

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática
Maestría en Sistemas Computacionales



Diseño de una Interfaz Gráfica para el Procesamiento Digital de Imágenes Multiespectrales

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

Presenta: **VÍCTOR ALBERTO LÓPEZ CARDONA**

Director: **DR. IVÁN ESTEBAN VILLALON TURRUBIATES**

Tlaquepaque, Jalisco. diciembre de 2024.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dar las gracias a mis padres, mi hermana, mi prometida, mi director de trabajo de obtención de grado, al CONAHCYT por otorgarme su apoyo con la beca número 1239959.

El autor extiende su agradecimiento hacia el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) por el apoyo con la beca del 100%, y hacia los profesores.

DEDICATORIA

El autor dedica esta tesis a las maravillosas personas que le acompañaron desde el inicio y hasta el final de la maestría, a su padre, madre, hermana, coco, cacao, y su prometida Karla.

RESUMEN

En este trabajo se encuentra una breve introducción que cubre los antecedentes y la justificación del proyecto de obtención de grado, se aborda la problemática de la calidad y utilidad de imágenes multiespectrales, es común que estas imágenes tengan deterioros en su contenido, estos deterioros pueden ser ruido o interferencias en las mismas. El objetivo principal es el desarrollo de una interfaz gráfica de usuario (GUI) que pueda integrar múltiples filtros para imágenes multiespectrales, de esta manera, mejorando así la calidad de los datos, reduciendo el ruido, y resaltando las características de interés para el usuario. El trabajo también incluye una investigación sobre el estado del arte, cuyo principal propósito es conocer los avances actuales en el filtrado de imágenes multiespectrales. Se analizan diferentes métodos y tecnologías utilizadas en este campo, demostrando la necesidad de una herramienta accesible y fácil de usar que permita a los usuarios aplicar estos filtros sin requerir conocimientos técnicos avanzados en el tema.

En el marco teórico, se definen conceptos básicos y también se incluyen las teorías relevantes que se relacionan con el filtrado de imágenes multiespectrales. También se encuentran los desarrollos previos y las aplicaciones de estas tecnologías en diferentes disciplinas, como pueden ser la teledetección y la medicina. El desarrollo del trabajo incluye la implementación de la GUI, la integración de filtros como el Gaussiano, Mediano, Bilateral y Sobel y la validación de su efectividad mediante pruebas comparativas. Los resultados pueden demostrar que la herramienta que se ha desarrollado mejora la calidad de las imágenes multiespectrales, de esta manera facilitando su análisis y aumentando la precisión de los resultados obtenidos.

Por último, se encuentran las conclusiones del trabajo, donde se destaca la contribución de la GUI al democratizar el acceso a técnicas avanzadas de filtrado y el impacto positivo en múltiples aplicaciones prácticas. Este proyecto no solo mejorara la calidad de los datos espectrales, sino también facilita su uso, de esta manera beneficiando a usuarios sin conocimientos técnicos avanzados y sectores industriales.

TABLA DE CONTENIDO

MAESTRÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES.....	1
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. ANTECEDENTES	10
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	10
1.3. PROBLEMA	11
1.3.1 PROBLEMA PRACTICO	12
1.3.2 PROBLEMA CIENTÍFICO	12
1.4. HIPÓTESIS.....	12
1.5. OBJETIVOS.....	13
1.5.1. Objetivo General:.....	13
1.5.2. Objetivos Específicos:	13
1.6. NOVEDAD CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA O APORTACIÓN	13
1.7. CONCLUSIONES DEL CAPITULO	14
2. ESTADO DEL ARTE O DE LA TÉCNICA.....	15
2.1. DESENTRELAZADO UTILIZANDO UNA IMAGEN DE REFERENCIA ESPACIAL PARA UNA MATRIZ DE FILTRO MULTIESPECTRAL ANTI-ALIASING	16
2.2. SELECCIÓN DE FILTRO PARA LA ADQUISICIÓN DE IMÁGENES EN COLOR MULTIESPECTRAL	16
2.3. UTILIZACIÓN DE LA RECONSTRUCCIÓN HIPERESPECTRAL PARA LA DETECCIÓN DE CAMBIOS EN IMÁGENES MULTIESPECTRALES	17
3. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL	19
3.1. PYTHON Y DEPENDENCIAS	20
3.1.1. OPENCV (OPEN-SOURCE COMPUTER VISION LIBRARY).....	20
3.1.2. NUMPY	20
3.1.3. STREAMLIT.....	20
3.1.4. PIL (PYTHON IMAGING LIBRARY) / PILLOW	21
3.1.5. IO.BYTESIO.....	21
3.2. ESPECTO ELECTROMAGNÉTICO.....	21
3.3. IMÁGENES MULTIESPECTRALES E HIPERESPECTRALES.....	22
3.3.1. FILTRO GAUSIANO	23
3.3.2. FILTRO DE MEDIANA.....	23
3.3.3. FILTRO BILATERAL	23
3.3.4. ECUALIZACIÓN DE HISTOGRAMA	23
3.3.5. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	23
3.3.6. COMPUESTO DE COLOR FALSO.....	24
3.3.7. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA	24
3.3.8. RAZÓN DE BANDAS ROJAS/VERDES.....	24
3.3.9. ÍNDICE DE VEGETACIÓN POR DIFERENCIA	24
3.3.10. ÍNDICE DE VEGETACIÓN MEJORADO.....	24
3.3.11. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE DIFERENCIA NORMALIZADA DE BORDE ROJO	25
3.4. CONCLUSIÓN DEL CAPITULO.....	25

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. RESULTADOS	27
4.2. CONCLUSION	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
5. CONCLUSIONES.....	45
5.1. CONCLUSIONES	46
5.2. TRABAJO FUTURO	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.2.1: El espectro electromagnético. En la teledetección, los escáneres multiespectrales dividen porciones separadas del espectro y las registran en diferentes bandas.....	21
Figura 4.1.1: Diseño de interfaz gráfica para manejo de imágenes multiespectrales.....	27
Figura 4.1.2: Filtros soportados por la interfaz grafica.....	28
Figura 4.1.3: Comparación entre la imagen original y el Filtro gaussiano	29
Figura 4.1.4: Comparación entre la imagen original y el filtro Bilateral	30
Figura 4.1.5: Comparación entre la imagen original y el filtro sobel	31
Figura 4.1.6: Comparación entre la imagen original y el Filtro False Color	33
Figura 4.1.7: Comparación entre la imagen original y el Filtro Histogram Equalization.....	34
Figura 4.1.8: Comparación entre la imagen original y el Filtro NDVI.....	36
Figura 4.1.9: Comparación entre la imagen original y el Filtro DVI.....	37
Figura 4.1.10: Comparación entre la imagen original y el Filtro EVI.....	38
Figura 4.1.11: Comparación entre la imagen original y el Filtro RGB channels.....	40
Figura 4.1.12: Comparación entre la imagen original y el Filtro PCA	41
Figura 4.1.13: Comparación entre la imagen original y el Filtro Band Ratio.....	42
Figura 4.1.14: Comparación entre la imagen original y el Filtro RENDVI.....	43

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

GUI	Guided User Interface
OpenCV	Open-Source Computer Vision Library
API	Application Programming Interface
MSFA	Multispectral filter array

1. INTRODUCCIÓN

Resumen: *En este capítulo se presenta brevemente los antecedentes del objeto de estudio, justificación del objeto de estudio, justificación y la definición del problema.*

1.1. Antecedentes

El propósito de este proyecto es desarrollar una interfaz gráfica de usuario (GUI) que contenga filtros para imágenes multiespectrales, incluyendo el Filtro gaussiano, mediano, bilateral, PCA, Ecuación de histograma, Compuesto de color falso, NDVI e Índices de vegetación (DVI, EVI, RENDVI); donde el objetivo será mejorar la calidad de datos, reducir ruido, y resaltar las características de interés para el usuario. Este trabajo no sólo trata de democratizar el acceso a técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes, sino también hacer posible que usuarios de distintos niveles de experiencia técnica utilicen estos filtros. Para poder entrar a estas cuestiones, es necesario comparar investigaciones anteriores que llevaron a la creación de filtros y métodos de análisis de imágenes multiespectrales.

Al realizar una búsqueda de proyectos similares al que se propone en este documento podemos encontrar algunos proyectos similares donde el objetivo no ha sido el mismo, pero se cumple con algunos de los problemas que se trata de resolver como lo son el eliminado del ruido y resaltado de cuerpos de agua o de áreas de vegetación en imágenes multiespectrales.

El trabajo de uso de la reconstrucción hiperespectral para la detección de cambios en imágenes multiespectrales [1] es un buen ejemplo de cómo el uso de técnicas en imágenes multiespectrales puede resolver problemas como la falta de información en algunas bandas del espectro electromagnético para detectar objetos en el suelo; para poder solucionar este problema, en el artículo se menciona un método de detección de cambios en imágenes multiespectrales basado en una red de reconstrucción hiperespectral. Los datos multiespectrales originales se usan para detectar cambios en el ambiente. A partir de esto se construye una red que a su vez esta compuesta de dos redes, una para reconstruir y otra para detectar cambios. A partir de las conclusiones del artículo podemos observar que los resultados experimentales en dos conjuntos de datos muestran que el método de reconstrucción hiperespectral puede mejorar la precisión de las imágenes multiespectrales.

El artículo de demostración utilizando una imagen de referencia espacial para una matriz de filtros multiespectrales antialiasing [2] demuestra la utilidad de aplicar filtros en imágenes multiespectrales cuando tenemos problemas de submuestreo y aliasing; para poder adquirir imágenes de este tipo se requiere de un proceso de desentrelazado para poder reconstruir una imagen multiespectral completamente definida a partir de datos de sensor submuestreados, esto puede provocar aliasing y problemas en la imagen reconstruida. En el artículo se propone el uso de una matriz de filtros espectrales de Fourier propuesto por J. Jia [3] que reduce el aliasing. Esta matriz permite un desentrelazado más preciso al permitir que el proceso de reconstrucción entienda las estructuras espaciales exactas de una imagen. Continuaremos la descripción de los trabajos en el capítulo del estado del arte.

1.2. Justificación

Con este trabajo se busca poner al alcance de más personas el uso de filtros en imágenes multiespectrales y de esta manera mejorar la calidad de los datos las imágenes multiespectrales; es común que estas imágenes contengan ruido o interferencias que dificulten la interpretación y el análisis de los datos. El desarrollo de una GUI (Graphical User Interface, por sus siglas en inglés) que permita la integración de métodos de filtrado efectivo permitirá mejorar la calidad de las imágenes, eliminando el ruido y resaltando

las características de interés para el usuario. Esto llevará a una mayor confiabilidad y precisión en los resultados obtenidos a partir de estas imágenes.

El filtrado de imágenes multiespectrales es especialmente importante por su habilidad de solucionar problemas en diferentes áreas como lo pueden ser la teledetección; el filtrado puede mejorar la detección de cambios en la cobertura terrestre, ayudar en la identificación de campos de cultivo y mejorar las detecciones de posibles anomalías. Estas mejoras son vitales para el manejo de recursos naturales, planeación agrícola y vigilancia del medio ambiente. En el campo de la medicina, el filtrado de imágenes multiespectrales ha probado mejorar significativamente la visualización de estructuras o patologías en imágenes médicas, facilitando así los diagnósticos, haciéndolos más precisos y por consecuencia con tratamientos más efectivos.

Este trabajo se justifica por varias razones clave. Primero, existe la necesidad de mejorar la calidad de los datos obtenidos de imágenes multiespectrales, ya que, al tener datos más limpios y precisos, se obtiene un análisis más confiable. Segundo, al tener la posibilidad de optimizar algoritmos de análisis haciendo uso de filtros avanzados, se pueden obtener resultados más precisos y eficientes. Tercero, el trabajo aborda problemas específicos que varias disciplinas han encontrado, esto se resuelve proporcionando herramientas que pueden adaptarse a diversas aplicaciones y necesidades.

Finalmente, esta investigación contribuirá al avance científico en el campo del procesamiento de imágenes. La creación de una GUI accesible que integre múltiples filtros permitirá que un mayor número de usuarios, incluidos aquellos con menos experiencia técnica, puedan aprovechar las ventajas del filtrado de imágenes multiespectrales. La accesibilidad se logrará mediante un diseño de interfaz simplificado, con menús claros y opciones preconfiguradas que facilitan la aplicación de filtros, además de documentación completa que guiará al usuario en cada paso del proceso. Esto democratizará el acceso a tecnologías avanzadas y fomentará el desarrollo de nuevas aplicaciones y descubrimientos en múltiples áreas del conocimiento. En resumen, este trabajo no solo mejorará la calidad de las imágenes y la precisión del análisis, sino que también potenciará la capacidad de innovación y desarrollo en campos que dependen de la teledetección y el análisis de imágenes multiespectrales.

1.3. Problema

Muchas veces, la calidad y la utilidad de las diversas aplicaciones de imágenes multiespectrales sufren del ruido, artefactos y otras interferencias, lo que impide que las imágenes sean bien interpretadas y analizadas. Dichas interferencias pueden derivarse de una amplia variedad de fuentes, que van desde las condiciones adversas de iluminación y los sensores con limitaciones, hasta los errores de procesamiento. Como resultado, los datos espectrales arrojados a menudo pueden ser difíciles de interpretar o poco fiables, lo que, a su vez, afecta adversamente la precisión y utilidad de las aplicaciones dentro de los niños tales imágenes.

Por lo tanto, otra solución efectiva que se propone para mejorar la calidad de datos y resaltar las características de interés en las imágenes es el filtrado de imágenes multiespectrales. El objetivo principal que se persigue con este enfoque es seleccionar y preservar solo la información útil y eliminar el ruido y los artefactos presentes. Al hacerlo, la información de imágenes se puede hacer aún más clara y

compresible para lograr resultados más confiables. Como resultado, los algoritmos de análisis se ven menos interrumpidos por las interferencias y, su capacidad para detectar más patrones, hacer predicciones y clasificar se mejora significativamente.

1.3.1 Problema Practico

La disponibilidad y la sofisticación de los filtros son difíciles de alcanzar para los usuarios en términos de capacidad de cita técnica y el costo asociado. Por lo tanto, el potencial de las imágenes multiespectrales es limitado en términos de su eficacia en la teledetección, la agricultura de precisión, la medicina y la vigilancia ambiental. De lo que se discute anteriormente, el principal problema para los usuarios en general, y especialmente para los menos informados, es el esfuerzo necesario para instalar y operar los filtros de imagen para mejorar la vigencia y la apariencia de los datos espectrales.

1.3.2 Problema Científico

Su perspectiva científica requiere el desafío de desarrollar métodos de filtrado no solo para funcionar con eficacia en la eliminación de ruido y artefactos, sino también ser integrable en una GUI, el usuario puede navegar fácilmente a través del software y seleccionar de una manera intuitiva sin un conocimiento experto en la disciplina. La investigación necesaria para definir cuáles serían los algoritmos de filtrado más adecuados para diferentes tipos de ruido y cómo se los puede implementar con más eficiencia en una plataforma con la cual los usuarios puedan interactuar. El problema científico se detalla en los siguientes puntos: desarrollo de algoritmos; integración en GUI y evaluación de resultados.

1.4. Hipótesis

Al utilizar técnicas de filtrado de imágenes multiespectrales con algoritmos y métodos específicos, la calidad de los datos se mejorará, el ruido se reducirá y las características de interés serán más visibles, lo cual también mejorará significativamente la interpretación y el análisis de imágenes multiespectrales. Además, el desarrollo de una GUI amigable e intuitiva que integre este conjunto de filtros hará que los usuarios con diferentes niveles de experiencia técnica sean capaces de utilizar de manera efectiva estas técnicas de filtrado. Específicamente, se propone la hipótesis de que los algoritmos de filtrado serán capaces de reducir el ruido; destacar las características de interés debido a que el filtrado permitirá exhibir ciertas características propias de las imágenes a ser, lo cual llevará a la identificación y análisis de diversas aplicaciones en áreas como la detección de cambios en la cobertura terrestre, identificación de cultivos en agricultura de precisión o identificación de estructuras patológicas en imágenes médicas. Mejora de la interpretación y análisis. Por último, los usuarios serán capaces de interpretar y analizar las imágenes de forma precisa y de confianza como resultado de la filtración de la calidad de las imágenes, que será valioso para ámbitos tales como la teledetección, medicina y gestión ambiental. Accesibilidad y facilidad de uso validar empíricamente. Finalmente, la validez del uso de la GUI y el filtro integrado al comparar y realizar pruebas empíricas con enfoques a tradicionales será validada con respecto a la herramienta que se ha desarrollado y que mejorará significativamente la calidad y el análisis de las imágenes. En conclusión, la implementación de una GUI que integra técnicas de filtrado avanzadas para imágenes multiespectrales no solo mejorará la calidad de los datos y la precisión del análisis, sino que también hará que estas técnicas sean accesibles y útiles para una variedad de usuarios y aplicaciones.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Se propone, el desarrollo de una Interfaz Gráfica de Usuario que integre varios filtros destinados a imágenes multiespectrales. El objetivo es mejorar los datos y, al mismo tiempo, eliminar el ruido, y destacar las características deseadas. Con esta herramienta se pretende hacer que las técnicas avanzadas de filtrado estén disponibles para varias áreas, lo que puede extender su uso a disciplinas como la teledetección, la medicina y la agricultura.

1.5.2. Objetivos Específicos:

- Mejorar la calidad de los datos espectrales
 - Desarrollar e implementar algoritmos de filtrado que reduzcan de manera efectiva el ruido y eliminen los artefactos presentes en las imágenes multiespectrales.
- Resaltar características de interés en las imágenes multiespectrales
 - Identificar y aplicar métodos de filtrado que permitan realzar las características relevantes en las imágenes, facilitando la detección de patrones y la extracción de información crítica.
- Desarrollar una GUI accesible y fácil de usar
 - Diseñar una interfaz gráfica intuitiva que permita a usuarios con diferentes niveles de experiencia técnica aplicar los filtros de manera eficiente.
 - Asegurar que la GUI sea compatible con múltiples formatos de imágenes multiespectrales y pueda ser utilizada en diversas plataformas.

1.6. Novedad científica, tecnológica o aportación

Este proyecto señala la utilidad de los filtros en las imágenes multiespectrales para hacerlas más útiles y eliminar el ruido. Usando los filtros Gaussianos, de mediana, Bilateral, Sobel y Laplaciano, se demuestra cómo estos filtros pueden ayudar en la limpieza. A pesar de que estos filtros están disponibles través de la librería OpenCV [1], la novedad radica en la integración de estos filtros en una GUI para tenerlos disponibles de manera intuitiva y accesible. La adición de interfaces gráficas de usuario que permitan a usuarios con distintos niveles de entendimiento técnico de filtración permite que ahora puedan hacer filtración sin un entendimiento profundo de procesamiento de imágenes. La GUI es diseñada de una manera que sea fácil de comprender y bajo aprendizaje, removerá la barrera de entrada a usuarios que comienzan a utilizar los filtros por primera vez. Sectores como la agricultura, la gestión de recursos naturales, la medicina, y la investigación científica se beneficiarán especialmente de las imágenes multiespectrales mejoradas. Este proyecto no solo crea un GUI para aplicar filtros disponibles en esta biblioteca OpenCV, sino también provee de una manera a usuarios a entender como estos filtros les pueden ayudar.

El proyecto no solo integra filtros estándar disponibles en librerías como OpenCV, sino que también proporciona una plataforma para evaluar y comparar la efectividad de estos filtros en tiempo real. Esta característica permite una mejor comprensión de las capacidades y limitaciones de cada filtro, y facilita la selección del filtro más adecuado para cada aplicación específica. La GUI desarrollada ofrece una

experiencia interactiva que permite a los usuarios experimentar con diferentes configuraciones de filtros y observar inmediatamente los resultados, lo que es particularmente útil en contextos educativos y de investigación.

En el contexto empresarial y de usuario, este proyecto aporta una solución innovadora que democratiza el acceso a técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes. La GUI permite que una mayor cantidad de usuarios, incluyendo aquellos en pequeñas y medianas empresas o instituciones educativas, aprovechen los beneficios del filtrado de imágenes multiespectrales. Al proporcionar imágenes más claras y precisas, la herramienta mejora la toma de decisiones basada en datos en diversas industrias, desde la agricultura de precisión hasta la gestión de recursos naturales y la medicina. La facilidad de uso y la integración de múltiples filtros en una sola herramienta permiten a los usuarios procesar imágenes de manera más rápida y eficiente, incrementando la productividad y reduciendo el tiempo necesario para obtener resultados significativos.

En resumen, este proyecto no solo demuestra la importancia de los filtros en el procesamiento de imágenes, sino que también hace que estas técnicas avanzadas sean más accesibles y útiles para una amplia gama de usuarios y aplicaciones. La combinación de una interfaz gráfica intuitiva, la integración de múltiples filtros y la capacidad de personalización representa una contribución significativa al campo del procesamiento de imágenes multiespectrales, facilitando la adopción y aplicación de estas tecnologías en diversas disciplinas.

Para futuras investigaciones, se prevé la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático en la GUI para mejorar aún más el proceso de filtrado y análisis de imágenes multiespectrales. Estos algoritmos podrían aprender de los datos de entrada y ajustar los parámetros de filtrado en tiempo real, optimizando los resultados según las necesidades específicas del usuario.

Además, se planea expandir la compatibilidad de la GUI con diferentes formatos y tipos de sensores de imágenes multiespectrales. Esto permitirá una mayor flexibilidad y aplicabilidad de la herramienta en una variedad más amplia de escenarios y disciplinas, desde la teledetección hasta la biomedicina. También se contempla el desarrollo de módulos adicionales que permitan realizar análisis avanzados y visualizaciones interactivas, proporcionando a los usuarios una herramienta completa y robusta para el procesamiento y análisis de imágenes multiespectrales.

1.7. Conclusiones del capítulo

Este proyecto aborda la necesidad de mejorar la calidad y utilidad de las imágenes multiespectrales mediante una GUI accesible. La GUI integra filtros avanzados como el Gaussiano, Medio, Bilateral, Sobel y Laplaciano, permitiendo a usuarios con distintos niveles de experiencia técnica aplicar técnicas de filtrado de manera efectiva. Esto facilita la eliminación de ruido y artefactos, mejorando la interpretación y análisis de los datos. La democratización de estas tecnologías representa una contribución significativa al campo del procesamiento de imágenes multiespectrales, con aplicaciones en diversas disciplinas. Futuras integraciones de inteligencia artificial y compatibilidad ampliada prometen aumentar aún más la efectividad de esta herramienta innovadora.

El siguiente capítulo presenta una revisión del estado del arte en el filtrado de imágenes multiespectrales. Se analizarán los desarrollos recientes y las técnicas avanzadas utilizadas actualmente, destacando sus fortalezas y limitaciones.

2. ESTADO DEL ARTE O DE LA TÉCNICA

Resumen: *En este capítulo se presenta un resumen de los trabajos relacionados con filtrado de imágenes multiespectrales y su uso.*

2.1. Desentrelazado utilizando una imagen de referencia espacial para una matriz de filtro multiespectral anti-aliasing

El artículo de desentrelazado [2] de Maru Kawase, Kazuma Shinoda y Madoka Hasegawa, se demuestra cuáles son algunos de los retos en la mejora de la calidad de imágenes multiespectrales, específicamente abordando problemas de submuestreo y aliasing. Como se demuestra en el artículo, la matriz de filtros multiespectrales (MSFA) permite la captura instantánea de imágenes al asignar diferentes filtros espectrales a cada píxel, lo que facilita la captura de imágenes multiespectrales de objetos en movimiento. Un ejemplo específico de cómo la MSFA logra esta captura es el caso en el que se utiliza un MSFA de 16 bandas para capturar comportamientos hemodinámicos, logrando una captura simultánea de una escena con diversidad espectral., pero necesita un proceso de desentrelazado para poder reconstruir una imagen completamente definida a partir de datos de sensores submuestreados, lo cual puede inducir aliasing y artefactos en la imagen reconstruida.

Una solución para el problema de la calidad de imágenes multiespectrales es una matriz de filtros espectrales de Fourier (FSFA), esta matriz fue propuesta por Jia et al. [3]. El objetivo principal de esta matriz es poder reducir el aliasing por medio de filtros espectrales sinusoidales de banda ancha. En el artículo también se concluye y demuestra porque es que MSFA y FSFA son matrices efectivas en la reducción del aliasing. De acuerdo a los autores, "FSFA permite controlar la aparición del aliasing mediante la modulación de los parámetros de los filtros sinusoidales, lo que elimina picos en frecuencias específicas y minimiza la contaminación por aliasing" [2].

Además, los autores presentan un nuevo método de desentrelazado híbrido que combina técnicas de descomposición de frecuencias y compresión sensorial. Sus resultados demuestran que el método que han propuesto supera a los métodos ya existentes, sobre todo en términos de reconstrucción espacial, de esta manera de demuestra la importancia de los filtros anti-aliasing para la obtención de imágenes de referencia espacial libres de distorsiones, lo cual es crucial para una reconstrucción precisa. Sin estos filtros, la precisión en la reconstrucción de la imagen sería más difícil debido a la contaminación por aliasing.

2.2. Selección de filtro para la adquisición de imágenes en color multiespectral

El artículo "Filter Selection for Multispectral Color Image Acquisition" de Jon Y. Hardeberg [4] demuestra que la selección correcta de filtros durante adquisición de imágenes multiespectrales de color repercute en la calidad de la imagen final. Para poder determinar si un sistema de adquisición de imágenes multiespectrales es de calidad, se toma en consideración diferentes aspectos, como la sensibilidad espectral de los diferentes canales, la cual se determina por las propiedades de los filtros ópticos usados. En un entorno común es común encontrar una implementación con una cámara digital monocromática que tenga acoplados varios filtros ópticos. Es de suma importancia seleccionar los filtros correctos durante el diseño del sistema.

El artículo revisa varios métodos para la selección de un subconjunto óptimo de filtros a partir de un conjunto disponible. Se evalúan los métodos en función de su capacidad para reconstruir las reflectancias espectrales de una escena. La selección de filtros adecuados es un desafío porque los filtros hiperspectrales, que son necesarios para capturar una amplia gama de información espectral, no están

comúnmente al alcance de muchas instituciones y usuarios debido a su alto costo y complejidad de producción.

El método de maximización de la ortogonalidad en el espacio de reflectancia característica es una técnica que considera las propiedades de los filtros disponibles, el sistema de adquisición y las propiedades espectrales de las superficies que se van a muestrear; este método se lleva a cabo seleccionando filtros que tengan un alto grado de ortogonalidad después de la proyección en un espacio vectorial representativo de las reflectancias características más significativas.

Podemos concluir que ahora hay técnicas que nos facilitan la elección de filtros para imágenes multiespectrales, tal es el caso de la maximización de la ortogonalidad que ofrece un enfoque rápido y efectivo para seleccionar un conjunto de filtros adecuado, este es una buena técnica a utilizar si es la primera vez que estamos analizando la imagen multiespectral; pero si el problema cambia es probable que la maximización de la ortogonalidad no sea la mejor solución para todos los casos; adicionalmente el artículo compara otros métodos heurísticos y de búsqueda exhaustiva para la selección de filtros, un punto negativo de la búsqueda exhaustiva es la complejidad computacional cuando se trabaja con un gran número de filtros.

En resumen, los métodos que se han propuesto en el artículo permiten optimizar la selección de filtros disponibles para aplicaciones específicas, superando las limitaciones de acceso a filtros multiespectrales costosos y proporcionando una solución más accesible para la obtención de imágenes de alta calidad. La selección de filtros es crucial para mejorar la calidad de la adquisición de imágenes multiespectrales.

2.3. Utilización de la reconstrucción hiperespectral para la detección de cambios en imágenes multiespectrales

El artículo "Using Hyperspectral Reconstruction for Multispectral Images Change Detection" de Song Liu [1] y sus colaboradores analiza la detección de cambios en imágenes multiespectrales usando reconstrucción hiperespectral. La detección de cambios es sumamente importante para la teledetección remota, y a pesar de que las imágenes multiespectrales (MSI) son útiles, el número limitado de bandas espectrales dificulta la clasificación de objetos en el terreno, afectando de esta manera la precisión de la detección de cambios.

Para poder capturar la amplia gama de información espectral que hay en las imágenes hiperespectrales es necesario usar filtros especializados, los cuales pueden estar sujetos a la disponibilidad y en ocasiones pueden llegar a ser sumamente costosos, por lo que estos no estarán al alcance de algunas instituciones y usuarios. Sin esta tecnología no es posible obtener datos detallados y precisos sobre los cambios que pueden existir en un área de interés como un terreno.

Con esta problemática en mente, es que en el artículo se propone un método que no tenga dependencia de los filtros hiperespectrales. Se busca un método que pueda aprovechar los datos multiespectrales que ya están disponibles y transformarlos, de esta manera proporcionando una solución que es accesible y económica para el uso de filtros hiperespectrales; de la manera que este método se logra es haciendo uso de una red de reconstrucción hiperespectral que convierte datos multiespectrales en datos hiperespectrales con información espectral numerosa. Esta red esta compuesta por dos subredes, donde la primera tiene

como propósito la reconstrucción hiperespectral, y la segunda es para la detección de cambios, para esta segunda subred se cuenta con una pequeña cantidad de datos hiperespectrales para poder ayudar en el proceso.

Después de obtener resultados de dos conjuntos de datos, ha quedado demostrado como este método mejora de manera significativa la precisión en las imágenes multiespectrales; es importante mencionar la importancia de la reconstrucción hiperespectral ya que por medio de este método es posible obtener aún más información de imágenes multiespectrales existentes, esto es de utilidad para poder extraer características en un área de interés y mejorar así la detección de cambios.

Con este método no solo es posible mejorar la precisión de la detección de cambios, sino que también es posible evitar las limitantes actuales como la disponibilidad y costo de los filtros, destacando la importancia de desarrollar métodos que optimicen el uso de la tecnología disponible para ampliar su alcance y utilidad.

3. MARCO TEÓRICO/CONCEPTUAL

Resumen: *En este capítulo se presentan las bases teóricas y conceptuales sobre imágenes multiespectrales y los tipos de filtros.*

3.1. Python y dependencias

Python [5] es un lenguaje de alto nivel de propósito general que es fácil de interpretar y de entender, fue desarrollado por Guido van Rossum; es un programa informático que se centra en el realismo del código y permite a los desarrolladores escribir código conciso y lógico para proyectos grandes y pequeños. La sintaxis simple y sin complicaciones de Python es una de sus principales ventajas, lo que lo convierte en un lenguaje fácil de aprender y operar para quienes son nuevos en la programación.

Python es un lenguaje que puede ser usado en una gran variedad de campos, incluido desarrollo web, análisis de datos, inteligencia artificial, automatización de tareas y más. Python es una biblioteca de bibliotecas popular entre desarrolladores y científicos de datos, y tiene una gran comunidad de bibliotecas y una comunidad en constante crecimiento. Python es un lenguaje de programación potente y flexible, es compatible con todos los sistemas operativos y puede integrarse con otros lenguajes y herramientas.

Un ejemplo de cómo Python es utilizado para analizar imágenes multiespectrales es la construcción de redes neuronales para la clasificación de un tipo de avión según una imagen provisionada por el usuario [6]. En este artículo se hace uso de Python para poder incorporar la librería de TensorFlow que les permite hacer uso de técnicas de construcción de redes neuronales.

3.1.1. OpenCV (Open-Source Computer Vision Library)

OpenCV [7] es una biblioteca de código abierto, que está enfocada en la visión por computadora, OpenCV proporciona una gran cantidad de capacidades para el procesamiento de imágenes y videos. Esta biblioteca tiene herramientas para filtros, bordes, transformación de imágenes y más. Opencv permite la integración de filtros de imágenes multiespectrales, incluyendo desenfoque gaussiano, filtro mediano, filtro bilateral, filtro sobel, entre otros. Un ejemplo de cómo OpenCV es de gran utilidad en el manejo de imágenes multiespectrales, es en el artículo de “Sistema automatizado para determinar tamaño de la pupila usando imágenes multiespectrales”[8], en el trabajo OpenCV es crítico para poder utilizar el algoritmo, que determina el tamaño de la pupila de un ser humano; las funciones utilizadas para poder completar el pre procesamiento de imágenes son filtro Gaussiano y filtro de mediana.

3.1.2. NumPy

Numpy [9] es una herramienta que puede manejar y gestionar grandes conjuntos de datos, estos datos también pueden ser imágenes, lo que permite una vectorización eficiente. Numpy es una biblioteca de Python que es esencial para la informática científica. Numpy puede tomar como entrada matrices multidimensionales eficientes y múltiples cálculos complejos. Para el caso del manejo de imágenes multiespectrales Numpy es esencial ya que permite trabajar con datos multidimensionales de manera eficiente, comúnmente las imágenes multiespectrales comprenden grandes cantidades de información y Numpy puede procesar grandes volúmenes de datos, adicionalmente Numpy se integra bien con otras herramientas de procesamiento de imágenes en Python como lo es OpenCV.

3.1.3. Streamlit

Streamlit [10] es una biblioteca de código abierto que permite el desarrollo de aplicaciones web interactivas en Python. Sus usos principales son la visualización de datos y la creación rápida de prototipos. Streamlit es una forma basada en Python de crear interfaces de usuario que es fácil y rápida. Streamlit GUI es una interfaz gráfica de usuario desarrollada por este proyecto que permite a los usuarios cargar

imágenes, aplicar filtros y ver los resultados en tiempo real. Su flexibilidad y simplicidad lo hacen ideal para proyectos relacionados con la visualización de datos y el procesamiento de imágenes.

3.1.4. PIL (Python Imaging Library) / Pillow

Para este proyecto, Pillow se utiliza para manejar la carga y transformación de imágenes, permitiendo convertir imágenes en formatos adecuados para poder ser procesados y visualizados correctamente. La capacidad de PIL para interactuar con imágenes de múltiples formatos es crucial para la flexibilidad y usabilidad de la GUI. Pillow [11] es una librería de procesamiento de imágenes que es una bifurcación de Python Imaging Library (PIL). Proporciona capacidades para abrir, manipular y guardar muchos formatos de archivo de imagen diferentes.

3.1.5. io.BytesIO

La clase BytesIO [12] de la librería io de Python permite manejar datos binarios en memoria como si fueran un archivo. Esto es bastante útil para operaciones que requieren un manejo eficiente de los datos de imagen, como la carga y transformación de imágenes. Para este proyecto, BytesIO se utiliza para convertir imágenes cargadas por el usuario en objetos manipulables por PIL y OpenCV, de esta manera, facilitando el procesamiento y visualización de las imágenes directamente en la aplicación web desarrollada con Streamlit.

3.2. Espectro electromagnético

El espectro electromagnético abarca la gama completa de todas las longitudes de onda de la radiación electromagnética, desde las ondas de radio de baja frecuencia hasta los rayos gamma de alta frecuencia. Incluye regiones como las ondas de radio, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Cada una de estas regiones tiene aplicaciones específicas en la ciencia y la tecnología debido a sus propiedades únicas de interacción con la materia. En el contexto del espectro visible, que es la porción que los ojos humanos pueden detectar, las diferentes longitudes de onda se perciben como distintos colores, desde el violeta (longitudes de onda cortas) hasta el rojo (longitudes de onda largas).

La representación del espectro electromagnético se muestra en la Figura 3.2.1.

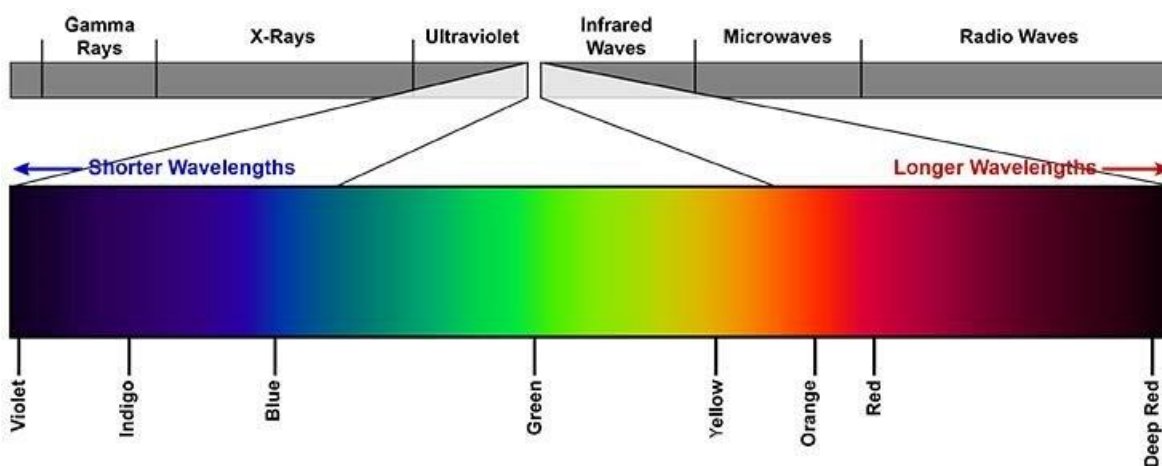


Figura 3.2.1: El espectro electromagnético. En la teledetección, los escáneres multispectrales dividen porciones separadas del espectro y las registran en diferentes bandas.

Las ondas electromagnéticas son ondas que tienen longitud de onda y frecuencia. La longitud de onda es la distancia entre dos puntos de una onda en ciclos consecutivos, generalmente en metros, centímetros o nanómetros. La frecuencia, expresada en hercios Hz, se refiere al número de veces que una onda pasa por un punto en un segundo. La frecuencia disminuye a medida que aumenta la longitud de onda y viceversa, lo que indica una correlación negativa entre las dos propiedades. Longitudes de onda largas y frecuencias bajas, rayos gamma longitudes de onda cortas y frecuencias altas. La ecuación muestra la correlación: $c = \lambda \cdot f$, donde c es la velocidad de la luz, λ es la longitud de onda y f es la frecuencia.

Las imágenes multiespectrales se relacionan directamente con el espectro electromagnético, ya que capturan datos en múltiples bandas específicas de longitudes de onda, más allá del espectro visible, incluyendo el infrarrojo cercano y otras regiones. Estas imágenes permiten la obtención de información detallada sobre las propiedades espectrales de los objetos y materiales fotografiados, lo cual es invaluable en aplicaciones como la teledetección, agricultura, monitoreo ambiental y medicina. Al analizar cómo diferentes materiales reflejan, absorben o emiten radiación en distintas bandas del espectro, las imágenes multiespectrales proporcionan una visión más completa y precisa que las imágenes tradicionales en color.

3.3. Imágenes Multiespectrales e Hiperespectrales

Las imágenes multiespectrales e hiperespectrales capturan información en varias bandas espectrales, lo que permite una mejor discriminación y análisis de los materiales y objetos observados.

Las imágenes multiespectrales capturan datos en un número limitado de bandas espectrales, mientras que las imágenes hiperespectrales registran información en cientos de bandas espectrales estrechas. Según Hardeberg [4], la adquisición de imágenes multiespectrales se realiza utilizando cámaras monocromáticas acopladas con conjuntos de filtros ópticos que permiten seleccionar diferentes rangos de longitudes de onda.

Las imágenes hiperespectrales tienen una mayor precisión en cuanto a la detección de materiales lo cual las hace ideales para aplicaciones específicas como lo pueden ser la agricultura, sin embargo, tienen una desventaja la cual es su gran costo y la generación de grandes volúmenes de datos que son difíciles de procesar. Por otro lado, las imágenes multiespectrales son menos detalladas, pero son más accesibles debido a su costo, estas son ideales para un rango más grande de aplicaciones. La elección en cuanto a que tecnología utilizar depende de la necesidad de precisión y la disponibilidad de recursos.

La importancia de estas imágenes radica en su capacidad para proporcionar información detallada sobre las propiedades espectrales de los objetos, lo que es crucial para aplicaciones en teledetección, monitoreo ambiental y análisis de materiales Liu et al [1].

Históricamente, la teledetección ha evolucionado desde el uso de imágenes en blanco y negro hasta la implementación de tecnologías avanzadas que permiten la captura de información espectral detallada. Esta evolución ha sido impulsada por la necesidad de mejorar la precisión y la resolución de las imágenes para aplicaciones científicas y comerciales.

Las imágenes multiespectrales e hiperespectrales se utilizan en diversos campos como la agricultura, la gestión de recursos naturales, la detección de cambios en el medio ambiente y la vigilancia de desastres naturales.

Para optimizar el uso de estas imágenes, es esencial aplicar técnicas de filtrado adecuadas que mejoren su calidad y resalten características de interés. A continuación, se describen los filtros de imágenes multiespectrales utilizados en este proyecto, incluyendo sus características y aplicaciones específicas.

3.3.1. Filtro Gaussiano

El filtro de desenfoque gaussiano (Gaussian Blur) aplica una función gaussiana a la imagen para suavizarla y reducir el ruido. Este filtro promedia los valores de los píxeles dentro de una vecindad definida, ponderando más los píxeles cercanos al centro de la ventana. El resultado es una imagen más suave, donde el ruido y los detalles finos se reducen. Este tipo de filtro es útil en preprocesamiento de imágenes y en aplicaciones donde es necesario eliminar el ruido antes de aplicar técnicas de análisis más avanzadas.[13]

3.3.2. Filtro de mediana

El filtro de mediana (Median Filter) reemplaza cada píxel de la imagen con la mediana de los valores de los píxeles vecinos. Este filtro es especialmente eficaz para eliminar el ruido de sal y pimienta, ya que preserva los bordes mientras elimina los píxeles ruidosos. A diferencia del desenfoque gaussiano, el filtro de mediana no promedia los valores de los píxeles, sino que selecciona el valor central, lo que lo hace ideal para mantener las características importantes de la imagen. [13]

3.3.3. Filtro bilateral

El filtro bilateral (Bilateral Filter) combina el suavizado espacial y el suavizado de intensidad para preservar los bordes mientras reduce el ruido. Este filtro calcula la media ponderada de los píxeles vecinos, donde las ponderaciones dependen tanto de la distancia espacial como de la diferencia de intensidad entre los píxeles. El filtro bilateral es útil en aplicaciones de imágenes médicas y de edición fotográfica, donde es crucial mantener los bordes nítidos. [13]

3.3.4. Ecuilización de histograma

La ecualización de histograma (Histogram Equalization) es una técnica para mejorar el contraste de una imagen. Esta técnica redistribuye los valores de intensidad de los píxeles para utilizar de manera más uniforme el rango completo de intensidades disponibles. El resultado es una imagen con mayor contraste y detalles más visibles, especialmente en áreas con poca variación de intensidad. Esta técnica es útil en la mejora de imágenes en teledetección y en aplicaciones médicas. **Error! Reference source not found.**

3.3.5. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales (PCA) es una técnica estadística que transforma un conjunto de variables posiblemente correlacionadas en un conjunto de valores de variables linealmente no correlacionadas llamadas componentes principales. En el contexto de imágenes multiespectrales, PCA se utiliza para reducir la dimensionalidad de los datos, preservando la mayor cantidad de información posible. Esto facilita el análisis y la visualización de imágenes complejas, permitiendo la identificación de patrones significativos y la reducción del ruido.**Error! Reference source not found.**

3.3.6. Compuesto de color falso

El compuesto de color falso (False Color Composite) es una técnica que asigna diferentes bandas espectrales a los canales de color rojo, verde y azul para resaltar características específicas de una imagen. Esta técnica es útil para visualizar aspectos de la imagen que no son evidentes en el espectro visible, como la vegetación o las características geológicas. Es comúnmente utilizado en teledetección para análisis de la vegetación y estudios ambientales, proporcionando información valiosa sobre la salud y la densidad de la vegetación. **Error! Reference source not found.**

3.3.7. Índice de vegetación de diferencia normalizada

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) **Error! Reference source not found.** es un indicador simple pero efectivo de la presencia y condición de la vegetación. Se calcula utilizando la fórmula $(NIR - Red) / (NIR + Red)$, donde NIR es la reflectancia en el infrarrojo cercano y Red es la reflectancia en la banda roja. NDVI es ampliamente utilizado en agricultura y estudios ambientales para monitorear la salud de las plantas y la cobertura vegetal. Este índice permite una evaluación rápida y precisa de la biomasa vegetal y la actividad fotosintética.

3.3.8. Razón de bandas Rojas/Verdes

La razón de bandas (Red/Green) **Error! Reference source not found.** es una técnica que calcula la relación entre la reflectancia en la banda roja y la banda verde. Este índice es útil para resaltar diferencias en la cobertura vegetal y en el estado de la vegetación, proporcionando información sobre el vigor de las plantas y la fotosíntesis. Se utiliza frecuentemente en estudios agrícolas y de gestión de recursos naturales para evaluar la salud de los cultivos y la vegetación.

3.3.9. Índice de vegetación por diferencia

El índice de vegetación por diferencia (DVI) es similar al NDVI, pero utiliza la diferencia simple entre las reflectancias en el infrarrojo cercano y el rojo: $DVI = NIR - Red$. Este índice es útil para estudios comparativos de la biomasa vegetal y la densidad de la vegetación, proporcionando una medida directa de la cantidad de vegetación presente en un área determinada. El NDVI demuestra ser un índice útil para monitorear la vegetación a lo largo del tiempo; tal es el caso en un estudio realizado en la provincia de Hebei entre 1998 y 2012 [19]. El trabajo de análisis de vegetación demuestra como la precisión del índice puede verse limitada en áreas con alta densidad de vegetación, en estos casos algunos índices alternativos como EVI (Enhanced Vegetation Index, por sus siglas en inglés) o SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index, por sus siglas en inglés) ofrecen mayor precisión y corrección de factores ambientales.

3.3.10. Índice de vegetación mejorado

El índice de vegetación mejorado (EVI) [22] es una mejora del NDVI que corrige algunos de sus problemas, como la sensibilidad al fondo del suelo y los efectos atmosféricos. La fórmula del EVI es: $EVI = G * (NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * Blue + L)$, donde G es un factor de ganancia, y $C1$, $C2$ y L son coeficientes ajustados empíricamente. EVI es particularmente útil en áreas densamente vegetadas, proporcionando una evaluación más precisa de la vegetación en condiciones variadas.

3.3.11. Índice de vegetación de diferencia normalizada de borde rojo

El índice de vegetación de diferencia normalizada de borde rojo (RENDVI) utiliza bandas del borde rojo y el infrarrojo cercano para calcular la salud de la vegetación. La fórmula es: $RENDVI = (NIR - RedEdge) / (NIR + RedEdge)$. Este índice es más sensible a cambios en la clorofila y la estructura de las hojas, proporcionando una medida más precisa de la salud de la vegetación, especialmente útil en estudios de ecosistemas y monitoreo agrícola. [24]

3.4. Conclusión del capítulo

En el presente capítulo, se ha abordado el espectro electromagnético y su relación con las imágenes multiespectrales e hiperspectrales, destacando cómo estas tecnologías permiten una mejor discriminación y análisis de los materiales y objetos observados. Se ha explicado la importancia de estas imágenes en diversas aplicaciones científicas y comerciales, y se ha detallado la evolución histórica de la teledetección y el uso de tecnologías avanzadas para capturar información espectral detallada. Además, se han descrito los diversos tipos de filtros utilizados en el proyecto, incluyendo Gaussian Blur, Median Filter, Bilateral Filter, Sobel Filter, Histogram Equalization, PCA, False Color Composite, NDVI, Band Ratio (Red/Green), DVI, EVI y RENDVI, resaltando su importancia y aplicaciones específicas.

Estos conceptos y herramientas proporcionan una base teórica sólida para entender cómo se pueden mejorar las imágenes multiespectrales mediante el filtrado, facilitando su interpretación y análisis. La implementación de estos filtros en una interfaz gráfica de usuario (GUI) accesible y fácil de usar representa una contribución significativa al campo del procesamiento de imágenes multiespectrales.

El siguiente capítulo se centrará en el desarrollo metodológico del proyecto, detallando los pasos y procedimientos seguidos para implementar y evaluar la GUI que integra los diversos filtros de imágenes multiespectrales. Se describirán las técnicas utilizadas, el diseño de la interfaz, y los métodos de validación empleados para asegurar la efectividad de la herramienta desarrollada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resumen: *En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del desarrollo de este trabajo y una discusión sobre la relevancia de los filtros aplicados.*

4.1. Resultados

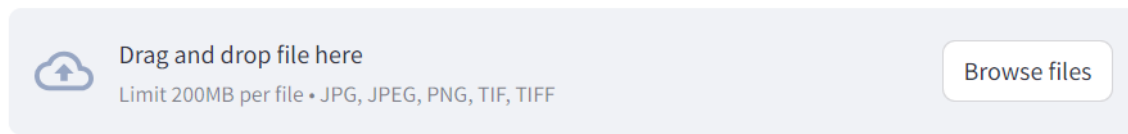
El desarrollo de la GUI se realizó utilizando Python y la librería OpenCV, entre otras herramientas. La interfaz gráfica permite a los usuarios aplicar una variedad de filtros de manera intuitiva, sin necesidad de conocimientos avanzados en procesamiento de imágenes. La GUI ha sido diseñada para ser accesible y fácil de usar, cumpliendo así con el objetivo de democratizar el acceso a técnicas avanzadas de filtrado de imágenes multiespectrales.

La interfaz se puede observar en la Figura 4.1.1.

Multispectral Image Processing

This application allows you to apply various filters and processing techniques to multispectral images. It is designed to help visualize and analyze different aspects of the images using OpenCV functions. You can upload an image and choose from a range of filters such as Gaussian Blur, Median Filter, Bilateral Filter, Sobel Edge Detection, and more. Each filter is applied using OpenCV functions, and you can save the modified image after applying the desired filters.

Choose an image...



For more information and to access the source code, visit the [GitHub repository](#).

Figura 4.1.1: Diseño de interfaz gráfica para manejo de imágenes multiespectrales

Adicionalmente el usuario tendrá a su disposición numerosos filtros después de subir una imagen en el formato soportado por la aplicación, estos filtros muestran en la figura 4.1.2.

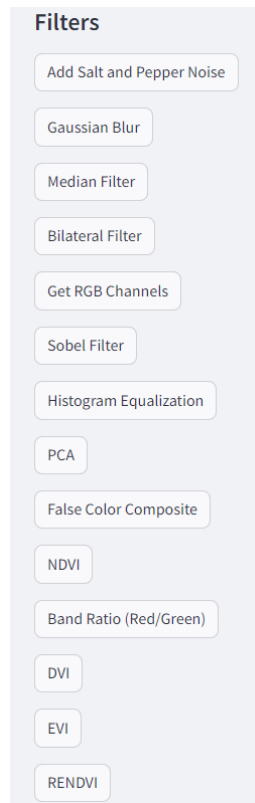


Figura 4.1.2: Filtros soportados por la interfaz grafica

Los algoritmos de filtrado como difusión gaussiana (Gaussian Blur), filtro mediano, (Median Filter), filtro bilateral (Bilateral Filter), y filtro sobel (Sobel Filter) fueron implementados y probados como se muestra en la figura. Cada filtro mostró mejoras significativas en la reducción de ruido y la preservación de detalles importantes en las imágenes multiespectrales. El filtro de difusión gaussiana reduce el ruido al promediar los valores de los píxeles más cercanos, lo que esto hace es eliminar el ruido de alta frecuencia, lo cual resulta en una imagen suave y con menos ruido. Comparado a otros filtros como el filtro bilateral, el filtro gaussiano es menos efectivo manteniendo los bordes. El resultado del filtro de difusión gaussiana se encuentra en la Figura 4.1.3.

El filtro bilateral preserva los bordes mientras suaviza la imagen, para lograr este resultado, el filtro, hace uso de una combinación de suavizado espacial y de intensidad. Este filtro es ideal para aplicaciones donde es de gran importancia mantener los bordes, un ejemplo de estos casos pueden ser en las imágenes médicas y de alta resolución. El resultado del filtro bilateral se encuentra en la Figura 4.1.4.

El filtro Sobel es una técnica para la detección de bordes que para lograr este resultado calcula la derivada de la imagen en dos direcciones, horizontal y vertical, con esto es posible resaltar las áreas donde hay cambios bruscos en la intensidad. El resultado del filtro sobel se encuentra en la Figura 4.1.5.

Gaussian Blur



Original Image



Gaussian Blur

Gaussian Blur is used to smooth the image and reduce noise by applying a Gaussian filter. [OpenCV Documentation](#)

Figura 4.1.3: Comparación entre la imagen original y el Filtro gaussiano

Bilateral Filter



Original Image

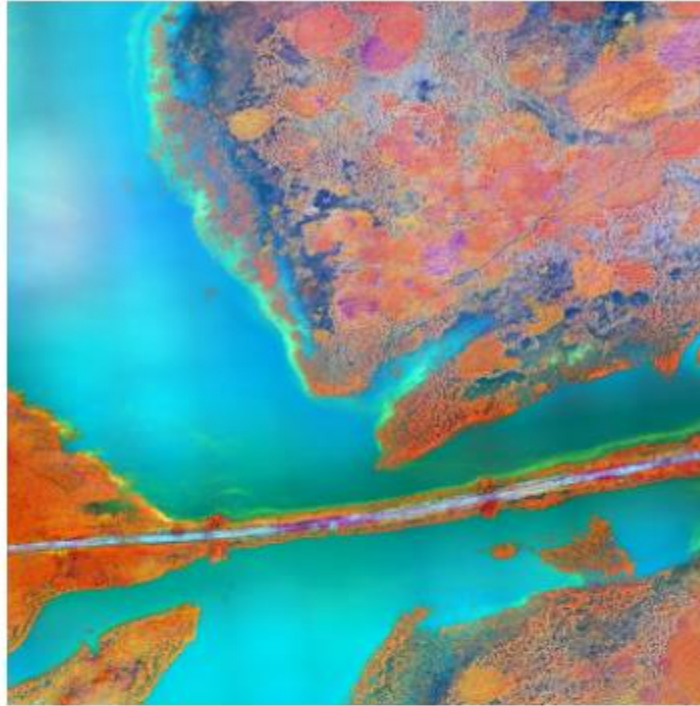


Bilateral Filter

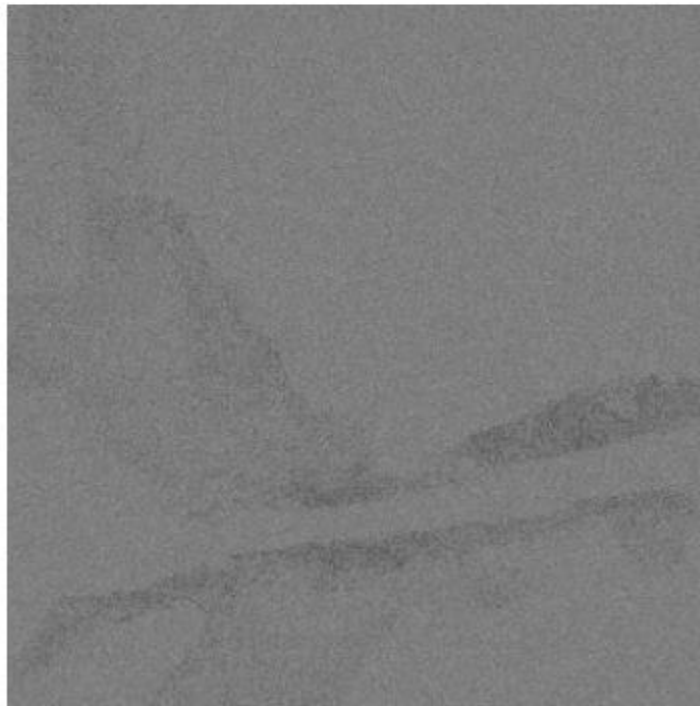
Bilateral Filter is used to reduce noise while keeping edges sharp by considering both spatial closeness and pixel intensity difference. [OpenCV Documentation](#)

Figura 4.1.4: Comparación entre la imagen original y el filtro Bilateral

Sobel Filter



Original Image



Sobel Filter

Sobel Filter is used for edge detection by calculating the gradient of the image intensity at each pixel.
[OpenCV Documentation](#)

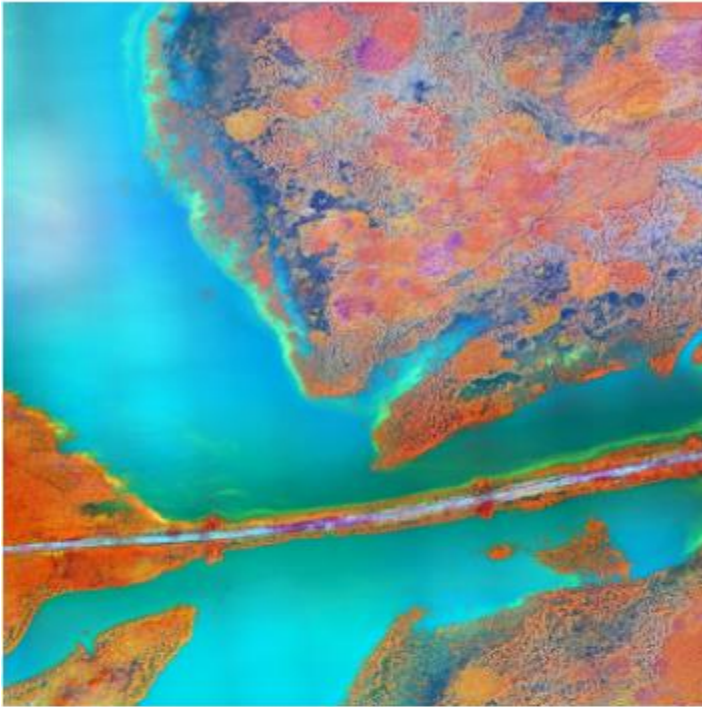
Figura 4.1.5: Comparación entre la imagen original y el filtro sobel

Se implementaron técnicas como False Color Composite y Histogram Equalization para mejorar el contraste y resaltar características específicas de las imágenes, se puede observar la implementación en las figuras: 4.1.6., y 4.1.7.

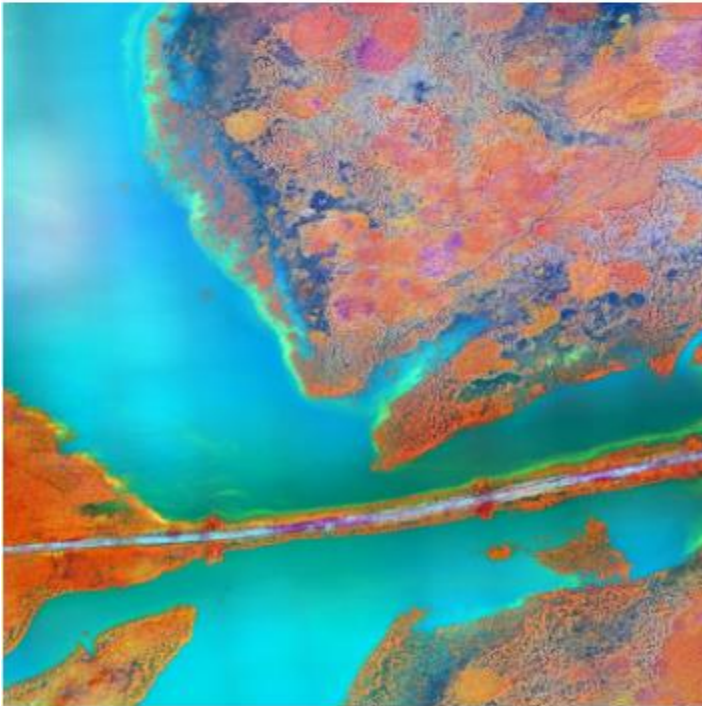
El filtro de compuesto de color falso asigna diferentes bandas espectrales a los canales rojo, azul y verde, esto permite resaltar características que no son visibles en el espectro de luz visible, como la vegetación. Este resultado nos da una mejora en la visualización y comprensión de los elementos específicos que se pueden encontrar en una imagen. Comparando el resultado de este filtro con las imágenes en color natural, el compuesto de color falso proporciona información adicional que es de gran utilidad para aplicaciones de teledetección y estudios ambientales.

La ecualización de histograma mejora el contraste en la imagen, esto se logra redistribuyendo los valores de intensidad de manera uniforme. Esto permita que los detalles sean más fáciles de identificar, lo cual resulta beneficioso para segmentos con un bajo contraste. En comparación con otros filtros como el ajuste de curvas, la ecualización de histograma es más simple, pero puede generar imágenes con un aspecto menos natural por la sobre corrección del contraste en algunos segmentos.

False Color Composite



Original Image



False Color Composite

False Color Composite creates a false color image to highlight certain features.

Figura 4.1.6: Comparación entre la imagen original y el Filtro False Color

Histogram Equalization



Original Image



Histogram Equalization

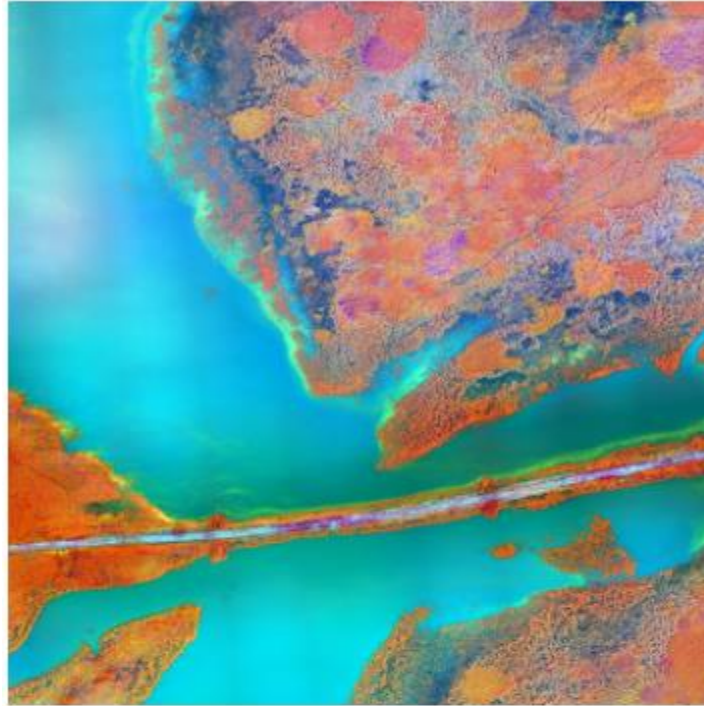
Histogram Equalization enhances the contrast of the image by spreading out the most frequent intensity values. [OpenCV Documentation](#)

Figura 4.1.7: Comparación entre la imagen original y el Filtro Histogram Equalization

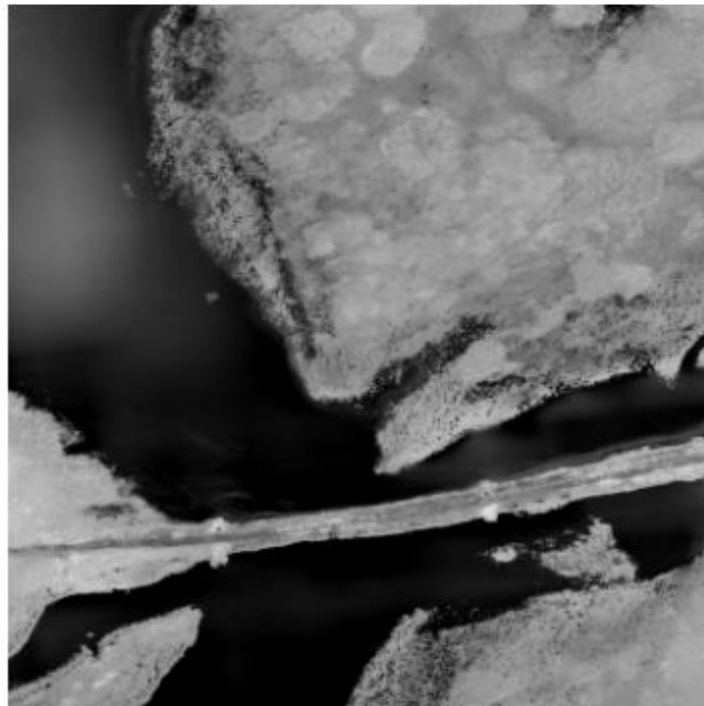
Índices de vegetación como NDVI, DVI, y EVI fueron utilizados para monitorear la salud de la vegetación, mostrando cómo estas técnicas pueden realzar características importantes para aplicaciones agrícolas y de monitoreo ambiental. La demostración de estos filtros es mostrada en las figuras: 4.1.8. , 4.1.9 y 4.1.10. .

Los índices de vegetación tienen la función de realzar características específicas de la vegetación en las imágenes, por lo que sus usos son enfocados en áreas como agricultura y monitoreo ambiental. NDVI permite una evaluación rápida de la salud de la vegetación. Comparando los índices de vegetación podemos observar que NDVI es útil para un primer análisis a que este entra una evaluación rápida, esto conlleva a que la precisión disminuya en áreas con alta densidad de vegetación. Por otro lado EVI corrige algunas de estas limitaciones ya que es menos sensible a los efectos atmosféricos.

NDVI



Original Image

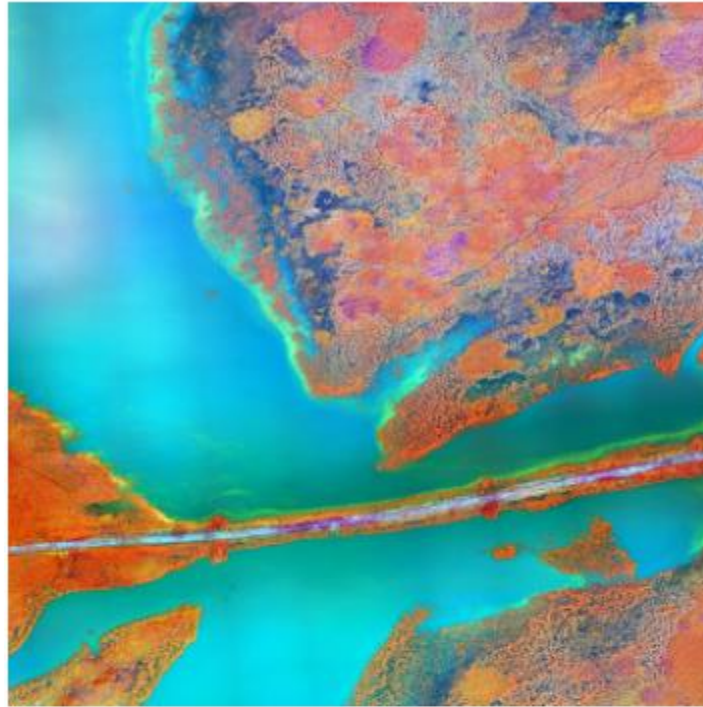


NDVI

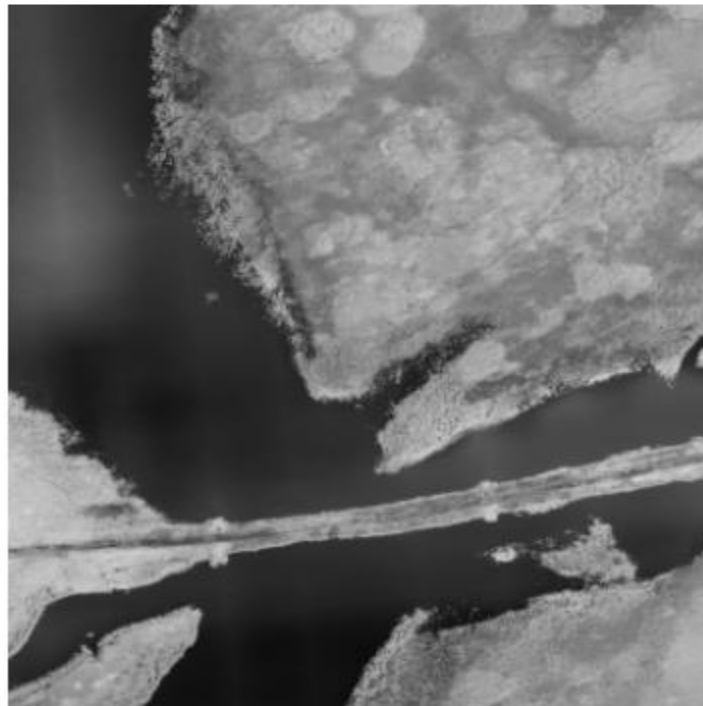
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is used to analyze remote sensing measurements and assess whether the target being observed contains live green vegetation or not.

Figura 4.1.8: Comparación entre la imagen original y el Filtro NDVI

DVI



Original image

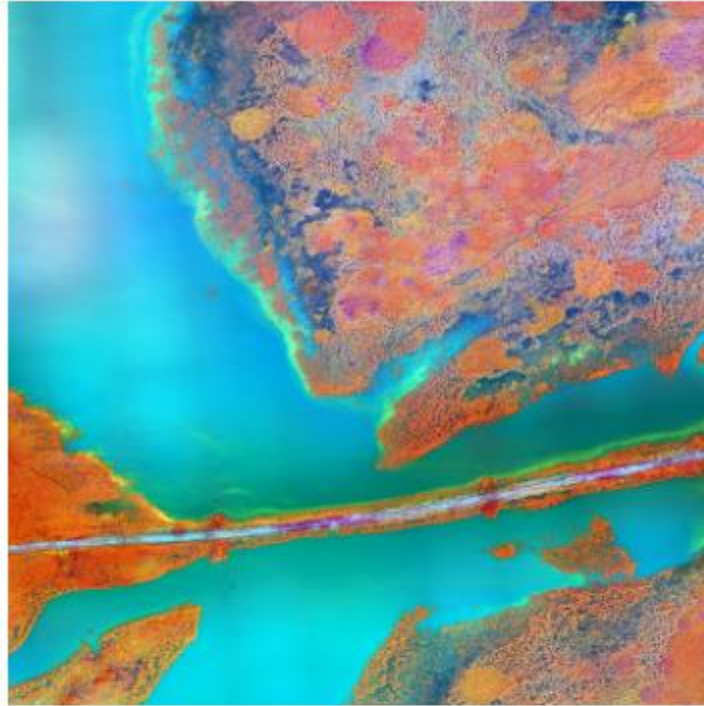


DVI

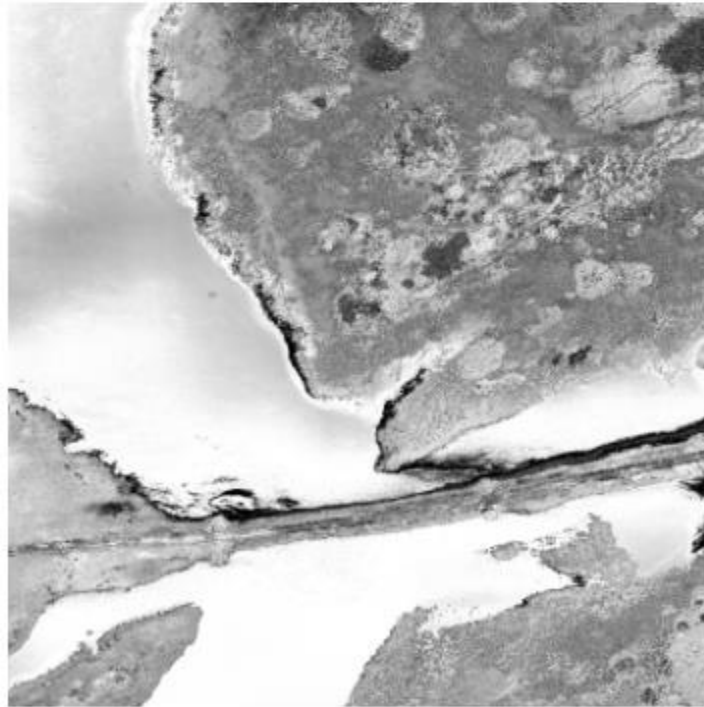
DVI (Difference Vegetation Index) highlights vegetation by subtracting the red band from the near infrared band.

Figura 4.1.9: Comparación entre la imagen original y el Filtro DVI

EVI



Original Image



EVI

EVI (Enhanced Vegetation Index) reduces noise from atmospheric conditions and soil background signals, providing a clearer picture of vegetation.

Figura 4.1.10: Comparación entre la imagen original y el Filtro EVI

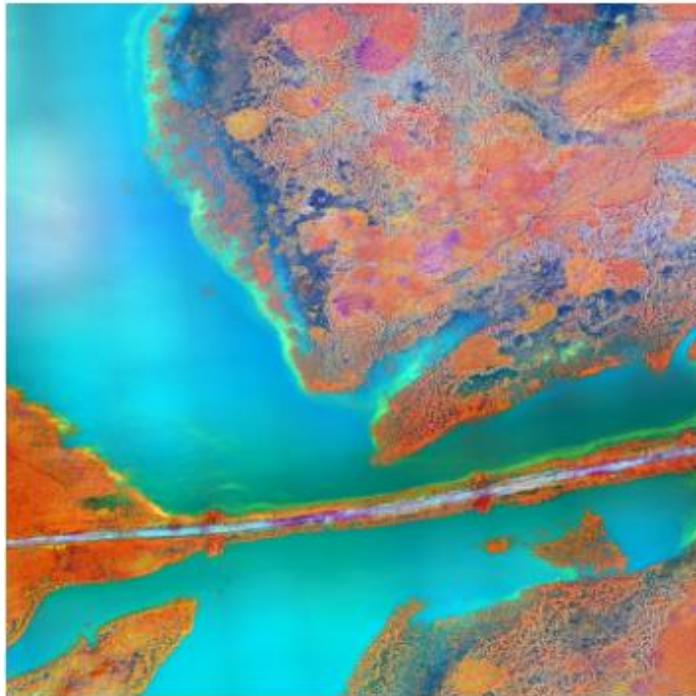
Algunos filtros adicionales fueron los que se incluyen en las figuras: 4.1.11 , 4.1.12. , 4.1.13. , 4.1.14. .

En la figura 4.1.12. se encuentra el resultado del filtro PCA, este filtro reduce la dimensionalidad de las imágenes multiespectrales conservando los componentes principales que contienen la mayor parte de la varianza de los datos. Este filtro se diferencia de otros por el enfoque que se le da en la comprensión de datos y extracción de características.

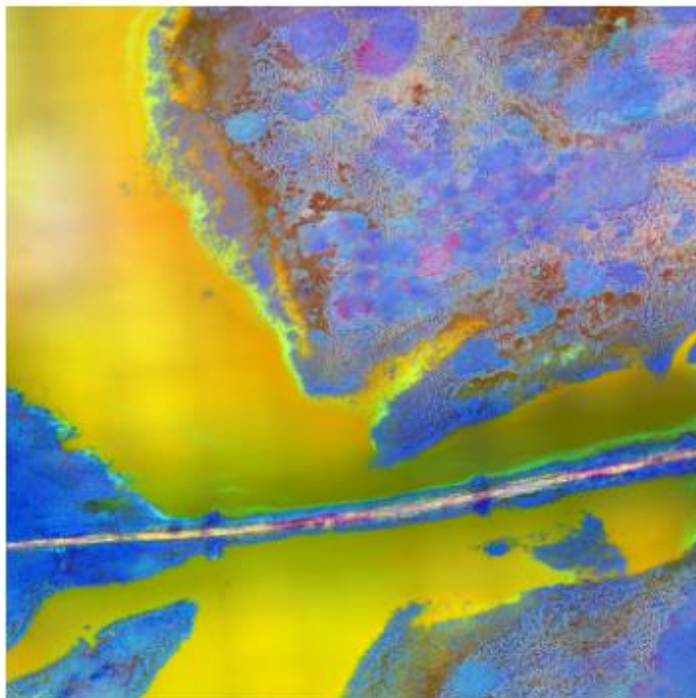
En la figura 4.1.13 se presenta el resultado del filtro de razón de bandas rojas/verdes, este es un índice que tiene como objetivo realizar la comparación de la reflectancia en la banda roja contra la verde, de esta manera se obtiene información sobre la actividad de la vegetación y la fotosíntesis. A diferencia de otros índices como NDVI, la razón de bandas rojas/verdes se enfoca en el análisis de la actividad fotosintética.

En la figura 4.1.14. se encuentra el resultado del índice de vegetación de diferencia normalizada de borde rojo o RENDVI, este índice hace uso de bandas del borde rojo y el infrarrojo cercano para poder evaluar la salud de la vegetación. Comparando este índice contra el NDVI podemos concluir que es favorable utilizar RENDVI en estudios de vegetación donde se busca detectar cambios en la clorofila.

Get RGB Channels



Original Image



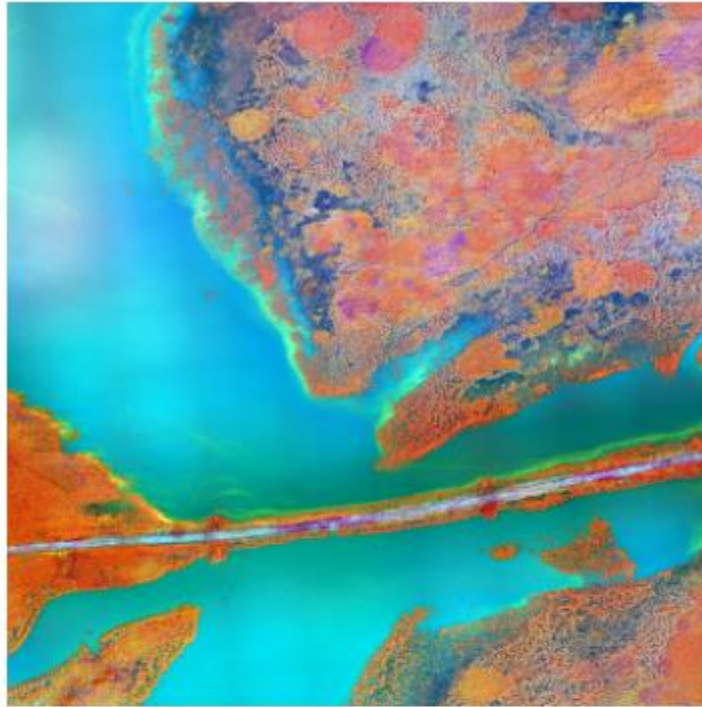
RGB Channels

This operation splits the image into its red, green, and blue channels and then recombines them.

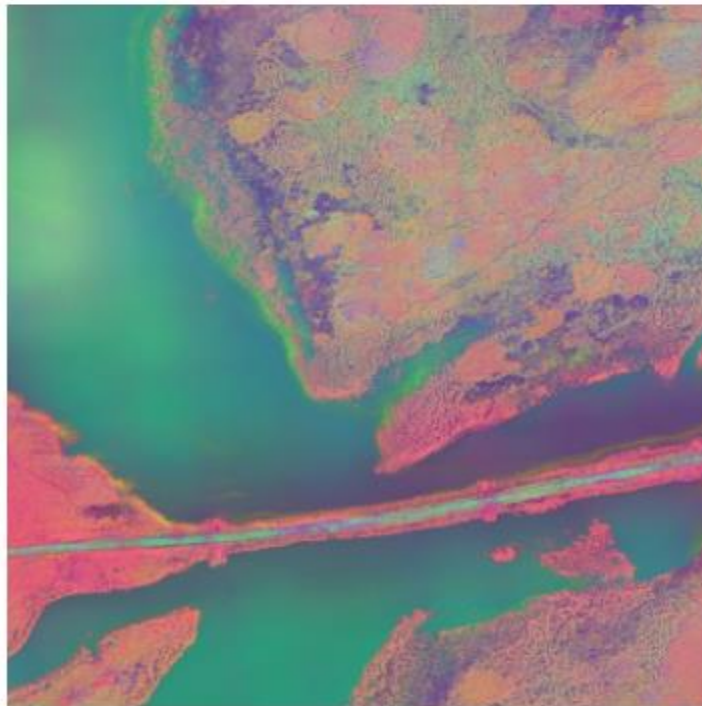
Save Image

Figura 4.1.11: Comparación entre la imagen original y el Filtro RGB channels

PCA



Original Image

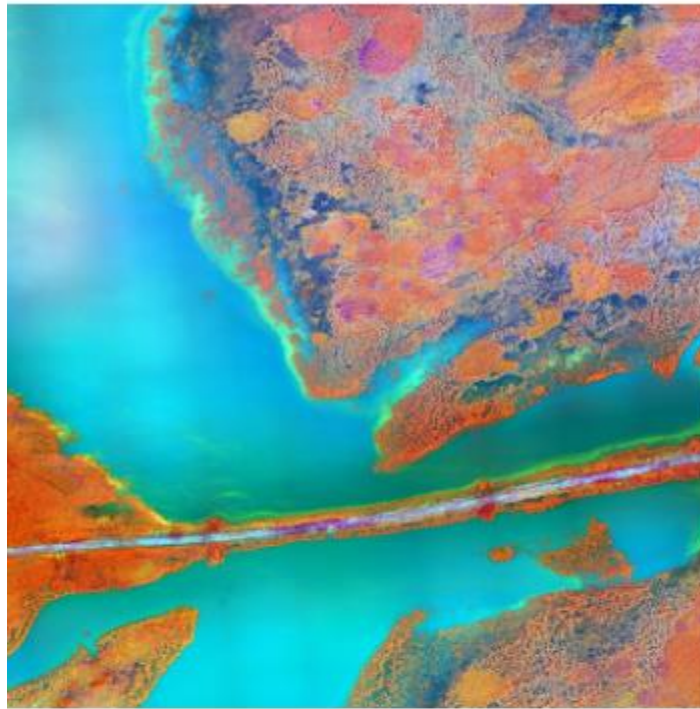


PCA

Principal Component Analysis (PCA) reduces the dimensionality of the multispectral image while preserving important information.

Figura 4.1.12: Comparación entre la imagen original y el Filtro PCA

Band Ratio (Red/Green)



Original Image

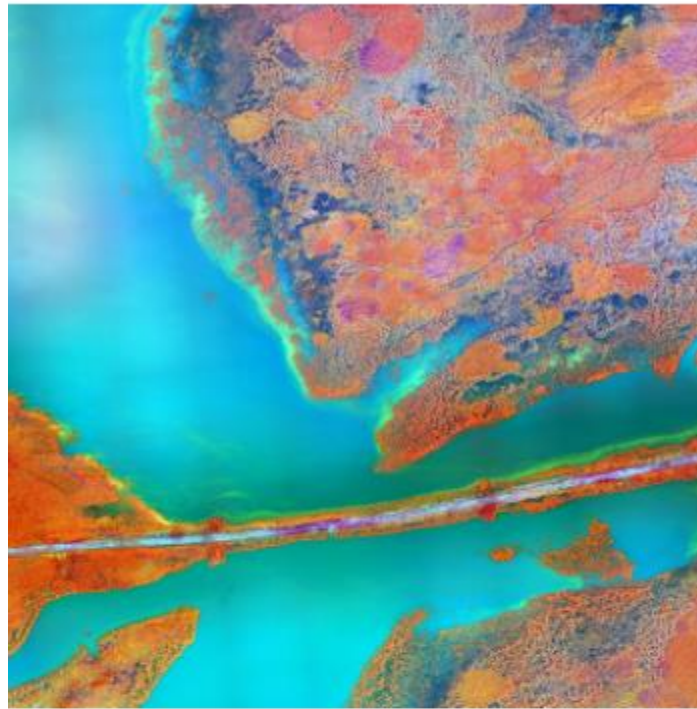


Band Ratio (Red/Green)

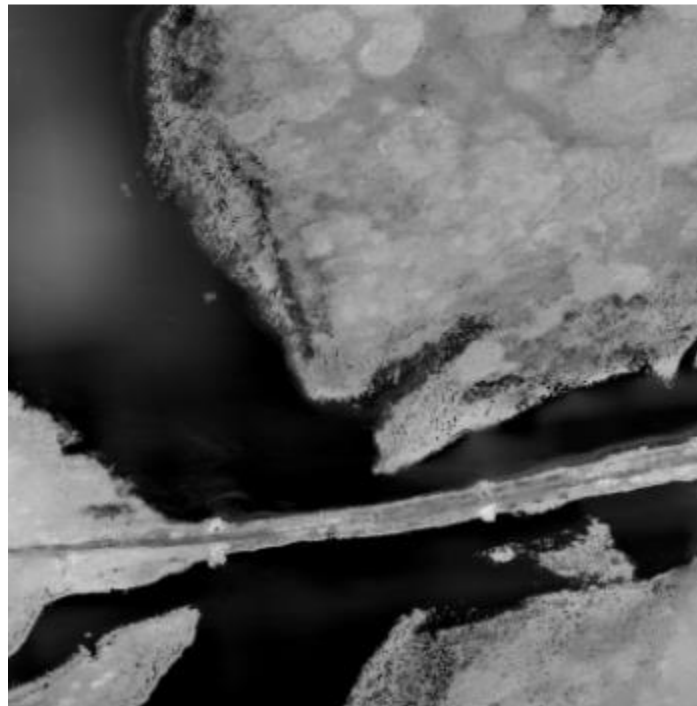
Band Ratio (Red/Green) highlights specific features by dividing the values of the red band by the green band.

Figura 4.1.13: Comparación entre la imagen original y el Filtro Band Ratio

RENDVI



Original image



RENDVI

RENDVI (Red Edge Normalized Difference Vegetation Index) uses the red edge band for better vegetation monitoring.

Figura 4.1.14: Comparación entre la imagen original y el Filtro RENDVI

4.2. Conclusión

Para este proyecto, se desarrolló una GUI utilizando Python y diversas librerías, incluyendo Streamlit, OpenCV, NumPy, PIL y io-BytesIO. El proyecto les da a los usuarios la posibilidad de aplicar una gran variedad de filtros en imágenes multiespectrales, esto de manera intuitiva y accesible. Los filtros implementados, como Gaussian Blur, Median Filter, Bilateral Filter, Sobel Filter, Histogram Equalization, PCA, False Color Composite, NDVI, Band Ratio (Red/Green), DVI, EVI y RENDVI, demuestran ser efectivos mejorando la calidad de las imágenes, resaltando las características de interés para el usuario y reduciendo el ruido en las imágenes. Después de observar los resultados que se obtuvieron después de limpiar distintas imágenes, se puede concluir que el proyecto cumple con el objetivo propuesto, que es mejorar la calidad de los datos espectrales y hacer sencilla la interpretación y análisis de las imágenes multiespectrales. Los filtros incluidos en el proyecto han probado mejorar las imágenes en áreas específicas, ya sea eliminando el ruido, mejorando el contraste o realzando detalles de la vegetación. La capacidad de los usuarios para interactuar con estos filtros de manera sencilla y ver los resultados en tiempo real subraya la eficacia de la herramienta, En resumen, la implementación de esta GUI representa un avance significativo en la democratización del acceso a técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes. La herramienta no solo mejora la calidad y utilidad de las imágenes multiespectrales, sino que también facilita su aplicación en diversas disciplinas, desde la teledetección hasta la medicina y la agricultura de precisión. Los resultados obtenidos confirman la efectividad de los filtros y la usabilidad de la interfaz, logrando así los objetivos establecidos en el proyecto.

Un ejemplo de un área donde se puede hacer uso de estos filtros es la agricultura de precisión, en esta área los agricultores y científicos hacen uso de imágenes multiespectrales para poder monitorear la salud de sus cultivos, hacer detección de plagas y hacer un mejor uso de recursos como agua y fertilizantes. En estas aplicaciones son especialmente útiles NDVI y EVI por su capacidad de evaluar la salud de la vegetación.

Otro ejemplo de uso es la teledetección y gestión ambiental; en esta área las imágenes multiespectrales son usadas para monitorear los cambios en el uso de suelo y el estado de los recursos naturales. Para esta área filtros como compuesto de color falso y análisis de componentes principales son muy útiles debido a su capacidad para resaltar características que no son visibles a simple vista, como lo puede ser la densidad forestal y la presencia de agua.

Un ejemplo adicional del uso de los filtros es en el área de estudios geológicos; en la geología las imágenes multiespectrales son usadas para poder identificar la composición de mineral y la estructura de un terreno. Para esta área filtros como la razón de bandas rojo/verde y el análisis de componentes principales pueden identificar diferentes tipos de rocas y minerales.

5. CONCLUSIONES

Resumen: *En este capítulo se presentan las conclusiones y trabajo futuro en relación con diseño de una interfaz gráfica para procesamiento de imágenes multiespectrales.*

5.1. Conclusiones

En este proyecto, se logró desarrollar una interfaz gráfica de usuario (GUI) que integra diversos filtros para imágenes multiespectrales, cumpliendo con el objetivo general de mejorar la calidad de los datos, reducir el ruido y los artefactos, y resaltar las características de interés. A continuación, se presentan las conclusiones en relación con los objetivos específicos planteados y la hipótesis del trabajo.

Mejorar la calidad de los datos espectrales: La implementación de filtros como Gaussian Blur, Median Filter, Bilateral Filter, y Sobel Filter demostró ser efectiva en la reducción del ruido y la preservación de los detalles importantes en las imágenes multiespectrales. Los resultados experimentales mostraron una clara mejora en la calidad de las imágenes, validando así este objetivo. Un ejemplo de como la ecualización de histograma ayuda a resaltar características y mejorar la interpretación de una imagen multiespectral lo podemos observar en la figura 4.1.7, la ecualización de histograma hace visible los detalles ocultos mejorando el contraste y acentuando las texturas y bordes.

Resaltar características de interés en las imágenes multiespectrales: Técnicas como False Color Composite y Histogram Equalization, junto con índices de vegetación como NDVI, DVI y EVI, permitieron resaltar características específicas de las imágenes, facilitando la identificación y el análisis de elementos importantes. Este objetivo también fue cumplido satisfactoriamente.

Desarrollar una GUI accesible y fácil de usar: La GUI fue diseñada con un enfoque en la usabilidad, permitiendo a usuarios con distintos niveles de experiencia técnica aplicar filtros de manera intuitiva y eficiente. Para evaluar la usabilidad se hizo uso de pruebas internas que simulan diferentes escenarios de uso típico en aplicaciones escolares, agrícolas y de teledetección. En estas pruebas se monitoreo la facilidad de navegación y la claridad de las opciones presentadas en la interfaz. La interfaz visual interactiva y los tutoriales incluidos facilitaron el aprendizaje y el uso de la herramienta, cumpliendo así con este objetivo.

Fomentar la adopción y aplicación de tecnologías avanzadas de filtrado: La GUI desarrollada y los estudios de caso realizados demostraron la utilidad de la herramienta en aplicaciones prácticas, lo que puede incentivar la adopción de estas tecnologías en diversas disciplinas. Este objetivo fue alcanzado, evidenciando la aplicabilidad de la herramienta en contextos reales.

La hipótesis planteada en este trabajo sostenía que la aplicación de técnicas de filtrado de imágenes multiespectrales utilizando algoritmos específicos mejoraría la calidad de los datos, reduciría el ruido y los artefactos, y resaltaría las características de interés, resultando en una mejora significativa en la interpretación y el análisis de las imágenes. Los resultados obtenidos y el cumplimiento de los objetivos específicos confirman esta hipótesis, mostrando que la GUI desarrollada facilita la aplicación de filtros y mejora la calidad de las imágenes multiespectrales. El código desarrollado para este proyecto puede ser encontrado en el repositorio de GitHub [22]. Y la GUI que contiene los filtros para el procesamiento de imágenes multiespectrales está en el sitio de streamlit [23].

5.2. Trabajo Futuro

Para futuras investigaciones y desarrollos, se prevé la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático en la GUI para mejorar aún más el proceso de filtrado y análisis de imágenes multiespectrales. Estos algoritmos podrían aprender de los datos de entrada y ajustar los parámetros de filtrado en tiempo real, optimizando los resultados según las necesidades específicas del usuario. La integración de técnicas de machine learning y deep learning permitirá una personalización avanzada del filtrado, adaptándose de manera dinámica a diferentes condiciones y tipos de imágenes. Un ejemplo práctico de aplicación de aprendizaje automático a la GUI es la incorporación de un modelo que sea capaz de clasificar automáticamente las imágenes según las bandas espectrales que estén incluidas en las mismas, de esta manera se facilita el elegir que filtro usar para poder extraer más características de la imagen.

Además, se planea expandir la compatibilidad de la GUI con diferentes formatos y tipos de sensores de imágenes multiespectrales. Esto permitirá una mayor flexibilidad y aplicabilidad de la herramienta en una variedad más amplia de escenarios y disciplinas, desde la teledetección hasta la biomedicina. También se contempla el desarrollo de módulos adicionales que permitan realizar análisis avanzados y visualizaciones interactivas, proporcionando a los usuarios una herramienta completa y robusta para el procesamiento y análisis de imágenes multiespectrales.

Otro aspecto clave del trabajo futuro será la mejora de la interfaz de usuario para incluir funciones de automatización y scripts personalizables que permitan a los usuarios ejecutar tareas repetitivas de manera más eficiente. Además, se podría integrar una funcionalidad de colaboración en línea para que múltiples usuarios puedan trabajar en el análisis de imágenes de manera simultánea, compartiendo resultados y ajustes en tiempo real.

Finalmente, se espera hacer una integración con la API de Google Earth Engine [24] para poder cargar y manipular imágenes multiespectrales desde diferentes sets de datos.

En conjunto, estas mejoras y expansiones harán de la GUI una herramienta aún más poderosa y versátil, extendiendo su impacto positivo en el análisis y procesamiento de imágenes multiespectrales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Liu, S., Li, H., Zhang, G., Hu, B., & Chen, J. (2024). Using Hyperspectral Reconstruction for Multispectral Images Change Detection. 7th International Conference on Image, Vision and Computing.
- [2] M. Kawase, K. Shinoda and M. Hasegawa, "Demosaicking Using a Spatial Reference Image for an Anti-Aliasing Multispectral Filter Array," in *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 28, no. 10, pp. 4984-4996, Oct. 2019, doi: 10.1109/TIP.2019.2910392.
- [3] J. Jia, K. J. Barnard, and K. Hirakawa, "Fourier spectral filter array for optimal multispectral imaging," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 25, no. 4, pp. 1530–1543, Apr. 2016.
- [4] Hardeberg, J. Y. (2003). Filter Selection for Multispectral Color Image Acquisition. *Journal of Imaging Science and Technology*.
- [5] "Welcome to Python.org," Python Software Foundation. [Online]. Available: <https://www.python.org/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [6] S. Tchynetskyi, R. Peleshchak, I. Peleshchak and V. Vysotska, "A Neural Network Development for Multispectral Images Recognition," 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), LVIV, Ukraine, 2021, pp. 278-284, doi: 10.1109/CSIT52700.2021.9648735.
- [7] Open Source Computer Vision Library. OpenCV. Accessed: June 27, 2024. [Online]. Available: <https://opencv.org/>
- [8] K. J. Shanti, B. Hegde, P. R. Shreya and M. M. Chaitra, "Automated System for Determination of Pupil Size Using Multispectral Imaging," 2021 IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC), Gwalior, India, 2021, pp. 1-4, doi: 10.1109/IBSSC53889.2021.9673177.
- [9] "NumPy," NumPy. [Online]. Available: <https://numpy.org/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [10] "Streamlit," Streamlit Inc. [Online]. Available: <https://streamlit.io/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [11] "Pillow (PIL Fork) Documentation," [Online]. Available: <https://pillow.readthedocs.io/en/stable/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [12] "io — Core tools for working with streams," Python Documentation. [Online]. Available: <https://docs.python.org/es/3/library/io.html>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [13] "Image Filtering in OpenCV," OpenCV Documentation. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/d4/d13/tutorial_py_filtering.html. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [14] "Histogram Equalization," OpenCV. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/3.4/d4/d1b/tutorial_histogram_equalization.html. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [15] "Introduction to Principal Component Analysis (PCA)," OpenCV. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/d1/dee/tutorial_introduction_to_pca.html. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [16] "CUDA-accelerated Image Processing - Color Space Conversions," OpenCV. [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/db/d8c/group__cudaimgproc__color.html. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [17] "What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?," GIS Geography. [Online]. Available: <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [18] "Band Ratioing," ScienceDirect. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/band-ratioing>. Accessed: Aug. 6, 2024.

- [19] Sha Zhang and Jinguo Yuan, "Spatial and temporal change of vegetation in growing seasons in Hebei Province based on SPOTVGT NDVI," 2014 Third International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), Changsha, China, 2014, pp. 408-412, doi: 10.1109/EORSA.2014.6927923
- [20] "Enhanced Vegetation Index (EVI)," Drought Management. [Online]. Available: <https://www.droughtmanagement.info/enhanced-vegetation-index-evi/>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [21] C. Evangelides and A. Nobajas, "Red-Edge Normalised Difference Vegetation Index (NDVI705) from Sentinel-2 imagery to assess post-fire regeneration," Remote Sensing Applications: Society and Environment, vol. 17, p. 100283, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.100283>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [22] Victor, "Multispectral Images GUI," GitHub repository. [Online]. Available: <https://github.com/Victor074/Multispectral-Images-GUI>. Accessed: Aug. 6, 2024.
- [23] MultiSpectral Images GUI. Accessed: Aug. 18, 2024. [Online]. Available: <https://multispectral-images-gui.streamlit.app/>
- [24] "Google Earth Engine," Google. [Online]. Available: <https://earthengine.google.com/>. Accessed: Aug. 6, 2024.