriormente aplicar capas a esas imágenes como la de convolución y densidad. Esta aplicación permite clasificar imágenes satelitales de acuerdo con el NIR y Red & NIR.

Gabriela Isamar Viera Maza [36] implementó un sistema para la clasificación del cacao. Para ello procesó imágenes usando opencv aplicado en Raspberry Pi. Esta aplicación tarda 2 segundos en adquirir la imagen y luego de procesarla la clasifica de tal manera que su eficiencia es del 89% a comparación del 78% que lo haría un operario.

Patricia L. Suárez, Angel D. Sappa, Boris X. Vintimilla. [37] implementaron un sistema de aprendizaje de imágenes del índice de vegetación a través de una red de adversarios generativos condicional. En el trabajo, se evaluaron tres esquemas diferentes

(Flat, Siamés y Triplet GAN) y los resultados muestran que, en la mayoría de los casos, la red puede obtener una representación confiable del índice de vegetación de diferencia normalizada a partir de una imagen NIR dada. Esta técnica es muy novedosa y no se puede comparar con métodos anteriores. Por tanto, es necesario utilizar diferentes variantes del adversario para generar la red convolucional para verificar que se pueden obtener los mejores resultados utilizando la versión de red Triplet GAN condicionada a la imagen NIR.

Ángel Patricio Fernández Soria [38] realizó un sistema electrónico para el control de calidad de huevos de gallina. Para lograrlo lo hizo mediante el procesamiento de imágenes y el uso de código y librerías abiertas, este sistema se encarga del análisis y detección de los huevos de gallina que son aptos para la incubación de tal manera que se optimiza la producción avícola.

Santiago Rafael Rojas Unda [39] hizo una evaluación de metodologías para procesamiento de imágenes satelitales para identificación de cambio de uso de suelo. Para lo cual obtuvo imágenes del sensor ASTER para su posterior preparación y corrección de tal manera que luego realizó una homogenización de histogramas, con esos datos entre ellos el NDVI; luego pudo clasificar las imágenes según criterios de análisis.

Como se evidencia en el estado del arte, existen investigaciones que usan el NDVI, sin embargo, no hay alguna en la que se proponga el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario y sobre todo que sea libre en donde el usuario pueda realizar el análisis del NDVI del cultivo de su terreno, por lo tanto, se puede deducir la validación del presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el proceso de programación y obtención de la interfaz gráfica de usuario para el cálculo del NDVI de la imagen superficial de un terreno, misma que está basada en el lenguaje *Python* debido a que es un lenguaje de programación interpretado de alto nivel y enfocado principalmente a la legibilidad y facilidad de aprendizaje y uso [40].

2.1. Análisis de requerimientos

Los requerimientos para la programación y obtención de la interfaz de acuerdo con los objetivos planteados es que debe ser un software gratuito, por lo que se desarrolló con software libre.

A continuación, se detallan los requerimientos para el desarrollo de la interfaz:

- Instalación de *Python*.
- Instalación de *QT Designer*.
- Instalación de librerías adicionales de *Python*.
- Imágenes superficiales de un terreno.

2.2. Adquisición de imágenes superficiales del terreno con UAV

En cuanto a la adquisición de imágenes se las hizo con el dron DJI Mavic 2 Pro (ver capítulo 1 epígrafe 1.4) en las localidades de San José de Chaltura, San Francisco de Natabuela y San Roque, dado a que son sectores productivos agrícolas locales.

2.3. Diagrama de flujo de la interfaz

En la fig.2-1 se evidencia la sistematización de ejecución y funcionamiento de la interfaz, la misma que cuenta con cuatro pestañas que son: portada, NDVI, interpretación y contacto.

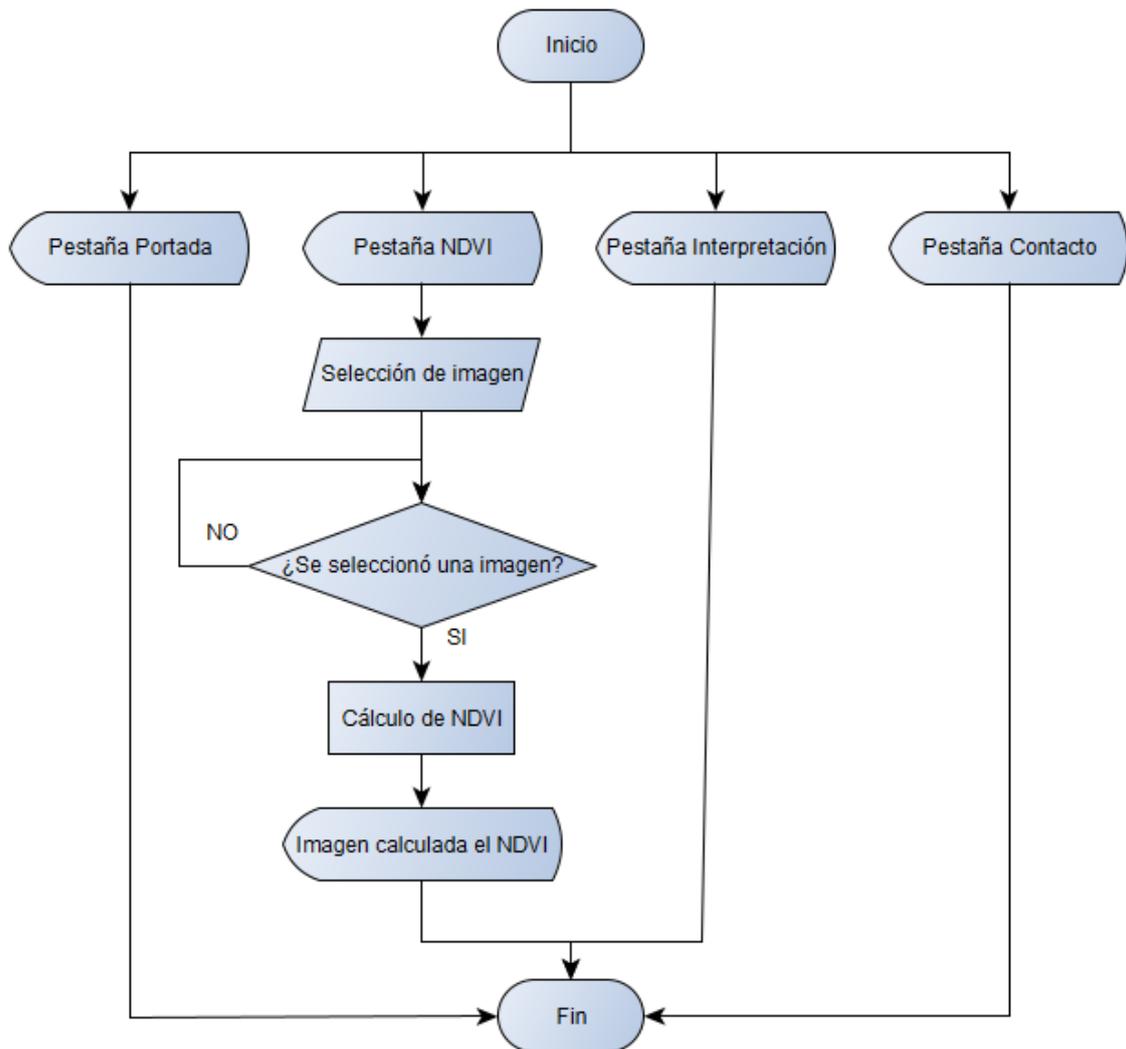


Fig. 2-1 Flujograma de la interfaz

2.4. Instalación de módulos

De acuerdo con los requerimientos se debe instalar ciertos módulos para la programación y desarrollo de la interfaz.

2.4.1. Python

Independientemente del sistema operativo que tenga nuestro computador debemos instalar la última versión de *Python*, para lo cual se debe dirigir a la página oficial donde encontraremos la última versión disponible y realizar la respectiva instalación.

2.4.2. Visual Studio Code

Para la programación y desarrollo de la interfaz se necesita hacerlo en un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) de programación, en este caso se ha seleccionado Visual Studio Code debido a que es un editor de codificación gratuito que ayuda a empezar a codificar rápidamente. Se puede usar para codificar en cualquier lenguaje de programación, sin cambiar de editor. Visual Studio Code es compatible con muchos lenguajes, incluidos *Python*, *Java*, *C ++*, *JavaScript* y más [41].

Para instalar esta IDE solo se debe dirigir a su página oficial y dependiendo del Sistema Operativo en que vayamos a trabajar, realizamos la descarga e instalación.

Una vez instalada la IDE la ejecutamos, posteriormente en la parte inferior se visualizará una línea de comando donde se podrá digitar e instalar librerías adicionales según se las necesite.

2.4.3. Librería NumPy

NumPy es un proyecto de código abierto que tiene como objetivo permitir la computación numérica con *Python* [42].

Para su instalación se debe escribir en la línea de comando:

```
pip install numpy
```

2.4.4. Librería Matplotlib

Matplotlib produce figuras con calidad de publicación en una variedad de formatos impresos y entornos interactivos en todas las plataformas. *Matplotlib* se puede utilizar en scripts de *Python*, el shell de *Python* e *IPython*, servidores de aplicaciones web y varios kits de herramientas de interfaz gráfica de usuario [43].

Para su instalación se debe escribir en la línea de comando:

```
pip install matplotlib
```

2.4.5. Librería OpenCV

OpenCV es una librería de software de visión artificial y aprendizaje automático de código abierto [30].

Para su instalación se debe escribir en la línea de comando:

```
pip install opencv-python
```

2.4.6. Librería PyQt5 Designer

PyQt5 es un conjunto completo de enlaces de *Python* para *Qt* v5. Se implementa alrededor de 35 módulos de extensión y permite que *Python* se utilice como un lenguaje de desarrollo de aplicaciones alternativo a *C++* en todas las plataformas compatibles, incluidas *iOS* y *Android* [44].

Para su instalación se debe escribir en la línea de comando:

```
pip install PyQt5
```

2.4.7. Desarrollo de la interfaz gráfica de usuario.

El desarrollo de la interfaz está basado en el flujograma y además teniendo en cuenta la ergonomía que debe tener el usuario al momento de su ejecución.

2.4.8. Entorno de diseño en “QT Designer”

Con todos los requerimientos instalados se procede a abrir “QT Designer”, donde en primera instancia nos solicita seleccionar el tipo de ventana que usaremos (ver fig.2-2).

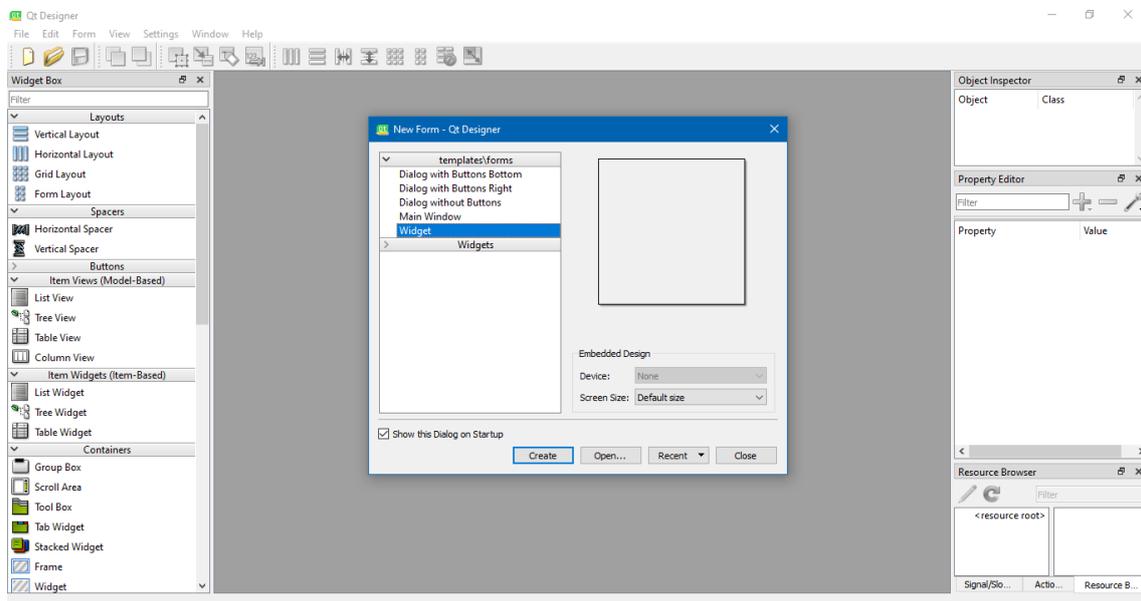


Fig. 2-2 Entorno de diseño QT Designer

En este caso se deja todo por defecto, es decir que usaremos el tipo “Widget”. En cuanto se presione en el botón “crear” se nos desplegará una ventana en blanco (ver recuadro azul de la fig. 2-3) para que se pueda agregar los elementos que se considere necesarios, mismos que como se observa en la fig. 2-3 se encuentran en el recuadro rojo.

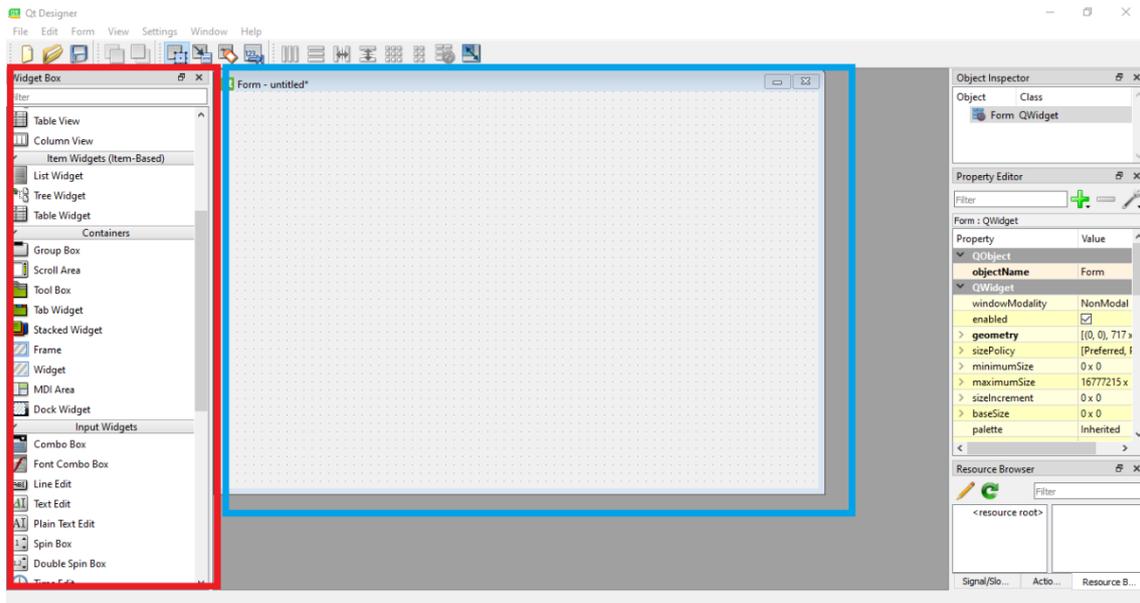


Fig. 2-3 Interfaz en blanco y elementos a agregar

Basado en la estructura del flujo de trabajo (ver fig.2-1) se selecciona el elemento “Tab Widget” y se lo arrastra a la interfaz en blanco (ver fig.2-4).

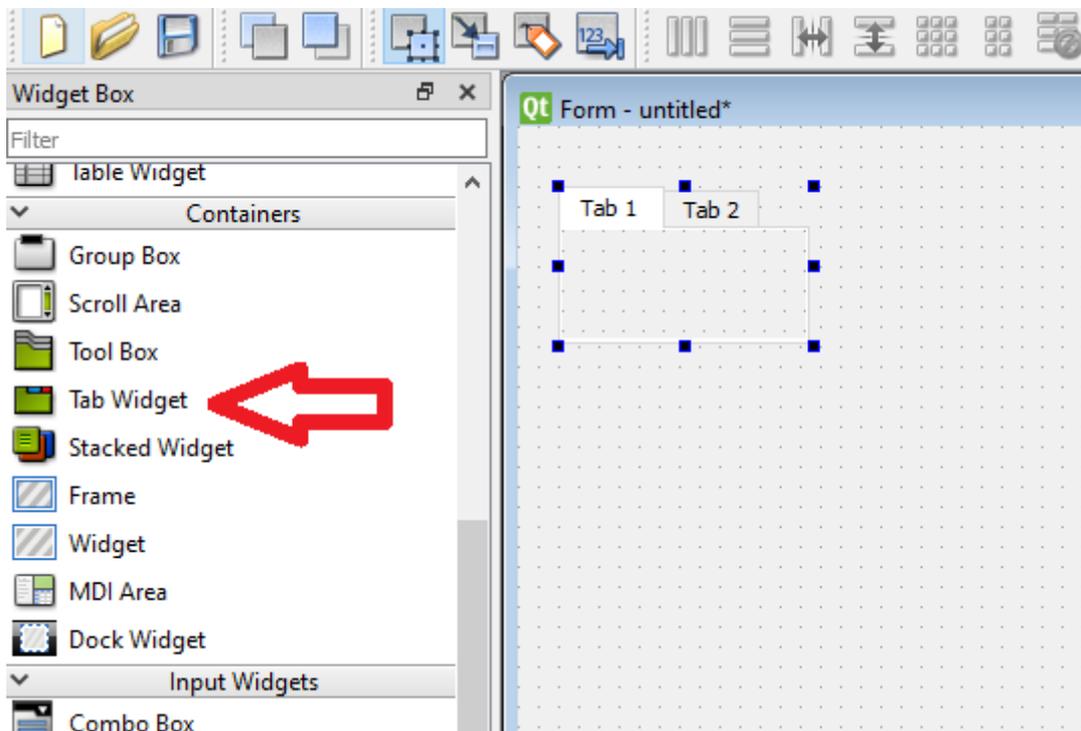


Fig. 2-4 Agregar el elemento Tab Widget

Posteriormente de haber agregado el elemento Tab Widget se lo ajusta a la forma de la interfaz en blanco y se edita el nombre de las pestañas (ver círculo rojo en la fig. 2-5).

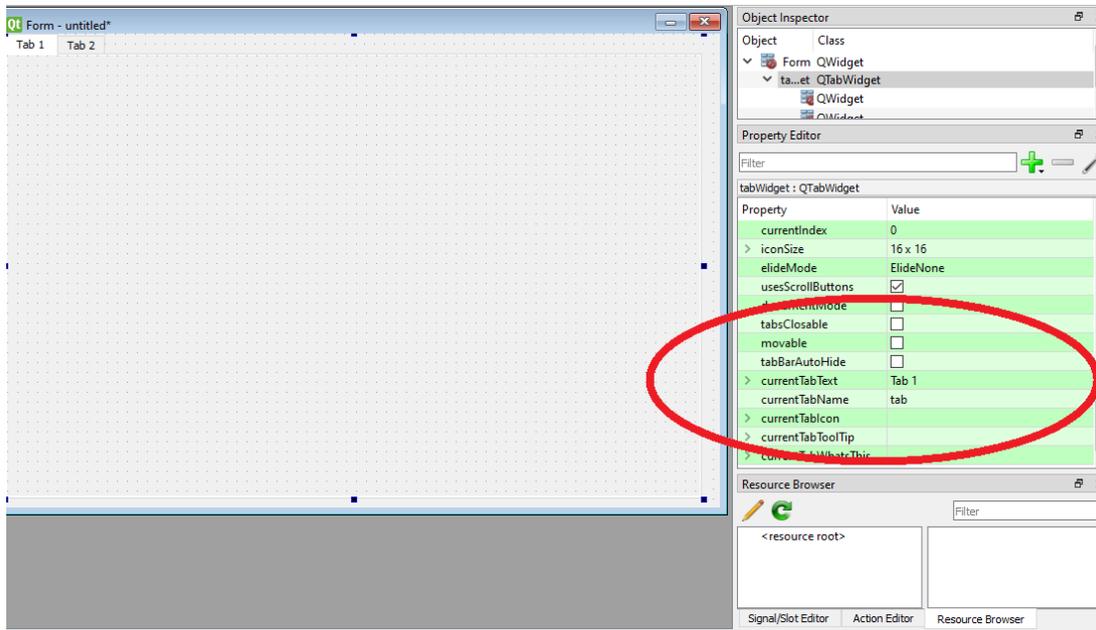


Fig. 2-5 Colocando y editando el Tab Widget

Con los nombres de las pestañas modificados, se necesita agregar dos pestañas más, por lo que se hace clic derecho y se selecciona insertar página después de la página como se aprecia en la fig. 2-6.

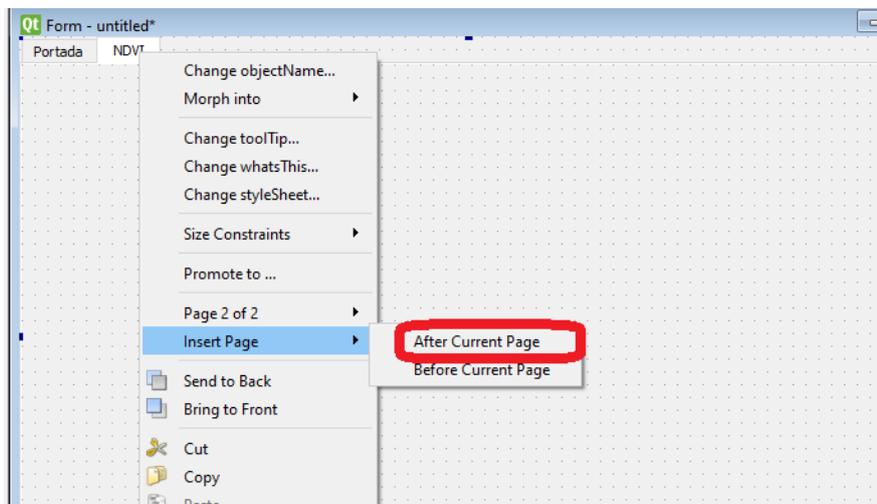


Fig. 2-6 Agregar páginas al Tab Widget

Una vez que ya se ha agregado y renombrado las cuatro pestañas del Tab Widget se procede a agregar un botón en cualquiera de las pestañas y se lo posiciona en la parte inferior derecha (ver recuadro violeta fig.2-7) y se le coloca el texto “Salir”. Ahora bien, con el botón agregado se dirige a la parte superior izquierda (ver recuadro naranja fi.2-7) donde dice “Editar señales”, a continuación, se selecciona el botón y lo suelta, se desplegará una ventana donde se escogerá clicked/close (ver recuadro verde fig.2-7) y se le da en aceptar. De tal manera que ahora ya se tiene un botón que permitirá cerrar la interfaz en cualquier momento, ahora solo se debe copiar y pegar el botón en cada pestaña en la misma posición para mantener la ergonomía de la interfaz. Para comprobar su funcionamiento se presiona CTRL + R y se desplegará la vista previa de la interfaz diseñada.

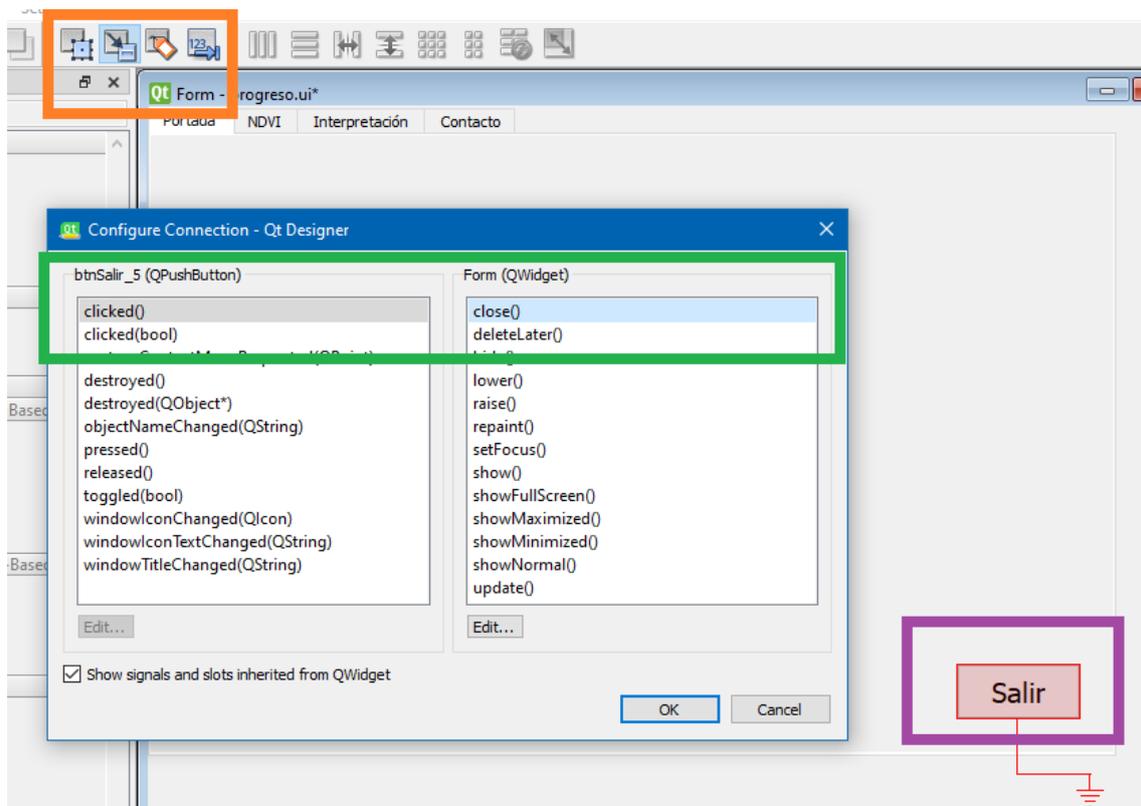


Fig. 2-7 Creando el botón salir

Por otro lado, para agregar texto se debe seleccionar (ver flecha verde fig. 2-8) y arrastrar un “label” a la interfaz (ver recuadro amarillo fig.2-8), y según convenga se modifica el texto que se necesita colocar (ver recuadro rojo fig.2-8).

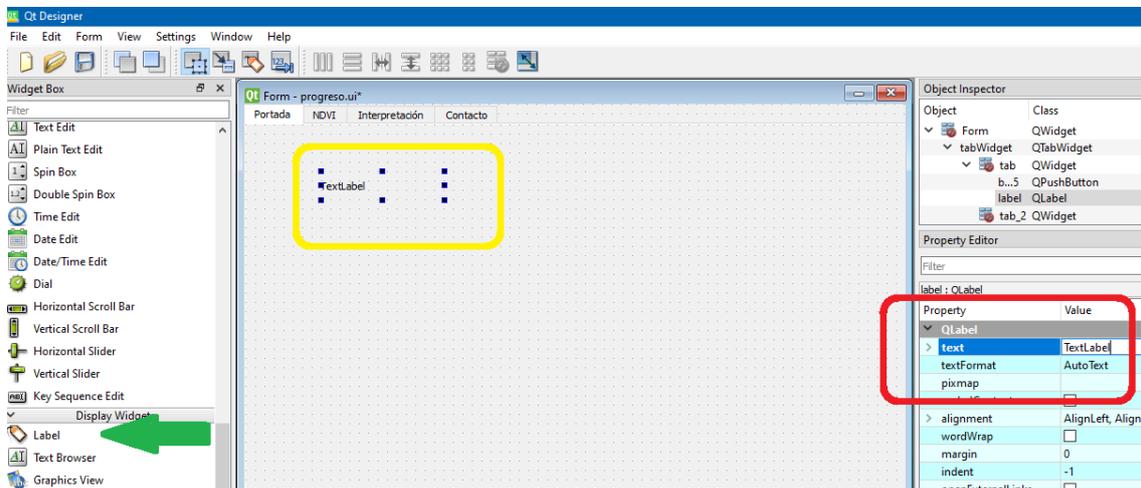


Fig. 2-8 Agregando texto a la interfaz

Con respecto a la inserción de imágenes, de igual manera se selecciona (ver flecha naranja fig.2-9) y arrastra un “label” a la interfaz (ver recuadro violeta fig.2-9), sin embargo, en esta ocasión se busca donde dice “pixmap” y hace clic en seleccionar archivo (ver recuadro amarillo fig.2-9), a continuación, se despliega una ventana para elegir una imagen y presiona aceptar.

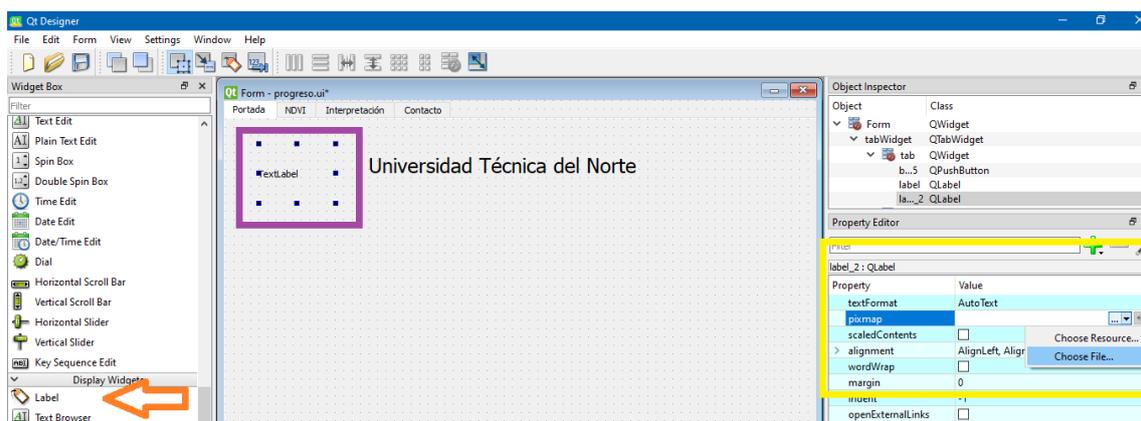


Fig. 2-9 Agregando una imagen a la interfaz

Hay que mencionar que cuando se agrega la imagen se mantendrá el tamaño original (ver parte superior fig. 2-10), para que la imagen agregada tenga la escala del

tamaño del “label” hay que seleccionar la opción de escalar contenido como se aprecia en los recuadros de la fig.2-10.

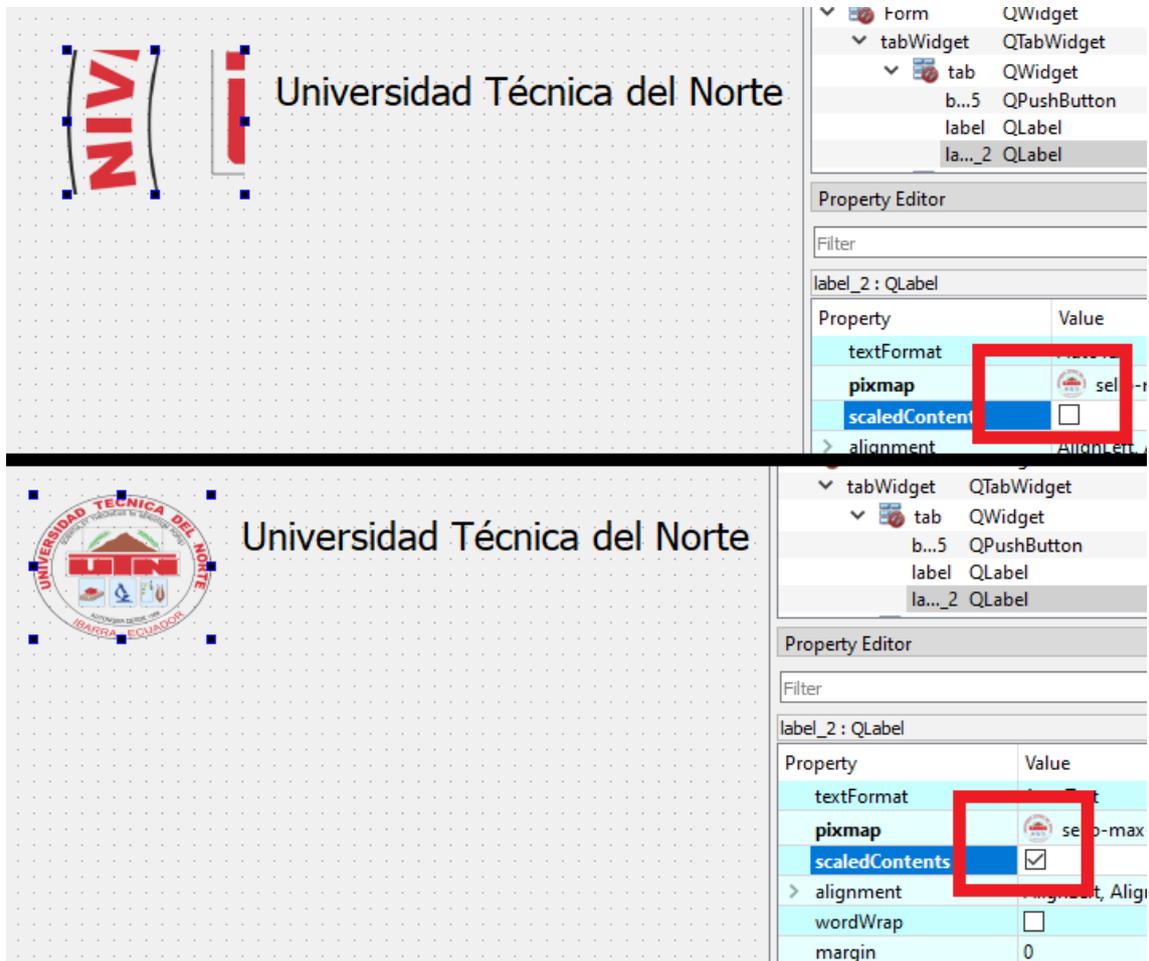


Fig. 2-10 Escalar imagen agregada

2.4.9. Personalización del cursor

Con los elementos agregados a la interfaz ahora se puede personalizar el cursor de forma que cuando se posicione sobre un botón, cambie la forma.

Para lograr lo mencionado con anterioridad se posiciona en cualquier botón y se hace clic izquierdo (ver recuadro verde fig.2-11), a continuación, en la parte derecha hay que ubicar la opción cursor (ver flecha roja fig.2-11).

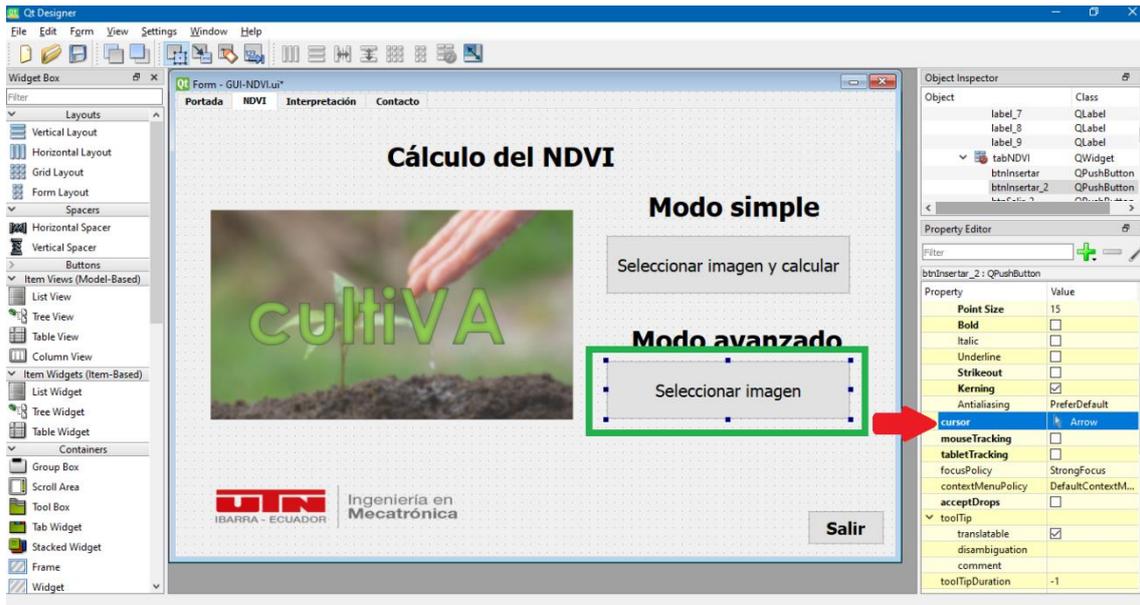


Fig. 2-11 Personalizar cursor (parte 1)

Naturalmente luego de haber ubicado la opción cursor presiona clic izquierdo y se despliega una lista con diferentes tipos de cursor según se crea necesario, sin embargo, en esta ocasión se ha optado por colocar el cursor en forma de mano (ver recuadro rojo fig.2-12) de modo que se entienda que el botón realizará una acción determinada.

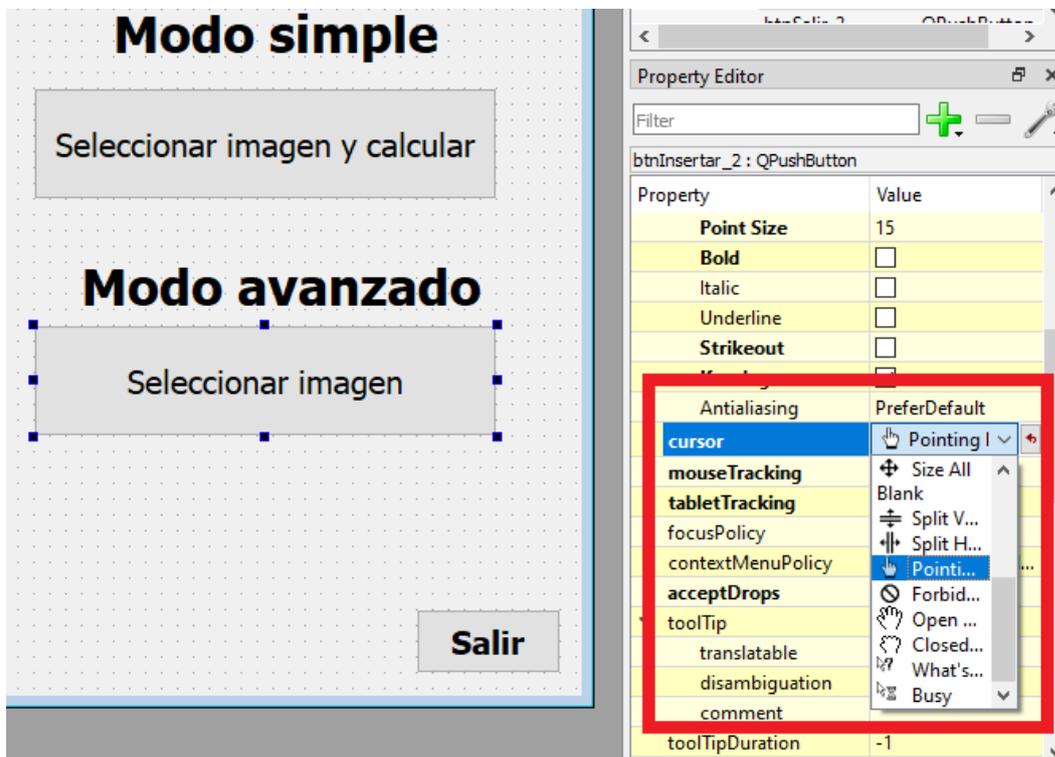


Fig. 2-12 Personalizar cursor (parte 2)

En consecuencia, ahora cada vez que se posicione el cursor sobre el botón, éste cambiará a la forma que se ha establecido con anterioridad haciendo más ergonómica la interfaz gráfica de usuario.

Por último, solo hay que realizar lo mismo para cada uno de los elementos de tipo botón que se han agregado a la interfaz gráfica de usuario.

2.4.10. Programación de la interfaz

Habiendo agregado los elementos a la interfaz según como se crea conveniente, hay que dirigirse a Visual Studio Code en la línea de comandos y digitar lo siguiente:

```
pyuic5 -x Nombre_interfaz.ui -o Nombre_programa.py
```

donde:

- Nombre_interfaz.ui es el nombre de la interfaz creada en *QT Designer*.
- Nombreprograma.py es el nombre del archivo *python* que se va a crear para programar.

Finalmente, ahora ya se puede realizar la programación para el cálculo del NDVI con el archivo editable de *python* que se ha creado a partir de la interfaz diseñada en *QT Designer*.

Para programar las funciones de los botones agregados hay que revisar el nombre del botón en *QT Designer* haciendo clic izquierdo en el botón y revisando el nombre que tiene como se aprecia en el recuadro rojo de la fig.2-13, así mismo si se desea cambiar el nombre que se coloca por defecto hay que modificarlo en la parte del recuadro azul en la fig.2-13.

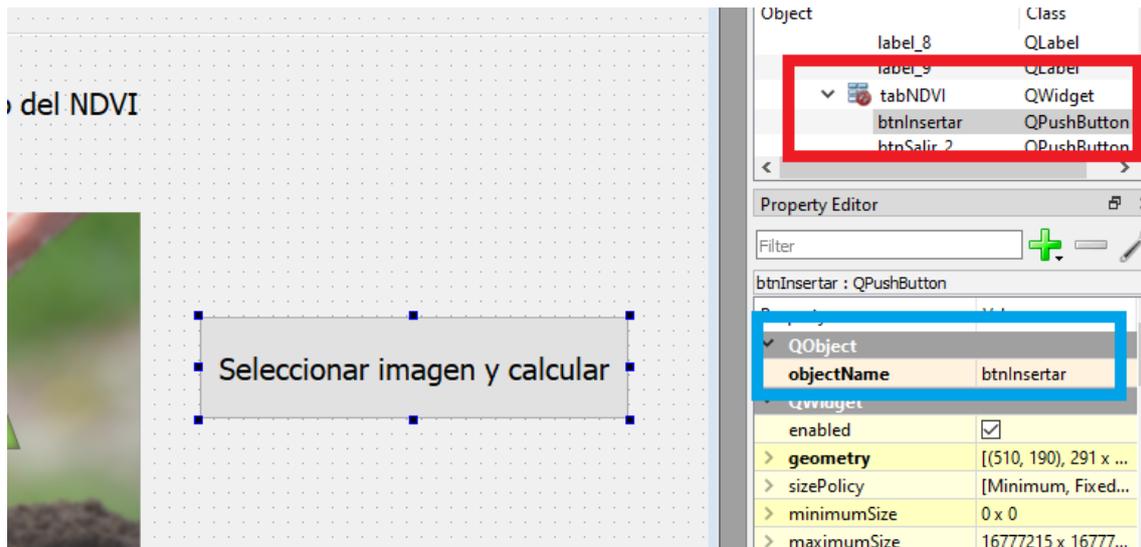


Fig. 2-13 Funciones a botones

Naturalmente para mantener un orden se han renombrado todos los elementos que se han agregado a la interfaz manejando siglas, es decir, por ejemplo, para cada botón se le ha colocado como nombre las siglas “btn” + la función que realiza, en consecuencia, cuando se realizó la conversión de formato *UI* a *PY* se pueden identificar los elementos y asignar funciones programables.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados y pruebas que se realizaron para verificar el correcto funcionamiento de todos los elementos de la interfaz gráfica de usuario.

3.1. Resultados

En consecuencia, al haber culminado con el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario, se obtuvo como resultado una propuesta de para el cálculo del NDVI, a continuación, se describe el contenido de la GUI desarrollada.

3.1.1. Descripción general de la GUI

La interfaz gráfica de usuario permite calcular el NDVI de una imagen captura por Dron ya sea en formato JPG, TIFF o PNG.

El NDVI calculado se aprecia en una figura donde según una escala de 1 a -1 se identifican las anomalías, partes deshidratadas y partes hidratadas del cultivo del terreno.

3.1.2. Diseño de la interfaz gráfica de usuario.

En relación con el diseño realizado de la interfaz gráfica de usuario, siguiendo con lo mencionado previamente en el epígrafe 2.4.8 se obtuvieron las cuatro pestañas de la interfaz para su correcta ejecución y ergonomía con el usuario.

A continuación, desde la figura 3-1 a 3-4 se presentan las cuatro pestañas resultantes del diseño realizado en QT Designer y programación de elementos de la interfaz mediante la IDE Visual Studio Code.

3.1.2



Fig. 3-1 Diseño pestaña Portada

En la figura 3-1 se presenta la interfaz gráfica de usuario en la pestaña de “portada” en la que se identifica la procedencia de la misma, es decir, se visualiza en texto y logos la institución universitaria, la facultad, como también la carrera universitaria. Así mismo se presenta el título del trabajo de investigación de donde procede la interfaz gráfica de usuario. Al mismo tiempo se presenta el autor, tutor y cotutores del trabajo de investigación. Finalmente, en la parte inferior izquierda se visualiza el botón funcional para salir de la interfaz gráfica de usuario.



Fig. 3-2 Diseño pestaña NDVI

Posteriormente en la figura 3-2 se visualiza la interfaz gráfica de usuario ubicada en la pestaña “NDVI”, misma en la que se podrá realizar el cálculo del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) por dos métodos según sea necesario.

En primera instancia se cuenta con el “Modo simple” donde el usuario presionará el botón y se le desplegará una ventana auxiliar para seleccionar una imagen superficial del cultivo de un terreno capturada por UAV en formato JPG, PNG o DNG y seguidamente se calculará el NDVI de toda la imagen seleccionada previamente.

En segunda instancia se cuenta con el “Modo avanzado” donde el usuario presionará el botón y se le desplegará una ventana auxiliar para seleccionar una imagen como en el anterior modo descrito previamente, sin embargo, cuando se seleccione la imagen ésta se abrirá para que el usuario pueda seleccionar de forma poligonal un área de interés (ROI) específica para el cálculo del NDVI, cuando el usuario defina el ROI

mediante teclado presionamos “enter” y se calculará automáticamente el NDVI del ROI definido.

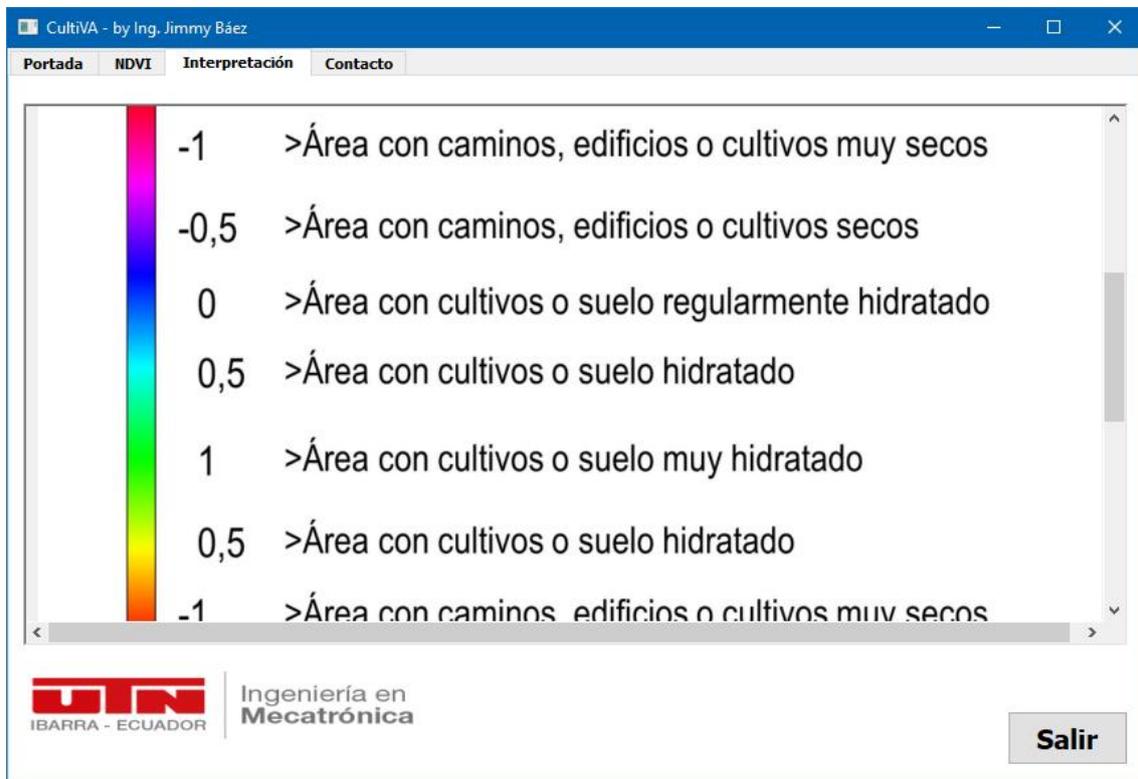


Fig. 3-3 Diseño pestaña Interpretación

El usuario al haber calculado el NDVI ya sea por el “modo simple” o el “modo avanzado” podrá visualizar en una sola “figura” -entiéndase por figura a una gráfica que se visualiza por computador- la imagen original, la imagen calculada el NDVI y una escala de color entre 1 y -1 que, como se describió en el epígrafe 1.9 el NDVI está en ese rango.

Para usuarios que estén relacionados con el funcionamiento y definición del NDVI podrán interpretar fácilmente estos datos, sin embargo, para mantener una ergonomía universal de la interfaz gráfica de usuario se ha visto la necesidad que para los usuarios que no estén familiarizados con el NDVI colocar una pestaña en donde se explique brevemente su significado y la escala de color del cálculo del mismo. (ver la fig. 3-3)



Fig. 3-4 Diseño pestaña Contacto

En último término tenemos a la pestaña “contacto” como se evidencia en la figura 3-4, en la cual el usuario podrá tener acceso a información para contactar con el autor de la interfaz gráfica de usuario sino también podrá escanear un código QR que lo enviará a la ubicación donde se almacena el manual de usuario en caso de requerirlo.

3.2.Pruebas

Con el diseño y desarrollo de la interfaz gráfica de usuario culminada, se la puso en funcionamiento para comprobar que cada elemento realice la acción para la cual fue programada como se indica a continuación.

3.2.1. Modo simple

Inicialmente en la interfaz gráfica de usuario contamos con éste “modo” para el cálculo del NDVI de una imagen superficial de un terreno capturada por UAV, tal como

se mencionaba en el epígrafe 3.1.2. El usuario seleccionará una imagen y automáticamente se visualizará el cálculo del NDVI de la imagen en cuestión.

En la programación de éste “modo” se definió la metodología y librerías de programación para el cálculo del NDVI.

En primera instancia se seleccionó una imagen capturada por el UAV (ver figura 3-5) para empezar a realizar las pruebas y se identificó que la imagen capturada por el UAV era muy “grande” para visualizarla en toda pantalla (ver fig.3-6).



Fig. 3-5 JPG capturada por el UAV



Fig. 3-6 Figura seleccionada no visualizada por completo

Por lo que se realizó un escalado a la imagen como se aprecia en la figura 3-7 de tal manera que se logró visualizarla en la pantalla para su posterior procesamiento.

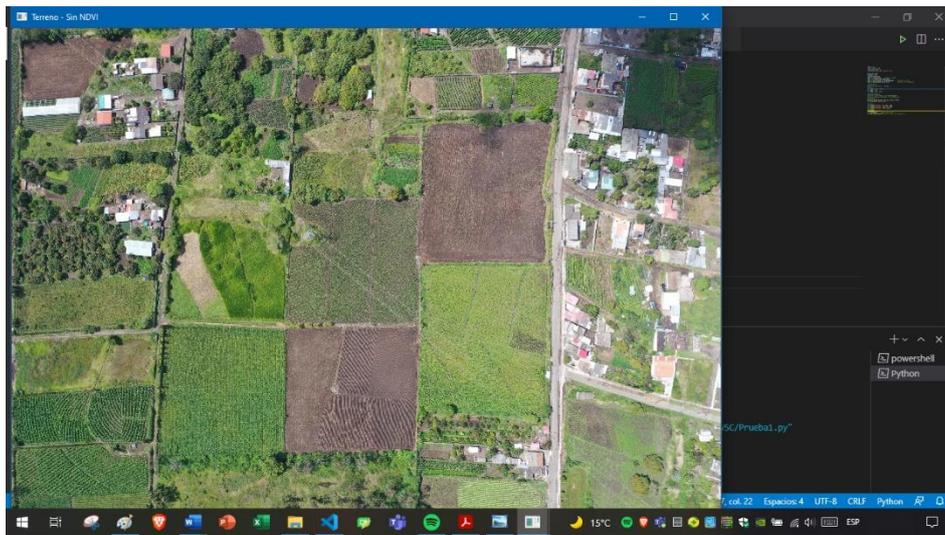


Fig. 3-7 Figura escalada

Con la imagen escalada se procedió a programar el cálculo del NDVI, sin embargo, tal como se evidencia en la figura 3-8 el programa permitía visualizar la imagen calculada el NDVI en escala de grises.



Fig. 3-8 Figura calculada el NDVI en escala de grises

Para que la interfaz mantenga su ergonomía y el usuario pueda identificar el NDVI visualmente de otra manera que no sea en escala de grises se procedió a aplicar una asignación de colores a los pixeles de la figura que en la librería “*matplotlib*” se conoce como “*colormap*” (ver fig. 3-9).

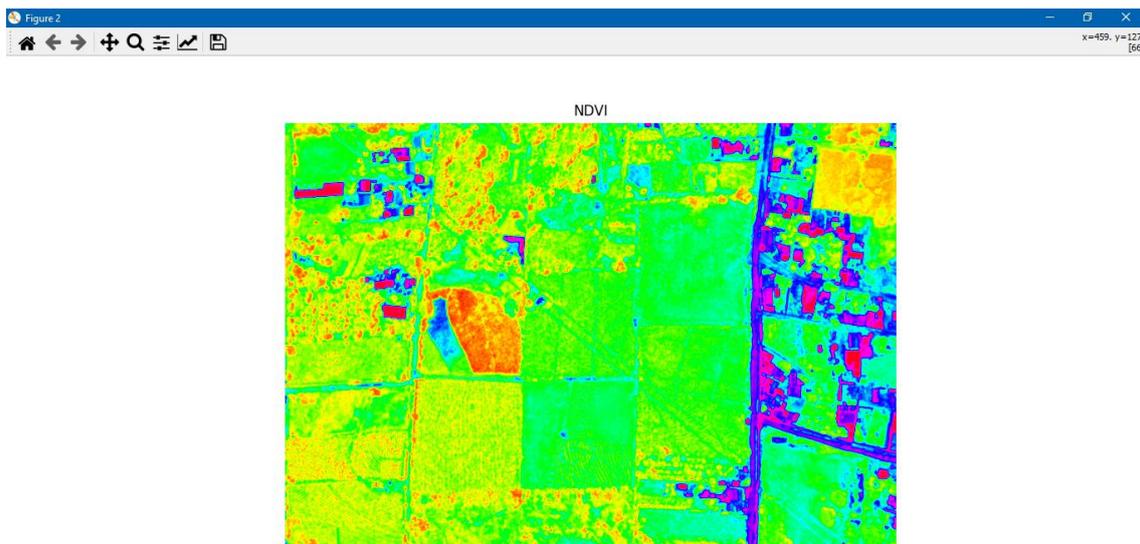


Fig. 3-9 Figura calculada el NDVI con colormap

Ahora bien, con el colormap aplicado a la figura a la cual se le calcula el NDVI, se definió que en una sola gráfica se visualice la figura original y la figura con el NDVI calculado, para poder identificar las anomalías no perceptibles en la imagen original.

Esta decisión se la tomó para el confort del usuario, pues hasta el momento se visualizaba la figura original y la figura calculada el NDVI en “ventanas” separadas.

A partir de esta decisión, tal como se aprecia en la figura 3-10 ya se pudo visualizar e identificar las áreas críticas o con anomalías de los cultivos, sin embargo, se presentó la necesidad de un elemento que permitiera identificar estas áreas críticas por lo que se agregó una escala de color que ronda entre valores de -1 a 1 tal como se describió en el epígrafe 1.9 para identificar el NDVI de los cultivos (ver figura 3-11)

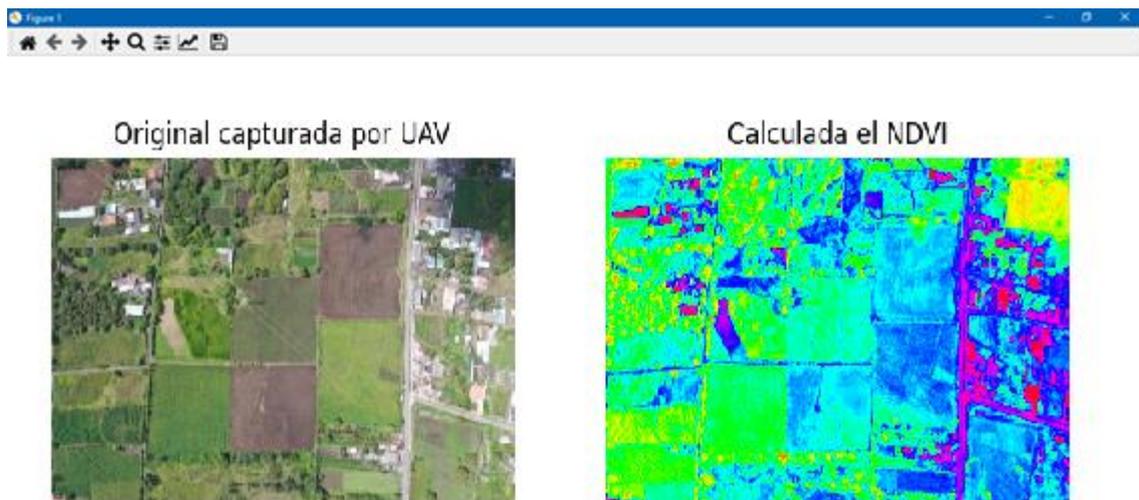


Fig. 3-10 Figura original y figura calculada el NDVI en una sola

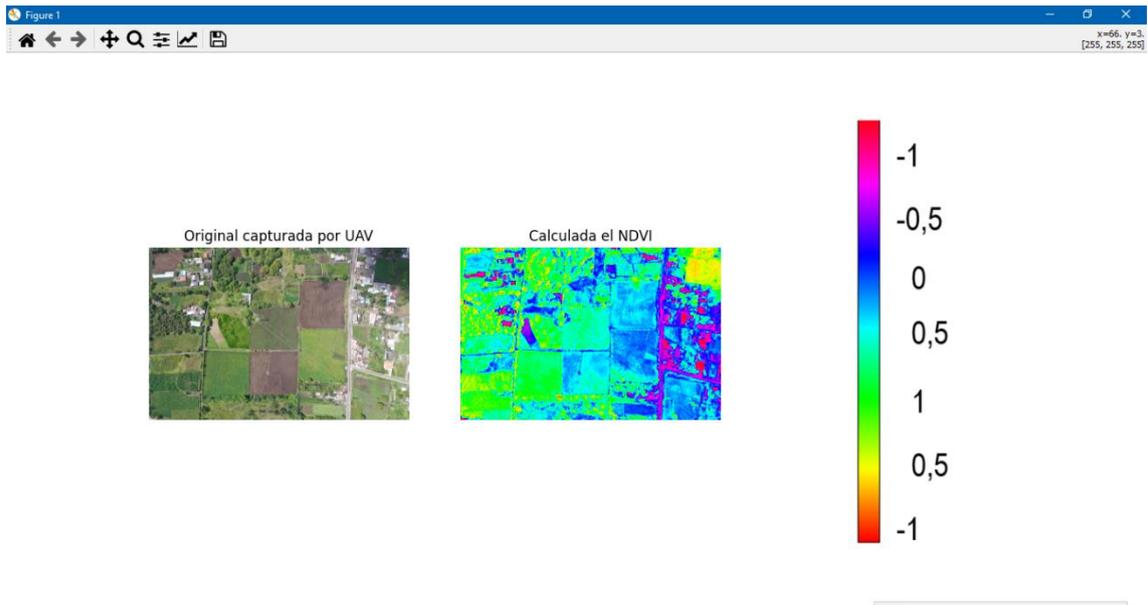


Fig. 3-11 Figura original y figura calculada el NDVI con escala de color

Con el desarrollo y obtención del NDVI con su respectiva escala de color definida se concluyó la programación del “modo simple” y se tiene las bases para proceder a la programación del “modo avanzado”.

3.2.2. Modo avanzado

Teniendo en cuenta que en el “modo simple” se corrigieron y establecieron las técnicas para el cálculo del NDVI de la imagen superficial de un terreno seleccionada por el usuario se agregó este modo para que además de seleccionar la imagen, el usuario pueda seleccionar un área de interés también conocida como región de interés (ROI por sus siglas en inglés) para el cálculo del NDVI únicamente de esta área en específico y no de toda la imagen.

En primera instancia se optó por realizarlo mediante la detección de bordes sin embargo por la irregularidad de los terrenos este método no fue tan favorable, por lo que finalmente se seleccionó el método de región de interés (ROI por sus siglas en inglés).

La ROI como su nombre lo indica consiste en seleccionar únicamente el área o región que interesa y despreciar todo el contenido externo a esta área.

Se siguió con el procedimiento del “modo simple” hasta el paso de selección de la imagen, pues a partir de este paso ahora se abre la imagen seleccionada para que el usuario a su criterio defina el área o región que le interesa calcular el NDVI como se evidencia en la figura 3-12.



Fig. 3-12 Selección de la ROI por el usuario

Cuando el usuario a su criterio seleccione la ROI el sistema estará esperando una entrada por teclado que se evidencia por consola (ver figura 3-13) donde si el usuario está seguro de su decisión deberá presionar la tecla “enter” para proceder al cálculo del NDVI de la ROI seleccionada, caso contrario deberá presionar la tecla “c” para cancelar la selección de la ROI.

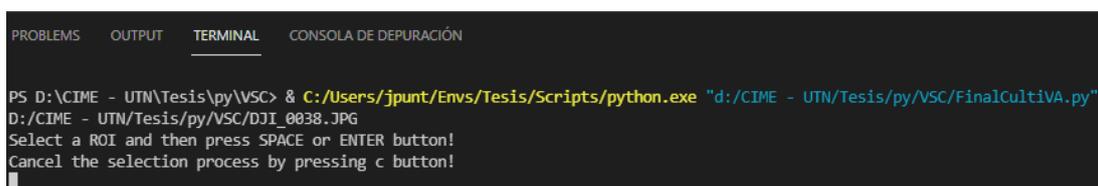


Fig. 3-13 Entrada por teclado para la definición de la ROI por el usuario

Con la ROI seleccionada y definida por el usuario de la misma manera que con el “modo simple” se presentará en una sola gráfica el área de interés seleccionada y el área de interés calculada el NDVI con la escala de color para identificar anomalías en dicha área (ver figura 3-14).

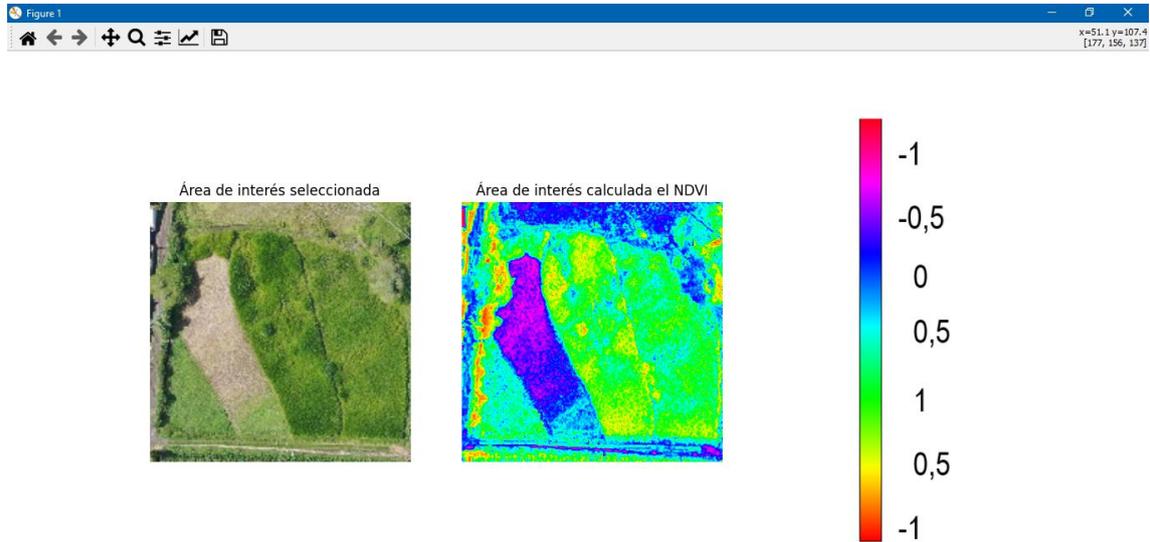


Fig. 3-14 ROI original y ROI calculada el NDVI con escala de color

En caso de que el usuario desee realizar el cálculo del NDVI de otra ROI, en la parte inferior del modo avanzado contamos con un botón (ver fig. 3-2) el cual elimina la ROI definida previamente, por lo que ahora el usuario podrá nuevamente volver a elegir una nueva ROI y seguir con el procedimiento descrito previamente.

El resultado de las pruebas realizadas al “modo avanzado” como al “modo simple” permitieron corregir y concluir tanto la programación como el desarrollo del cálculo del NDVI de la imagen superficial del cultivo de un terreno capturada por UAV seleccionada por el usuario.

3.3. Análisis de resultados

Con la corrección de errores se concluyó la programación de la interfaz gráfica de usuario. En principio lo que sigue es realizar el análisis del cálculo del NDVI para asegurar su correcto desempeño con diferentes imágenes de terrenos y cultivos.

3.3.1. Imágenes con presencia de edificaciones

Para el análisis de imágenes que tienen presencia de edificaciones usaremos el “modo simple”. En primera instancia usaremos la figura 3-15 pues cuenta con una mayor afluencia de edificaciones que cultivos.



Fig. 3-15 Figura con edificaciones

Una vez que se ha seleccionado la figura 3-15 en la interfaz gráfica de usuario obtenemos el cálculo del NDVI de la misma como se evidencia en la figura 3-16, donde entre otras cosas que constan en la “pestaña de interpretación” (ver fig. 3-3) las

edificaciones se las identifican y diferencia de los cultivos por la tonalidad del color púrpura o rojo intenso.

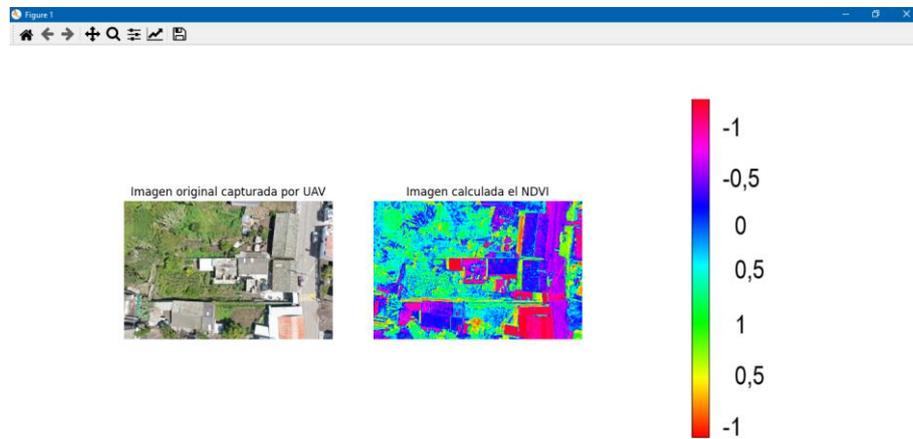


Fig. 3-16 NDVI calculado a la figura 3-15

3.3.2. Imágenes que cuentan netamente con cultivos

Para el análisis de imágenes que cuentan netamente con cultivos podemos usar el “modo avanzado” para seleccionar un área que tenga este requisito, sin embargo, en esta ocasión se empezó con el “modo simple” y se seleccionó la figura 3-17 que en su mayoría hay presencia de cultivo.



Fig. 3-17 Figura con cultivos para el modo simple

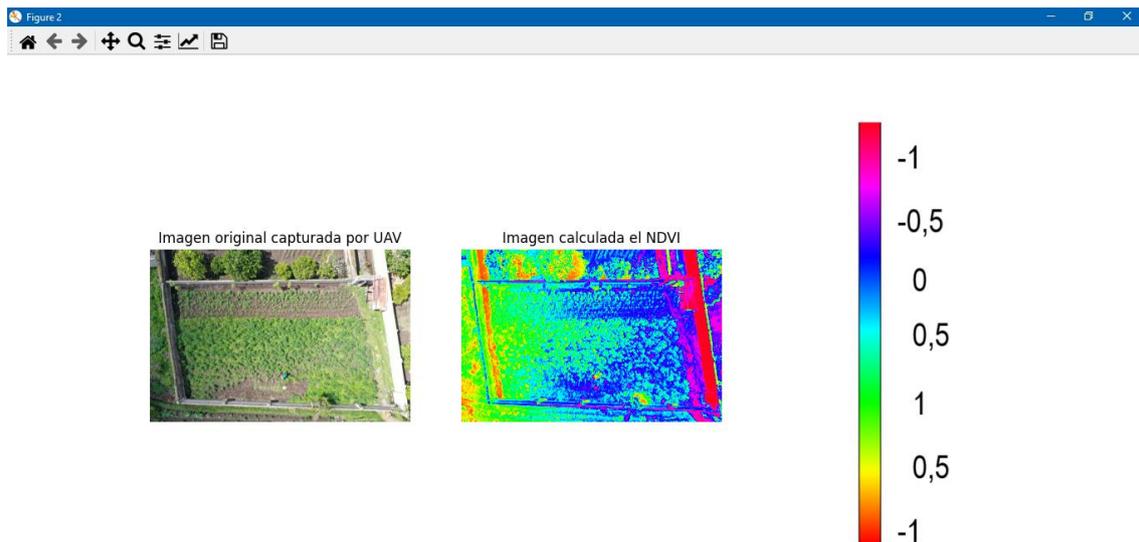


Fig. 3-18 NDVI calculado a la figura 3-17

Con el “modo simple” tal como se evidencia en la figura 3-18 se verificó las áreas más hidratadas del cultivo.

Para realizar un análisis más profundo a un área que netamente contenga la afluencia de cultivos se usó el “modo avanzado” con la figura 3-19 como base. De esta figura se seleccionó el área de un cultivo (ver figura 3-20) para se realice el cálculo del NDVI únicamente de esta área (ver figura 3-21). Finalmente, la interfaz nos devuelve como resultado el NDVI (ver figura 3-21) donde tal como se evidencia en la figura 3-22 el NDVI del área seleccionada varía entre 0,5 y 1 por lo que en definitiva se confirma que esta área se mantiene en buen estado de crecimiento.



Fig. 3-19 Figura con afluencia de cultivos



Fig. 3-20 Selección de la ROI con mayor afluencia de cultivos

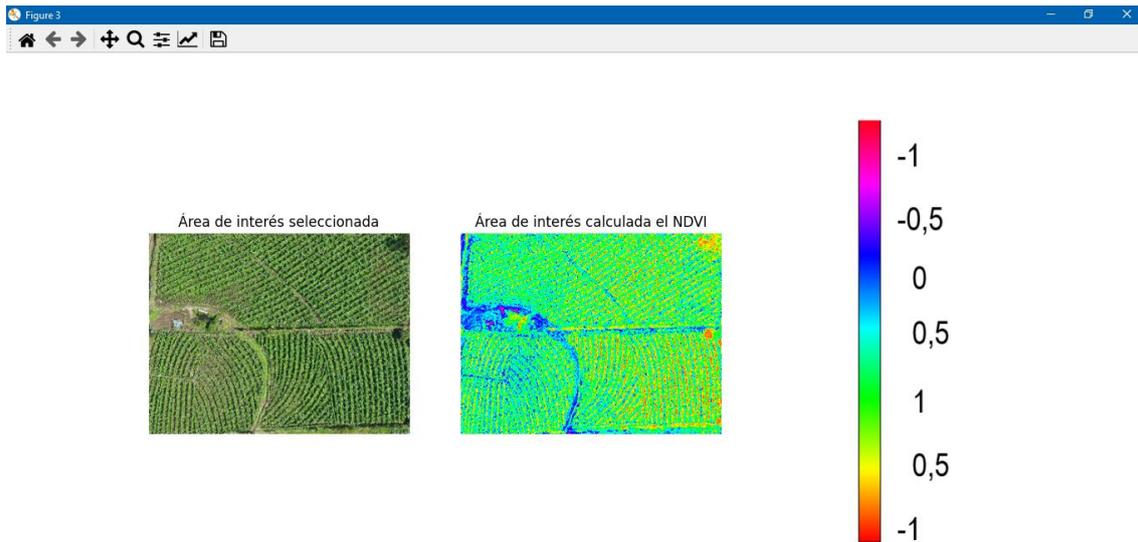


Fig. 3-21 NDVI calculado a la ROI seleccionada en la figura 3-20



Fig. 3-22 Área de interés de la figura 3-21 calculada el NDVI

3.3.3. Imágenes de terrenos que no cuentan con cultivos o están retoñando

Siguiendo con el procesamiento de imágenes se tiene en cuenta los casos en donde el terreno no cuenta con cultivos o éstos se encuentren retoñando.

Primeramente, tal como se aprecia en la figura 3-23 se analizó el caso en donde no se cuenta con cultivos con el “modo avanzado”.



Fig. 3-23 Terreno que no cuenta con cultivos

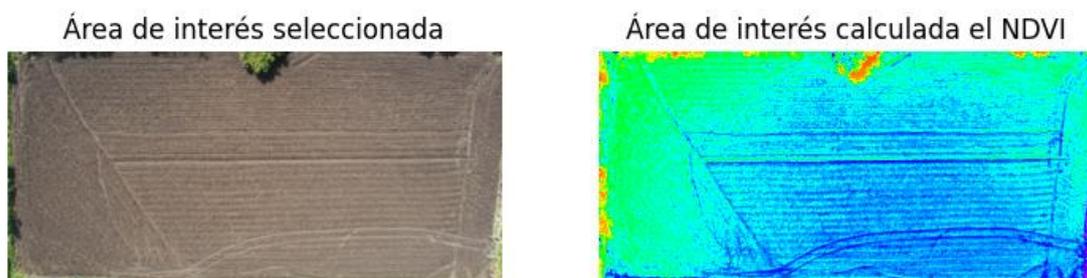


Fig. 3-24 NDVI calculado a la ROI de la figura 3-23

Una vez seleccionada la ROI como se aprecia en la parte izquierda de la figura 3-14 se calcula el NDVI, dando como resultado mayoritario valores entre 0 y 0,5, por lo que se pudo definir que el terreno mantiene una hidratación regular a pesar de no contar con cultivos sembrados.

En segundo lugar, se analizó el caso en donde contamos con un terreno que su cultivo está retoñando y aún no puede dar frutos (ver figura3-25), para este análisis se empleó el “modo avanzado”.



Fig. 3-25 Terreno que su cultivo está retoñando

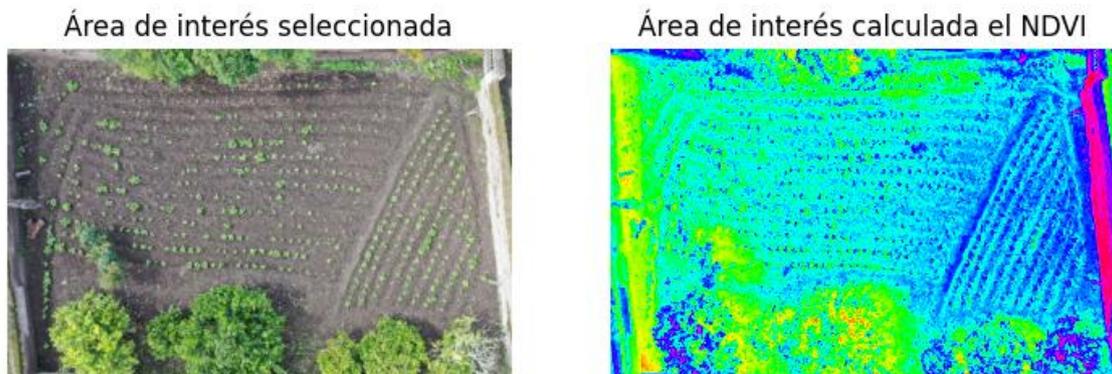


Fig. 3-26 NDVI calculado a la ROI de la figura 3-25

Con la ROI seleccionada como se observa en la parte izquierda de la figura 3-26 la interfaz nos devuelve el cálculo del NDVI de dicha área, donde se pudo verificar que el terreno está hidratado y que los brotes del cultivo se mantienen con un NDVI entre 0,5 y 1 por lo que aseguramos que se mantienen en un buen crecimiento.

A continuación, se analizó la figura 3-27 pues ésta cuenta con los dos casos, es decir que tiene un área sin cultivos y otra con cultivos retoñando.



Fig. 3-27 Terreno que cuenta con los dos casos analizados previamente

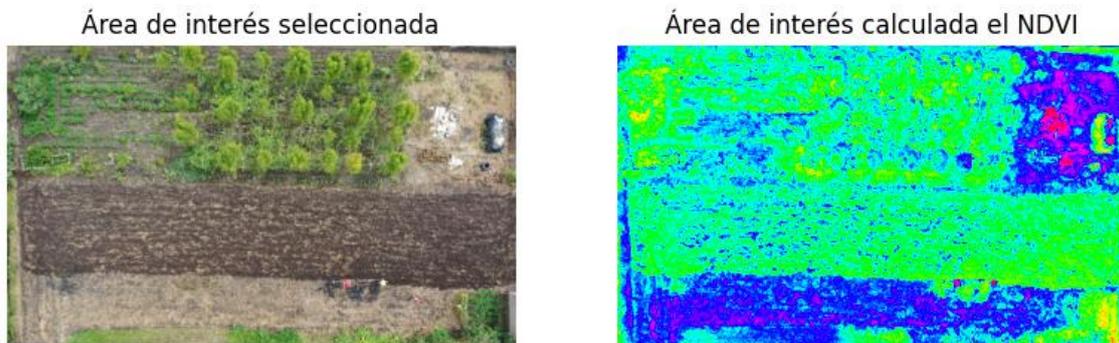


Fig. 3-28 NDVI calculada a la ROI de la figura 3-27

La ROI seleccionada como se evidencia en la parte izquierda de la figura 3-28 contiene áreas con cultivos retoñando donde su NDVI varía entre 0,5 y 1 por lo que significa que se mantienen en buen estado de crecimiento, además se cuenta con áreas donde el terreno acaba de ser regado y de igual manera se tuvo valores del NDVI entre 0,5 y 1 por lo que se verifica un riego adecuado, a su vez también se cuenta con áreas donde no hay cultivos y no se ha regado por lo que se tuvo un NDVI bajo que ronda entre -1 y -0,5.

3.3.4. Imágenes que cuentan con sombra de nubes

Al no tener un ambiente y condiciones ideales siempre se contará con algún tipo de error en la adquisición de imágenes, uno de los inconvenientes al capturar imágenes con UAV, es que se tiene presencia de nubes, mismas que con la presencia del sol proyectan una sombra, por lo que se tomó en cuenta este error para analizar cómo afecta al cálculo del NDVI.

Para analizar la afectación de la presencia de nubes en el cálculo del NDVI se seleccionó la figura 3-29 misma que en su parte inferior derecha cuenta con presencia de nubes.



Fig. 3-29 Imagen con presencia de nubes

Se usó el “modo simple” de la interfaz gráfica de usuario para el análisis de la figura 3-29 y como resultado se pudo definir que las sombras de las nubes nos dan un falso NDVI, es decir que tal como evidencia en la figura 3-30 el NDVI en la parte inferior derecha donde se encuentran las sombras nos da como resultado un NDVI de 1.

Imagen original capturada por UAV



Imagen calculada el NDVI

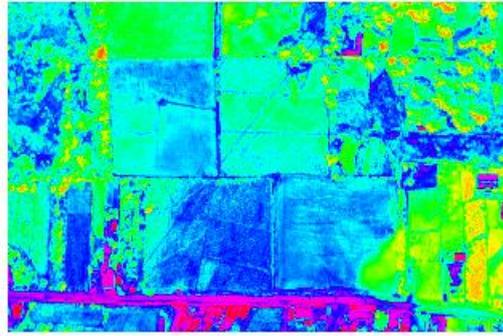


Fig. 3-30 NDVI calculado a la figura 3-29

Para verificar la hipótesis definida previamente con la figura 3-30 se analizó la figura 3-31, en la que en su parte superior izquierda cuenta con presencia de sombras de nube.



Fig. 3-31 Imagen con presencia de nubes

Finalmente, con el cálculo del NDVI a la figura 3-31 podemos comprobar que las sombras de las nubes afectarán al cálculo del NDVI de manera directa, como si el área donde se proyecta esta sombra estuviese más hidratada de lo que está en realidad, tal

como se evidencia en la figura 3-32 donde tenemos un falso NDVI en la parte de las sombras.

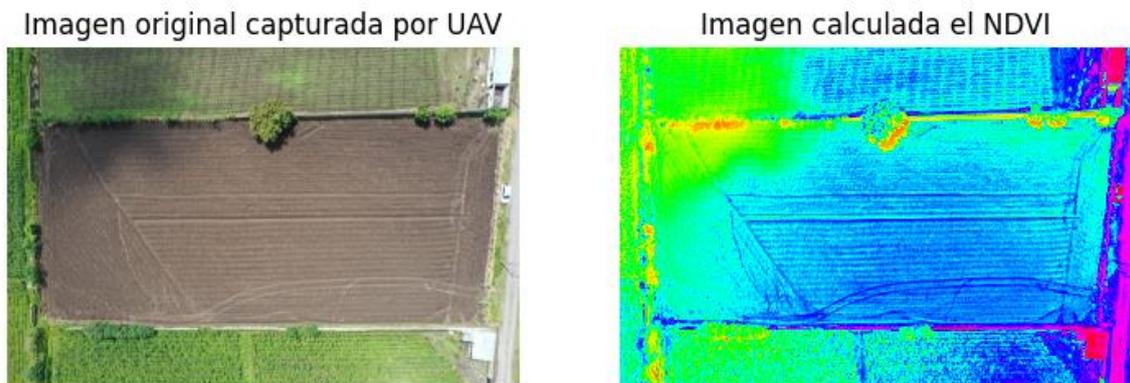


Fig. 3-32 NDVI calculado a la figura 3-31

3.3.5. Comparación de la GUI con la plataforma Auravant®

Para terminar la fase de pruebas y análisis de resultados se comparó el funcionamiento de la interfaz de gráfica de usuario desarrollada con la plataforma Auravant®.

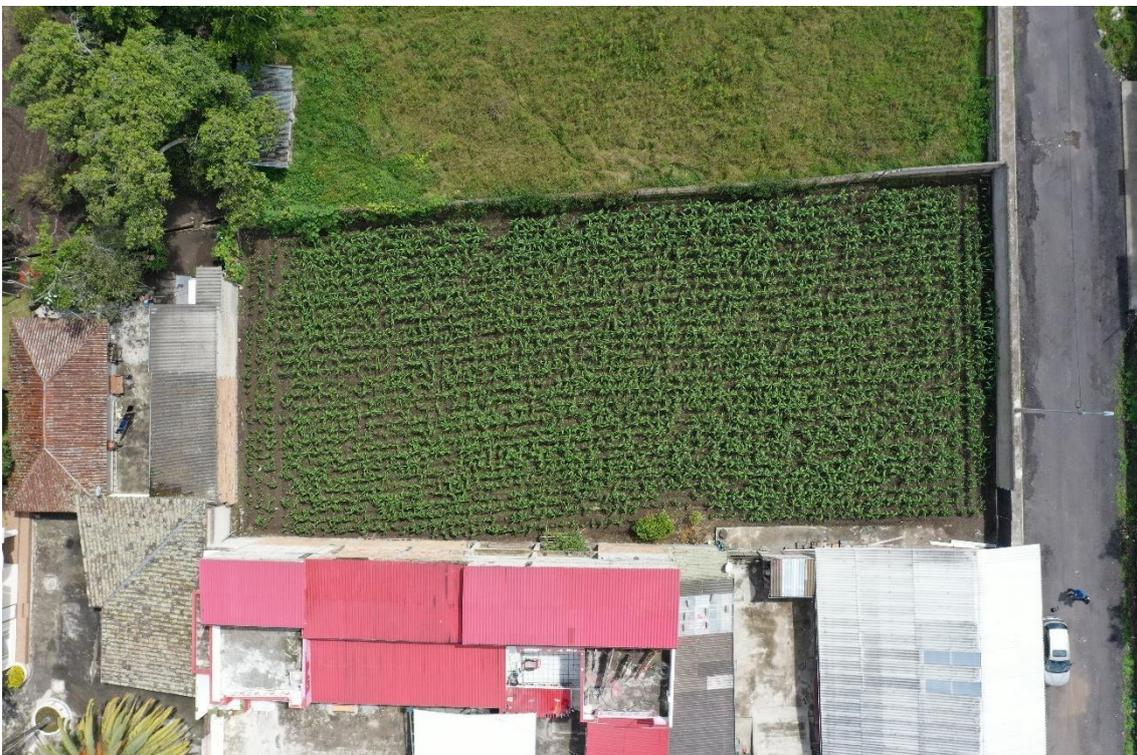


Fig. 3-33 Imagen capturada con UAV del cultivo a comparar

En primera instancia de la misma manera como se ha realizado previamente se seleccionó la figura 3-33 donde se cuenta con el cultivo de un terreno, y se procede a realizar el cálculo del NDVI.

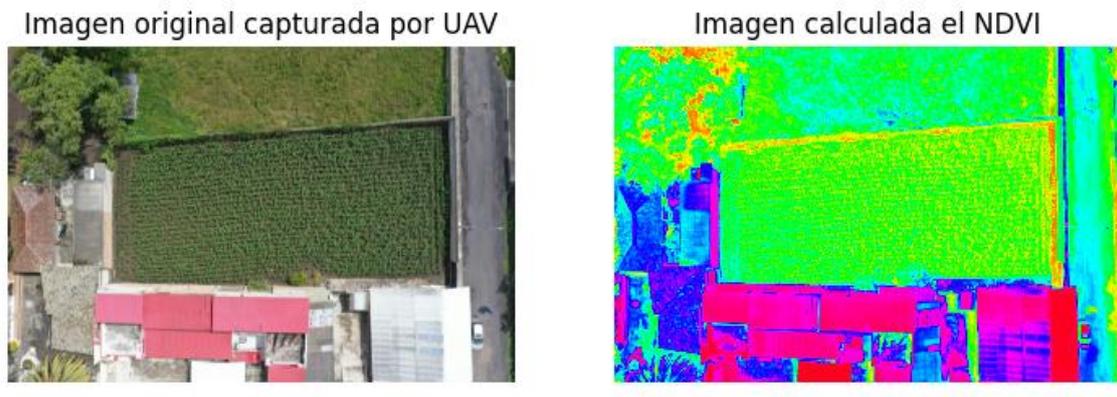


Fig. 3-34 NDVI calculado a la figura 3-33

Con el cálculo del NDVI de la figura 3-33, como se evidencia en la figura 3-34 se ha usado el “modo simple” de la interfaz de usuario desarrollada y se diferencian las zonas que contienen cultivo como también las zonas sin cultivo (edificaciones o caminos) y se tiene un NDVI de los cultivos entre 0,5 y 1 por lo que se dedujo que el cultivo se mantiene en un buen estado de crecimiento.

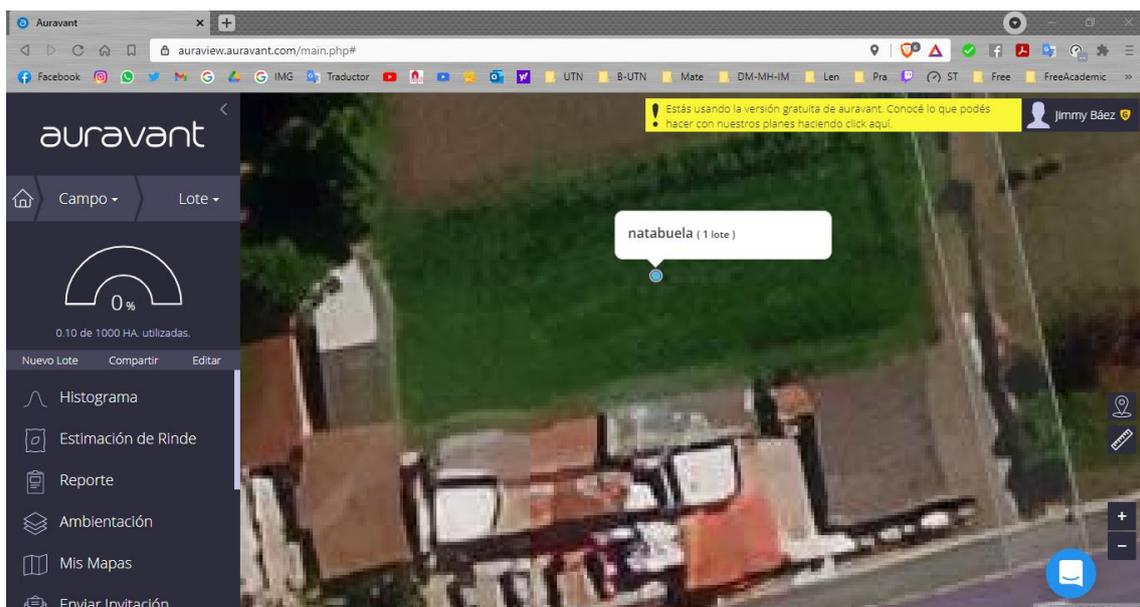


Fig. 3-35 Imagen satelital del área a comparar desde la plataforma Auravant® [45]

En la figura 3-35 se observa la captura de pantalla de la plataforma Auravant® donde al ser de pago tiene funcionalidades limitadas, sin embargo, se logró seleccionar el área del terreno que previamente se le calculó el NDVI (ver figura 3-33).

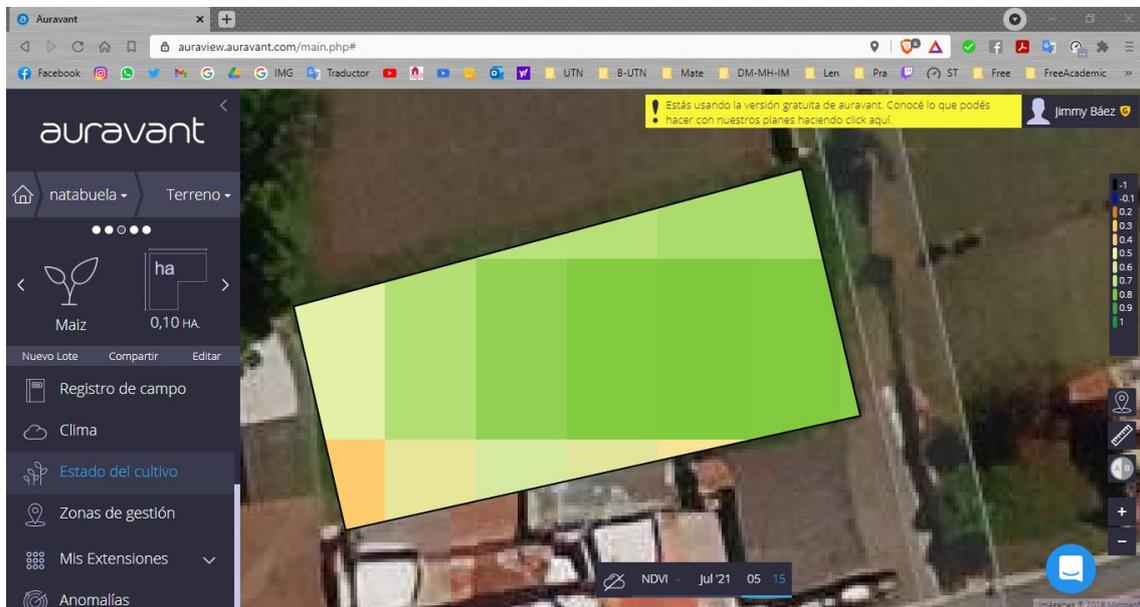


Fig. 3-36 NDVI calculado desde la plataforma Auravant® [45]

La plataforma mencionada utiliza imágenes adquiridas por satélite por lo que mantienen una calidad de imagen regular, al realizar el cálculo del NDVI del cultivo del terreno la figura 3-35 muestra el NDVI de igual manera que la GUI con una escala de color, sin embargo, al tener una calidad de imagen regular el resultado mostrado es pixelado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se describen las conclusiones a las que se llegaron a partir del desarrollo de esa interfaz gráfica de usuario para obtener el NDVI de un terreno.

Conclusiones

- Se seleccionó el software, IDE de programación y sus respectivas librerías para que la interfaz gráfica de usuario desarrollada sea de software libre y así se obtuvo la técnica de visión más adecuada para el procesamiento de imágenes superficiales del cultivo de un terreno.
- La interfaz gráfica de usuario desarrollada en el presente trabajo de investigación permite al usuario que la use calcular visualmente el índice de vegetación de diferencia normalizada del cultivo de un terreno por dos modos, uno en el que se realiza el cálculo de toda la imagen y otro en el que se calcula únicamente de la región de interés.
- Las pruebas de funcionamiento realizadas a la interfaz gráfica de usuario, teniendo en cuenta los posibles casos que se pueden presentar con las imágenes superficiales capturadas por UAV de los terrenos y sus cultivos; permitieron detectar errores que se presentan en la adquisición de imágenes, así como realizar las respectivas correcciones y determinación de la interpretación de los resultados presentados por la interfaz gráfica de usuario desarrollada.
- Aunque la interfaz gráfica de usuario desarrollada es intuitiva y con el fin de que el usuario tenga acceso al manual de usuario se ha implementado un enlace directo al mismo en la interfaz.

Recomendaciones

- Para el desarrollo de software cuyo propósito es que sea libre hay que optar por un lenguaje de programación de código abierto donde los programas resultantes se los pueda ejecutar sin restricciones.
- Al desarrollar una interfaz gráfica de usuario se debe cumplir con los criterios de usabilidad, es decir, que debe ser intuitiva y de fácil comprensión como también de fácil manipulación; cabe recalcar que se debe colocar la menor cantidad de texto para que el usuario no se agobie cuando la opere.
- En el proceso de desarrollo de una interfaz gráfica de usuario es importante verificar el funcionamiento de cada elemento agregado, de tal manera que se asegure la correcta operación de la misma; por lo que se debe analizar todas las posibles acciones que puede realizar el usuario y asegurar de que no ocurran errores de funcionamiento.
- Cuando se realice la adquisición de imágenes hay que percatarse de que la superficie del terreno esté despejada en el contexto de que no haya presencia de sombras de nubes para que el cálculo del NDVI sea preciso.

REFERENCIAS

- [1] «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua Continua,» 05 2020. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2019/Presentacion%20de%20los%20principales%20resultados%20ESPAC%202019.pdf. [Último acceso: 12 01 2020].
- [2] F. B. Cuasquer Enríquez y A. C. Sangurima Tito, ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PERIODO 1990-2017, CARCHI-ECUADOR, Ibarra: Biblioteca UTN, 2019.
- [3] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Información Agroambiental y Tecnificación Agropecuaria, Módulo ESPAC 2019,» 11 2020. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Modulo_Ambiental_ESPAC_2019/PRINC_RESUL_MOD_AGROTEC_2019_05_2.pdf. [Último acceso: 12 01 2020].
- [4] B. Orlando Olivares y M. A. López Beltrán, «Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela,» 15 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v11n2/1659-4266-cinn-11-02-112.pdf>. [Último acceso: 12 01 2021].
- [5] A. Martorell, «El NDVI o Índice de vegetación de diferencia normalizada,» Geo Innova, 09 05 2017. [En línea]. Available: <https://geoinnova.org/blog-territorio/ndvi-indice-vegetacion/>. [Último acceso: 13 01 2021].
- [6] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, «Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021,» 22 09 2017. [En línea]. Available: <https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/EcuadorPlanNacionalTodaUnaVida20172021.pdf>. [Último acceso: 12 01 2021].
- [7] U. S. Rajani , A. Sathyan, A. A. Kadar y A. Mohan, «Design Architecture of Autonomous Precision Farming System,» 6-7 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8342599>. [Último acceso: 14 Junio 2021].
- [8] M. A. Chavez Tierra, Mejoramiento de la produccion mediante la implementacin de drones en el cultivo de flores de verano y rosas en el Grupo Esmeralda Ecuador, Quito: Pontificia Universidad Catlica del Ecuador, 2018.
- [9] N. Sharan Kumar, M. I. Mohd Ashraf , A. S. Nur Sabahiah y W. Cheang, «Method for the visualization of landform by mapping using low altitude UAV application,» Mayo 2018. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/325086087_Method_for_the_visualizat

- ion_of_landform_by_mapping_using_low_altitude_UAV_application. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [10] Y. M. Inoue, Drone-based remote sensing of crops and soils and its application to smart agriculture., Journal of the Remote Sensing Society of Japan, 2017.
- [11] J. J. Díaz García-Cervigón, «Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.,» Junio 2015. [En línea]. Available: https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [12] Universidad de Stanford, «The Heart of a Phone Camera: The CMOS Active Pixel Image Sensor,» 12 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph250/lu2/>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [13] DJI, «MAVIC 2 PRO Quick Start Guide V1.2,» 29 Diciembre 2018. [En línea]. Available: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/20181229/Mavic_2_Pro_Quick_Start_Guide_EN.pdf. [Último acceso: 14 Junio 2021].
- [14] DJI Oficial, «Mavic 2 - DJI,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.dji.com/mavic-2>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [15] Dirección general de aviación civil, «Reglamento para el uso de drones,» 04 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [16] E. C. Martin y C. Muñoz, «Métodos para Medir la Humedad del Suelo para la Programación del Riego ¿Cuándo?,» Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/625275>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [17] I. Castillo, «Suelos del Ecuador: Características, Tipos, Usos.,» 03 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/suelos-del-ecuador/>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [18] INEC, «2018: Seis cultivos con mayor producción en Ecuador,» 17 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/2018-seis-cultivos-con-mayor-produccion-en-ecuador/>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [19] P. Muñoz Aguayo, Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación, Chile: Centro de Información de Recursos Naturales, 2013.
- [20] I. Wahab y H. Ola, «Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa,» Agosto 2018. [En línea]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/327066942_Remote_Sensing_of_Yields_Application_of_UAV_Imagery-Derived_NDVI_for_Estimating_Maize_Vigor_and_Yields_in_Complex_Farming_Systems_in_Sub-Saharan_Africa. [Último acceso: 15 Junio 2021].

- [21] C. J. Valdivia Arias, «Diseño de un sistema de visión artificial para la clasificación de chirimoyas basado en medidas,» 15 Febrero 2017. [En línea]. Available: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7849>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [22] M. Serrano Fuentes, N. A. Lizardo Zelaya y J. L. Ordoñez Avila, «Coffee Fruit Recognition Using Artificial Vision and neural NETWORKS,» 19 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9096441>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [23] S. Minaee, Y. Y. Boykov, F. Porikli, A. J. Plaza, N. Kehtarnavaz y D. Terzopoulos, «Image Segmentation Using Deep Learning: A Survey,» 17 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9356353>. [Último acceso: 15 Junio 2021].
- [24] J. A. Calleja López, J. L. Durante Molina y J. Trabadela, Fotografía digital, NA: Ministerio de Educación y Formación Profesional de España, 2015.
- [25] Universidad de Antioquia, «Tipos de formatos de imagen,» [En línea]. Available: <https://aprendeenlinea.udea.edu.co/boa/contenidos.php/04dd9c02d4153b4104d73c154c895311/824/1/contenido/>. [Último acceso: 16 Junio 2021].
- [26] J. C. Moreno Pérez, Programación, Madrid, España: RA-MA Editorial, 2015, p. 173.
- [27] Instituto Ecuatoriano de normalización, «nte inen iso 14915-1,» Enero 2014. [En línea]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte_inen_iso_14915-1.pdf. [Último acceso: 16 Junio 2021].
- [28] International Organization of Standardization, «Software ergonomics for multimedia user interfaces — Part 1: Design principles and framework,» Noviembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/25578.html>. [Último acceso: 16 Junio 2021].
- [29] Python, «General Python FAQ,» 2021. [En línea]. Available: <https://docs.python.org/3/faq/general.html#what-is-python>. [Último acceso: 17 Junio 2021].
- [30] OpenCV, «About OpenCV,» 2021. [En línea]. Available: <https://opencv.org/about/>. [Último acceso: 17 Junio 2021].

- [31] M. A. F. ROJAS, SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE HOJAS DE CUERO PARA LA FÁBRICA GAMACUEROS, Ibarra: Biblioteca UTN, 2016.
- [32] R. R. Do Valle Gonçalves, J. Zullo, T. M. Peron, S. R. Medeiros Evangelista y L. A. Santos Romani, «Numerical Models to Forecast the Sugarcane Production in Regional Scale Based on Time Series of NDVI/AVHRR Images,» 2015. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7245806>. [Último acceso: 13 01 2021].
- [33] L. C. Quevedo Viera, SISTEMA ELECTRÓNICO PARA EL DIAGNÓSTICO DEL SÍNDROME DE TÚNEL CARPIANO (STC), APLICANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES TÉRMICAS, Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2018.
- [34] J. E. López Ortega, EVALUACIÓN MULTITEMPORAL DEL AUMENTO DE LA SUPERFICIE DE VEGETACIÓN ACUÁTICA DEL EMBALSE DAULE PERIPA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE IMÁGENES ESPECTRALES DE SENSORES REMOTOS, Ibarra: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2015.
- [35] T. T. Sasidhar, K. Sreelakshmi, V. MT, V. Sowmya y K. Soman, «Land Cover Satellite Image Classification Using NDVI and SimpleCNN,» 07 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8944840>. [Último acceso: 10 02 2021].
- [36] G. I. Viera Maza, PROCESAMIENTO DE IMÁGENES USANDO OPENCV APLICADO EN RASPBERRY PI PARA LA CLASIFICACIÓN DEL CACAO, Piura: Universidad de Piura, 2017.
- [37] P. L. Suárez, A. D. Sappa y B. X. Vintimilla, «Learning image vegetation index through a conditional generative adversarial network,» 08 01 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8247538>. [Último acceso: 10 02 2021].
- [38] Á. P. Fernández Soria , Sistema electrónico para el control de calidad de huevos de gallina mediante procesamiento de imágenes, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [39] S. R. Rojas Unda, Evaluación de metodologías para procesamiento de imágenes satelitales para identificación de cambio de uso de suelo, Sangolquí: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO, 2011.
- [40] Á. Hinojosa Gutiérrez, Python paso a paso, Madrid: RA-MA Editorial, 2015.
- [41] Microsoft, «Learn to code with Visual Studio Code,» 2021. [En línea]. Available: <https://code.visualstudio.com/learn/>. [Último acceso: 05 Julio 2021].

- [42] NumPy, «Some information about the NumPy project and community,» 2021. [En línea]. Available: <https://numpy.org/about/>. [Último acceso: 05 Julio 2021].
- [43] J. D. Hunter, Matplotlib: A 2D graphics environment, 9 ed., IEEE COMPUTER SOC, pp. 90-95.
- [44] PyPI, «PyQt5 5.15.4,» 10 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://pypi.org/project/PyQt5/>. [Último acceso: 05 Julio 2021].
- [45] Auravant, «Auravant,» 2021. [En línea]. Available: <https://auraview.auravant.com/main.php#>. [Último acceso: 21 Julio 2021].

APÉNDICE

Al tener líneas de código muy extensas se adjunta los archivos para la instalación de la interfaz gráfica de usuario desarrollada.

De igual manera se adjunta el manual de usuario de la GUI desarrollada.