

ESTUDIO MULTITEMPORAL DE LA DISMINUCIÓN DE LOS ÍNDICES NDVI, NDWI, VIGOROSIDAD E INFRARROJO PARA EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE EN EL MUNICIPIO DE PUERTO LÓPEZ, DEPARTAMENTO DEL META, EN LOS AÑOS 2022 Y 2023

Daniel Alejandro Patiño Duque, dapatinodu@unadvirtual.edu.co
Diana Marcela Martínez Murillo, dmmartinezmur@unadvirtual.edu.co
Docente Asesor: John Carlos Ruiz Caicedo, john.ruiz@unadvirtual.edu.co

RESUMEN

Este estudio se centra en la degradación del suelo y la vegetación en los cultivos de palma de aceite en Puerto López, Meta, como resultado de prácticas agrícolas intensivas y no sostenibles. Se propone comparar los índices de vegetación (NDVI) y vigorosidad, analizar el índice de humedad (NDWI), y evaluar la reflectancia infrarroja cercana (NIR) durante los años 2022 y 2023 para entender cómo estos cambios impactan la salud de las plantas y la densidad del cultivo. Utilizando datos satelitales Landsat 8 y Sistemas de Información Geográfica (SIG), se realizará un análisis multitemporal con el fin de desarrollar estrategias para un manejo agroambiental sostenible.

Los resultados del estudio revelaron una disminución significativa en el NDVI entre los años analizados, indicando una reducción en la actividad fotosintética y áreas con menor densidad vegetal. Además, se observó

que, aunque la vigorosidad de la vegetación mostró ciertas mejoras en 2023, estas no fueron consistentes con las condiciones reflejadas por el NDWI, que señaló una disminución en la disponibilidad de agua en los cultivos. Estos hallazgos subrayan la urgencia de implementar estrategias de manejo sostenible para mitigar los efectos negativos de las prácticas agrícolas intensivas. Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo utilizando índices de vegetación derivados de imágenes satelitales, y desarrollar políticas basadas en datos para mejorar la gestión de recursos naturales y proteger el medio ambiente en la región de Puerto López, Meta.

ABSTRACT

This study focuses on soil and vegetation degradation in oil palm crops in Puerto López, Meta, as a result of intensive and unsustainable agricultural practices. It is proposed to compare the vegetation indices (NDVI) and vigor,

analyze the humidity index (NDWI), and evaluate the near infrared reflectance (NIR) during the years 2022 and 2023 to understand how these changes impact the health of the plants and the crop density. Using Landsat 8 satellite data and Geographic Information Systems (GIS), a multi-temporal analysis will be carried out in order to develop strategies for sustainable agro-environmental management.

The results of the study revealed a significant decrease in NDVI between the years analyzed, indicating a reduction in photosynthetic activity and areas with lower plant density. Furthermore, it was observed that, although vegetation vigor showed certain improvements in 2023, these were not consistent with the conditions reflected by the NDWI, which indicated a decrease in water availability in crops.

These findings underscore the urgency of implementing sustainable management strategies to mitigate the negative effects of intensive agricultural practices. It is recommended to establish a continuous monitoring system using vegetation indices derived from satellite images, and develop data-based policies to improve natural resource management and protect the environment in the region of Puerto López, Meta.

PROBLEMA IDENTIFICADO

La problemática de la degradación del suelo y la salud de la vegetación en los cultivos de palma de aceite en el municipio de Puerto López, Meta, se encuentra bien documentada en diversas fuentes científicas y estudios de campo. Según un informe del Instituto Humboldt sobre biodiversidad en Colombia, la expansión de los cultivos de palma de aceite ha resultado en la pérdida significativa de cobertura vegetal natural, lo que afecta negativamente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos asociados (Instituto Humboldt, 2020). Además, estudios de la Universidad Nacional de Colombia han identificado que la conversión de bosques y suelos naturales en plantaciones de palma de aceite conlleva a la pérdida de materia orgánica del suelo y a la disminución de su capacidad de retención de agua, incrementando así el riesgo de erosión y pérdida de nutrientes (Universidad Nacional de Colombia, 2018).

El uso intensivo de agroquímicos como fertilizantes y pesticidas también ha sido un factor crítico. Según un artículo publicado en la revista *Environmental Science and Pollution Research*, el uso indiscriminado de agroquímicos en los cultivos de palma de aceite contribuye significativamente a la contaminación del suelo y las fuentes de agua, afectando tanto la salud de la vegetación como la calidad ambiental

general de la región (Environmental Science and Pollution Research, 2019). Este fenómeno no solo afecta la productividad agrícola a largo plazo, sino que también genera impactos adversos en la salud humana y la biodiversidad local.

En general, los datos respaldados por estas fuentes subrayan la urgencia de implementar prácticas agrícolas sostenibles en los cultivos de palma de aceite en Puerto López. Esto no solo ayudará a mitigar la degradación del suelo y restaurar la salud de la vegetación, sino que también promoverá la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad ambiental en la región.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de palma de aceite se ha consolidado como una de las actividades agrícolas más importantes a nivel mundial, destacando por su alta productividad y versatilidad de uso. En Colombia, este rubro agrícola ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, posicionando al país como el cuarto productor mundial de aceite de palma (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020). La producción nacional de aceite de palma alcanzó aproximadamente 1.6 millones de toneladas en 2023, destacándose su relevancia económica y social para muchas regiones del país, especialmente en departamentos como Meta,

donde municipios como Puerto López se han convertido en epicentros de esta actividad agrícola (Ruíz Álvarez et al., 2022)

La importancia económica de la palma de aceite en Colombia radica no solo en su contribución al PIB agrícola, sino también en su capacidad para generar empleo y dinamizar economías locales (Yuli Andrea Ortiz Mora, 2019). Además, el aceite de palma es un insumo esencial para diversas industrias, incluyendo la alimentaria, cosmética y bioenergética, lo que amplía su demanda y asegura su rentabilidad. Sin embargo, el crecimiento desmesurado de este cultivo sin una adecuada gestión ambiental puede conducir a la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad y otros impactos negativos sobre los ecosistemas (Fontalvo Gómez, 2014)

La expansión de los cultivos de palma de aceite en Colombia, aunque beneficiosa desde un punto de vista económico, ha generado preocupación en torno a su impacto ambiental, especialmente en lo que respecta a la salud del suelo. La falta de tecnologías adecuadas y prácticas agrícolas sostenibles puede provocar erosión, compactación y pérdida de nutrientes del suelo, afectando la capacidad productiva a largo plazo. Las técnicas de teledetección y análisis multiespectral, como los índices de vegetación NDVI y NDWI, son herramientas fundamentales para

monitorear y evaluar estos impactos, permitiendo una gestión más sostenible de los recursos edáficos (Lina & Aura, 2019)

El uso de tecnologías de teledetección y análisis multiespectral en la agricultura permite detectar cambios en la cobertura vegetal y evaluar el estado de salud de los cultivos en tiempo real. Por ejemplo, el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es crucial para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, mientras que el NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado) ayuda a evaluar la humedad del suelo y la vegetación. Estas tecnologías no solo facilitan la identificación de áreas con vegetación vigorosa y saludable, sino que también permiten detectar zonas de estrés vegetal y degradación, ofreciendo datos precisos para la toma de decisiones (Trueba, 2017)

En Colombia, la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y tecnologías avanzadas es cada vez más común entre los cultivadores de palma de aceite. La implementación de sistemas de riego eficiente, manejo integrado de plagas y técnicas de conservación del suelo, como el uso de coberturas vegetales y la rotación de cultivos, son estrategias clave para mitigar los impactos negativos sobre el suelo. Estas prácticas no solo mejoran la salud del suelo, sino que también incrementan la productividad y sostenibilidad del cultivo a largo plazo (Santos, 2021)

El recurso edafológico, vital para cualquier actividad agrícola, puede verse seriamente afectado por la expansión incontrolada de los cultivos de palma de aceite. La degradación del suelo, la pérdida de su estructura y la disminución de su fertilidad son algunas de las consecuencias directas de prácticas agrícolas no sostenibles (López, 2002). Por tanto, es crucial integrar tecnologías de protección ambiental y prácticas de manejo sostenible para preservar la salud del suelo y asegurar la viabilidad a largo plazo de los cultivos de palma de aceite en Colombia.

PALABRAS CLAVE

Teledetección, análisis multiespectral, NDWI, NDVI, infrarrojo, vegetación vigorosa, senescencia.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio Multitemporal para calcular la disminución de los índices NDVI, NDWI, Vigorosidad e Infrarrojo para el Cultivo de Palma de Aceite en el Municipio de Puerto López, Departamento del Meta, en los Años 2022 y 2023 mediante la combinación de imágenes Landsat 8.

METODOLOGIA

Para llevar a cabo este estudio, se realizó una revisión bibliográfica exhaustiva para establecer la metodología apropiada, la cual proporciona directrices fundamentales para investigaciones similares. El enfoque metodológico se centró en la utilización de índices de vegetación para la evaluación de la salud y el estado de los cultivos de palma de aceite en Puerto López, Meta, utilizando imágenes satelitales Landsat 8 adquiridas durante el año 2023. La metodología comprendió las siguientes etapas clave:

1. Adquisición de Datos: Se obtuvieron imágenes satelitales Landsat 8 correspondientes al área de estudio en el municipio de Puerto López, Meta, para el año 2023. Estas imágenes proporcionaron la base para el análisis multitemporal de los índices de vegetación.

2. Preprocesamiento de Imágenes: Las imágenes satelitales fueron preprocesadas para corregir efectos atmosféricos, eliminar píxeles nublados y calibrar los datos radiométricos. Este paso fue crucial para garantizar la calidad y consistencia de los datos utilizados en el análisis.

3. Cálculo de Índices de Vegetación: Se calcularon varios índices de vegetación, incluyendo el NDVI (Índice de

Vegetación de Diferencia Normalizada) y posiblemente el EVI (Índice de Vegetación Mejorado), utilizando las bandas espectrales disponibles en las imágenes Landsat 8. Estos índices proporcionaron métricas cuantitativas de la salud vegetal y la actividad fotosintética en el área de estudio.

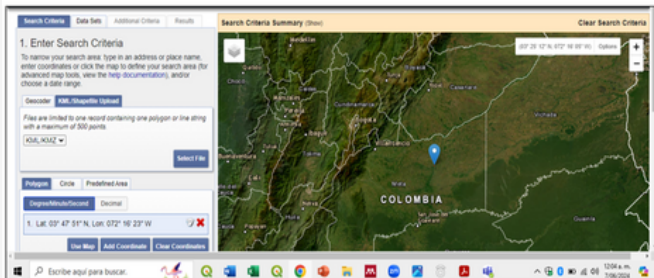
4. Análisis Multitemporal: Se llevó a cabo un análisis comparativo entre los índices de vegetación calculados para diferentes momentos temporales, en este caso, entre 2022 y 2023. Este análisis permitió identificar cambios y tendencias en la cobertura vegetal y evaluar el impacto de las prácticas agrícolas en los cultivos de palma de aceite.

5. Integración con Sistemas de Información Geográfica (SIG): Se utilizó software Qgis para la integración, análisis y visualización espacial de los resultados obtenidos a partir de los índices de vegetación calculados. Esta integración facilitó la identificación de áreas críticas y la interpretación espacial de los cambios observados en las coberturas de dicha área de estudio.

La metodología adoptada no solo permitió una evaluación aproximada de la salud de los cultivos de palma de aceite, sino que también sentó las bases para futuras investigaciones y el desarrollo de estrategias de teledetección para el manejo

FIGURA 4

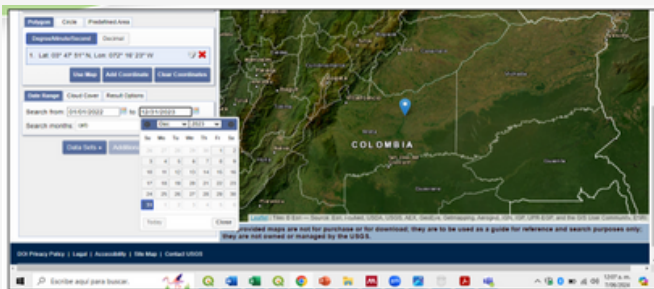
Plataforma earthexplorer.



Elaboración propia: Autores 2024

FIGURA 5

Plataforma earthexplorer.



Elaboración propia: Autores 2024

Selección de fecha de interés en este caso se seleccionó la fecha agosto 2022 a diciembre 2023

FIGURA 6

Plataforma earthexplorer.

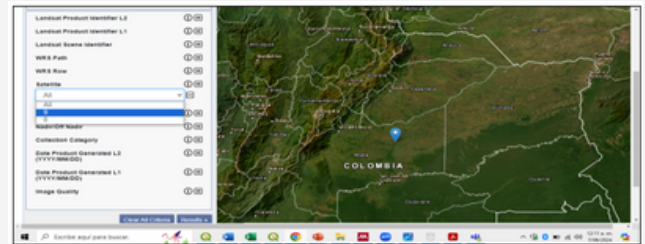


Elaboración propia: Autores 2024

Datos geospaciales y criterios de selección (Landsat 8- Landsat 2 colección nivel 2- Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2).

FIGURA 7

Plataforma earthexplorer.



Elaboración propia: Autores 2024

Otros criterios de selección de orden de búsqueda (Satélite -8 y 9) selección de criterio 9

FIGURA 8

Plataforma earthexplorer.

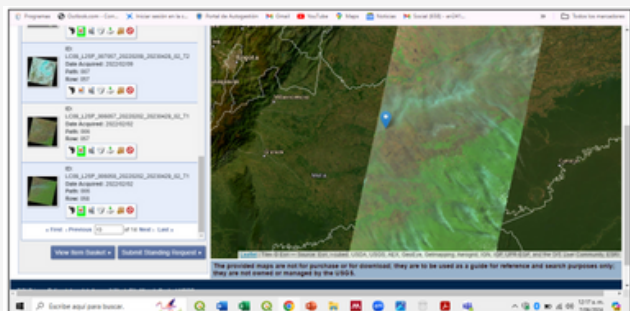


Elaboración propia: Autores 2024

Resultados (Banda 1-12 Landsat 9) rango de fecha de toma de capturas por parte del satélite de observación de la Tierra Landsat (8) de la fecha de toma de captura para los meses agosto 2022 a diciembre 2023.

FIGURA 9

Plataforma earthexplorer.



Elaboración propia: Autores 2024

Seleccionar la imagen del área de interés con corrección atmosférica o con menor grado de nubosidad.

En el software QGIS, es necesario insertar las capas de los archivos ráster obtenidos durante la fase de descarga de información. Luego, se debe utilizar la calculadora ráster o, si es necesario, combinar las capas en el orden que establecen los autores.

Posteriormente luego de la inserción de las capas de los archivos ráster, necesario cargar estas imágenes Landsat 8, las cuales finalmente serán las que nos proporcionan datos multiespectrales esenciales para el análisis de vegetación. Las bandas específicas empleadas para el desarrollo del presente análisis son:

- Banda 4 (Red)
- Banda 5 (Near Infrared, NIR)
- Banda 2 (Blue)
- Banda 6 (Shortwave Infrared, SWIR)

1. Geoproceso.

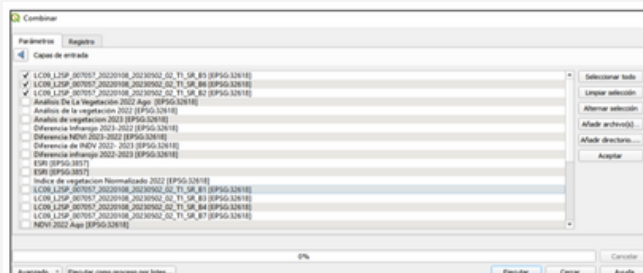
Para la elaboración del geoproceso es requerido cargar las capas de las bandas 5,6,2 en Landsat 8 y 8A,11,2 en Sentinel 2 (Alonso, 2019) en el software de Qgis.

Las imágenes las cuales presenten problemas de nubosidad deben ser corregidas durante el geoproceso o en su defecto buscar otra imagen con un menor grado de incidencia de las nubosidades, seguido a lo anterior si estas imágenes presentan algún tipo de error en su geometría se deberá seleccionar en la caja de herramienta corregir geometría y luego dar inicio al procesamiento de las imágenes ráster, a través del complemento calculador ráster y o herramienta de combinar ráster.

2. Análisis de Vegetación

FIGURA 10

Paso3: agrupe las imágenes deben estar en sus respectivo orden según indica (Alonso, 2019), dado que algún cambio puede generar un índice diferente generando un error en el procesamiento.

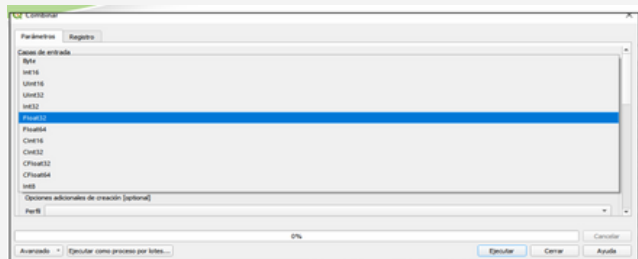


Elaboración propia: Autores 2024

Vegetación Vigorosa: Para detectar la vegetación en un estado saludable, se emplea la combinación de las bandas 5, 6 y 2 en Landsat 8, y 8A, 11 y 2 en Sentinel 2(Alonso, 2019)

FIGURA 11

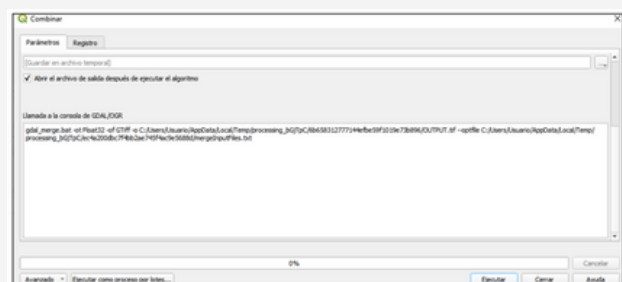
Paso 4: Tipos de datos de salida, seleccione Float 32



Elaboración propia: Autores 2024

FIGURA 12

Paso: 3 Seleccione la carpeta de su interés para guardar el Ráster resultante,

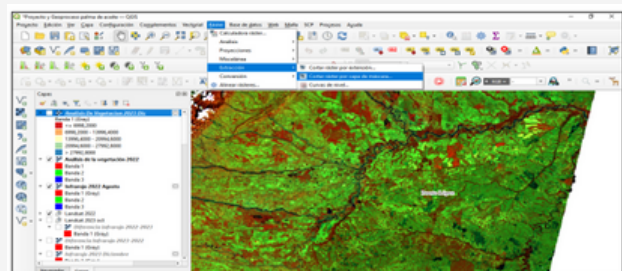


Elaboración propia: Autores 2024

Paso 4: Hacer clic en ejecutar

FIGURA 13

Paso 5: Dirigirse a la barra de herramientas de proceso ubicar Ráster

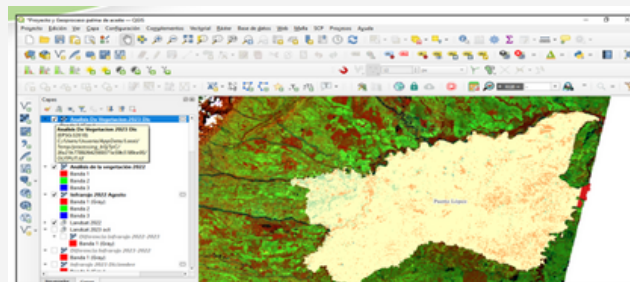


Elaboración propia: Autores 2024

Extracción y cortar Ráster por capa de mascara, para ello se debe contar con una capa de mascara del área de estudio, en este caso Puerto López

FIGURA 14

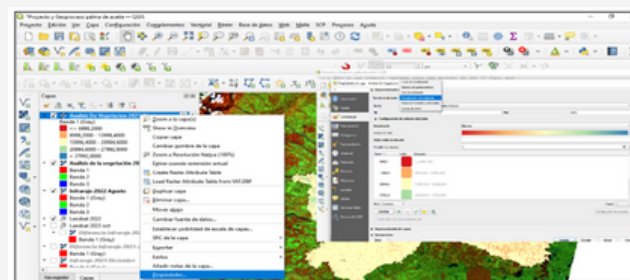
Paso 6: Capa Resultante



Elaboración propia: Autores 2024

FIGURA 15

Paso 7: Dirijase a Propiedades y secciones

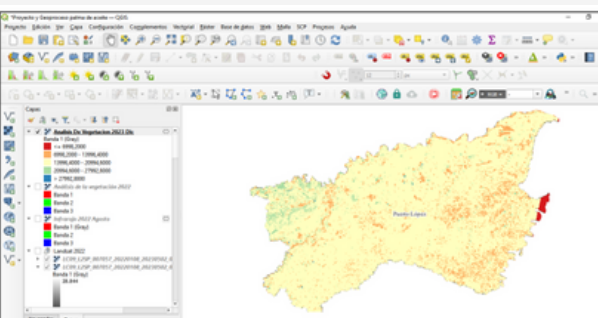


Elaboración propia: Autores 2024

en simbología pseudocolor monobanda, en interpolación seleccionar discreto y clic en aplicar y aceptar

FIGURA 16

Ilustración 1 Análisis De Vegetación 2023 Dic



Elaboración propia: Autores 2024

Vegetación vigorosa: La vegetación vigorosa se define como aquella que exhibe signos de óptima salud, con un crecimiento vigoroso, una elevada tasa de fotosíntesis y una densidad de biomasa alta. Este tipo de vegetación se distingue por su color verde intenso, atribuido a la presencia abundante de clorofila, lo que señala una capacidad elevada para absorber luz en las longitudes de onda del rojo y reflejarla en las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR)

Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI): El NDWI Se emplea como una medida de la cantidad de agua presente en la vegetación o el nivel de saturación de humedad en el suelo. Para calcular este índice, se utiliza la siguiente combinación de bandas: Landsat 8: $(\text{Banda } 3 - \text{Banda } 6) / (\text{Banda } 3 + \text{Banda } 6)$, Sentinel 2: $(\text{Banda } 3 - \text{Banda } 11) / (\text{Banda } 3 + \text{Banda } 11)$ (Alonso, 2019).

FIGURA 17

Ilustración 5

Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)	
Alto	
Medio	
Moderado	
Bajo	

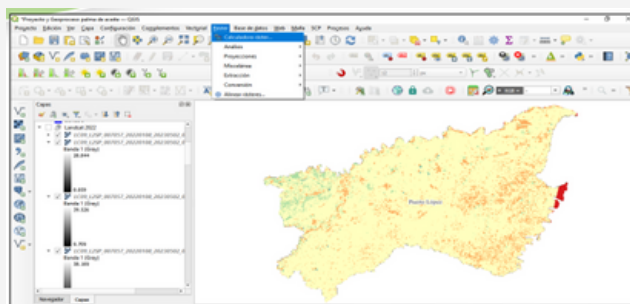
Elaboración propia: Autores 2024

Para llevar a cabo el geoproceso, es necesario cargar las capas de las bandas (5-4) en la calculadora ráster y realizar la operación $(5-4) / (5+4)$ para Landsat 8, y $(8-4) / (8+4)$ para Sentinel 2 (Alonso, 2019).

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI): la Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) es una medida utilizada para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Para calcular este índice, se deben operar con las bandas de la imagen de la siguiente manera: Landsat 8: $(\text{Banda } 5 - \text{Banda } 4) / (\text{Banda } 5 + \text{Banda } 4)$, Sentinel 2: $(\text{Banda } 8 - \text{Banda } 4) / (\text{Banda } 8 + \text{Banda } 4)$.(Alonso, 2019).

FIGURA 18

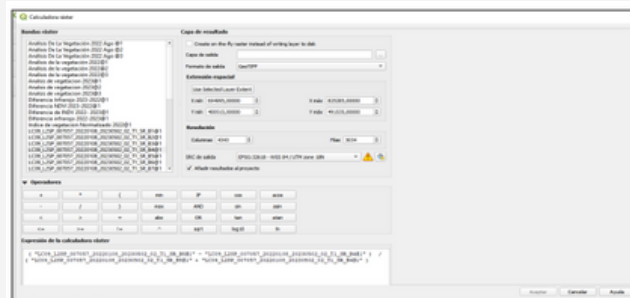
Paso 1.1 Calculadora Ráster: AbrirCalculadora Ráster



Elaboración propia: Autores 2024

FIGURA 19

Paso 1.2 Calculadora Ráster: : Landsat 8 $(5-4) / (5+4)$, Sentinel 2 $(8-4) / (8+4)$ (Alonso, 2019)

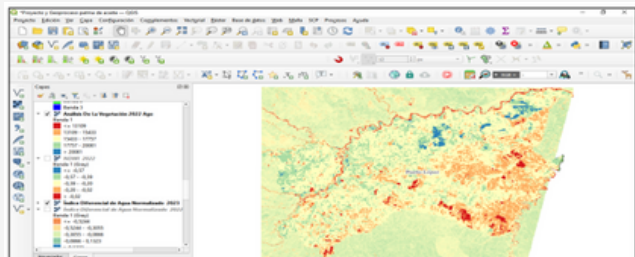


Elaboración propia: Autores 2024

Paso 1.3: Seleccione la carpeta de almacenamiento de capa resultante y ejecutar.

FIGURA 20

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)



Elaboración propia: Autores 2024

FIGURA 21

Ilustración 21

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)	
Actividad fotosintética Activa	
Actividad fotosintética Moderada	
Estrés Fotosintético	
Senescencia o ninguna vegetación.	

Elaboración propia: Autores 2024

Infrarrojo: Es una combinación de bandas que muestra una buena sensibilidad a la vegetación verde, la cual se representará en tonalidades rojas debido a su alta reflectividad en el infrarrojo y baja en el espectro visible. Esta combinación también permite visualizar con claridad caminos y cuerpos de agua. Además, los bosques coníferos se presentan con tonos de rojo más oscuros, mientras que los bosques caducifolios tienen un tono de rojo más claro (Alonso, 2019).

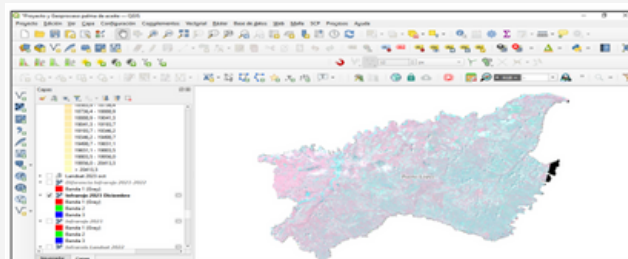
Las tonalidades más comunes en una composición de falso color son:

- Rojo: Indica vegetación sana y bien desarrollada.

- Rosa: Áreas con vegetación menos densa o menos desarrollada.
- Blanco: Áreas con vegetación escasa o nula.
- Azul oscuro o negro: Indica la presencia de agua.
- Marrón: Vegetación arbustiva de variada densidad.
- Beige-dorado: Zonas de transición, prados secos asociados a matorrales disperso (Alonso, 2019).

FIGURA 22

Infrarrojo



Elaboración propia: Autores 2024.

Índice de Vegetación Mejorado (EVI): El Índice de Vegetación Mejorado (EVI) proporciona información útil para monitorear el estado de la vegetación, especialmente en casos de altas densidades de biomasa (Alonso, 2019). Para calcularlo, se deben operar con las bandas de la imagen según la siguiente fórmula: $(EVI) = G * (5 - 4) / (5 + C1 * 4 - C2 * 2 + L)$, Sentinel 2 $G * ((B8A - B04) / ((B8A + C1 * B04 - C2 * B02) + L))$ (Alonso, 2019).

Dónde L=1, C1 = 6, C2 = 7.5, y G (gain factor) = 2.5.

Donde:

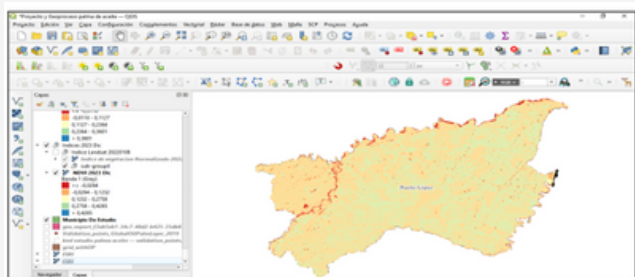
- G: es el factor de ganancia (constante).

·C1 y C2: son constantes para ajustar el efecto de la atmósfera.

·L: es el valor de corrección del suelo

FIGURA 23

NDWI 2023



Elaboración propia: Autores 2024

Estas fórmulas deben ser ingresadas en la calculadora ráster de acuerdo con las bandas disponibles en el conjunto de datos que estás utilizando.

Nota: Para calcular el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) e Infrarrojo, debes seguir los pasos previamente mencionados en el análisis de la calculadora ráster. Esto implica cargar las bandas necesarias en el software que estás utilizando, ingresar las fórmulas correspondientes en la calculadora ráster, ajustar cualquier parámetro necesario y ejecutar el proceso para obtener los resultados deseados.

Landsat 8 es un satélite de observación terrestre que proporciona imágenes con diferentes resoluciones espaciales y dimensiones de longitud de onda en sus bandas. Estos datos son fundamentales para una variedad de análisis multispectrales y de fotointerpretación.

Para conocer las respectivas resoluciones espaciales remítase a:

<https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>

Estas especificaciones son importantes para comprender la capacidad y el rendimiento del satélite Landsat 8 en la adquisición de datos para diversas aplicaciones científicas y de monitoreo ambiental (Analytics, 2021).

RESULTADOS

Los resultados que se evidenciaron para el presente estudio consistieron en:

1.Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI):

- **Composición del año 2022:** La vegetación manifestó un mayor índice de actividad fotosintética activa, con algunas áreas de vegetación menos densa. Las tonalidades fluctuaban entre amarillo y rojo, donde el rojo representaba áreas sin actividad fotosintética, ya sea por ausencia de vegetación, suelo desnudo o cuerpos de agua.
- **Composición del año 2023:** El índice de vegetación disminuyó en comparación con 2022 en todas las bandas. Esta disminución fue de 1.5 decimales en cada banda. Al revisar el mapa de composición de diferencia entre los dos años, se observa que las zonas con valores negativos, según la leyenda, son áreas que sufrieron cambios.

2. Vegetación Vigorosa:

- Para el año 2023, la vegetación o su vigorosidad en la cobertura del suelo mejoró. Sin embargo, esta mejoría no es congruente con el Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) registrado para el mismo año. En comparación, el NDWI de 2022 mostró un mejor comportamiento.
- La mejora se evidencia en la disminución de las áreas que sufren cambios bruscos o fluctuaciones significativas, como se observa en la composición del infrarrojo. En esta composición, la cobertura representadas en tonalidades oscuras, representa las coberturas sanas, más desarrolladas que no han sufrido cambios, en contraste con las áreas más opacas que indican pérdida en sus índices.

3. Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI):

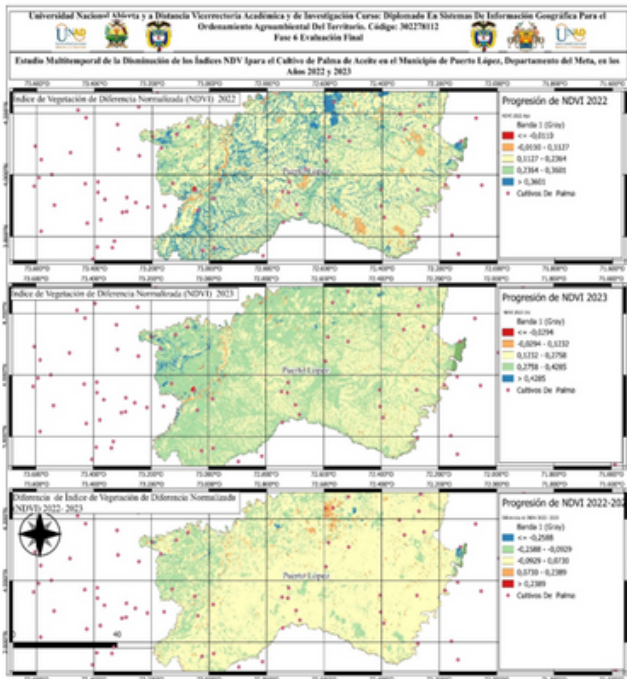
- La comparación entre los dos años muestra que el NDWI disminuyó en 2023 respecto a 2022, señalando una menor cantidad de agua o saturación de humedad en la vegetación y el suelo.
- Este comportamiento también se refleja en los cambios observados en la vegetación vigorosa y en la composición del infrarrojo, donde las áreas sanas y desarrolladas disminuyeron en 2023.

4. Análisis General:

- Cada índice corrobora los resultados del NDVI. Los cambios en la cobertura vegetal están ligados a las actividades agrícolas que inciden en el desarrollo de las coberturas vegetales.
- La disminución en los índices de vegetación y agua sugiere un impacto negativo de las prácticas agrícolas intensivas, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible y tecnologías de protección ambiental para mitigar estos efectos ya que la actividad fotosintética de estas.
- Estos resultados destacan la importancia de monitorear continuamente los índices de vegetación y agua para gestionar adecuadamente las prácticas agrícolas y proteger el medio ambiente en el municipio de Puerto López, departamento del Meta.

FIGURA 24

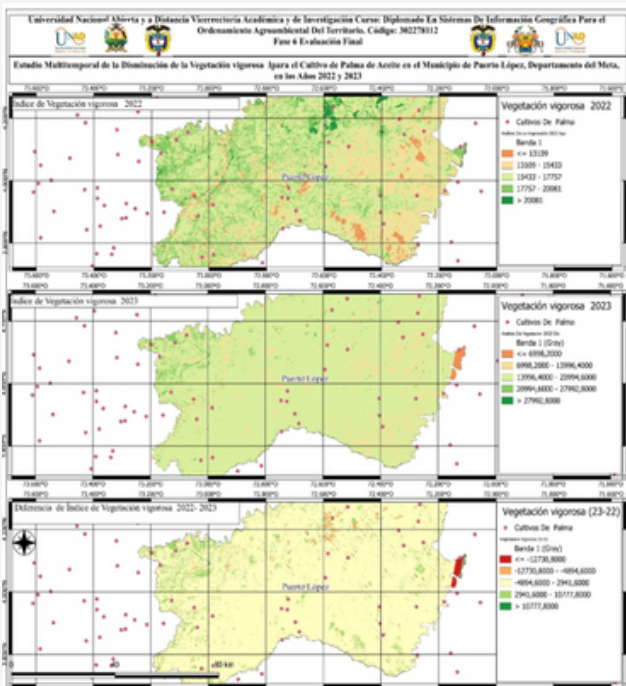
Ilustración 6



Elaboración propia: Autores 2024
Análisis índices de vegetación (NDVI, NDWI, vigorosidad e infrarrojo) en los cultivos de palma de aceite en Puerto López, Meta, durante 2022 y 2023.

FIGURA 25

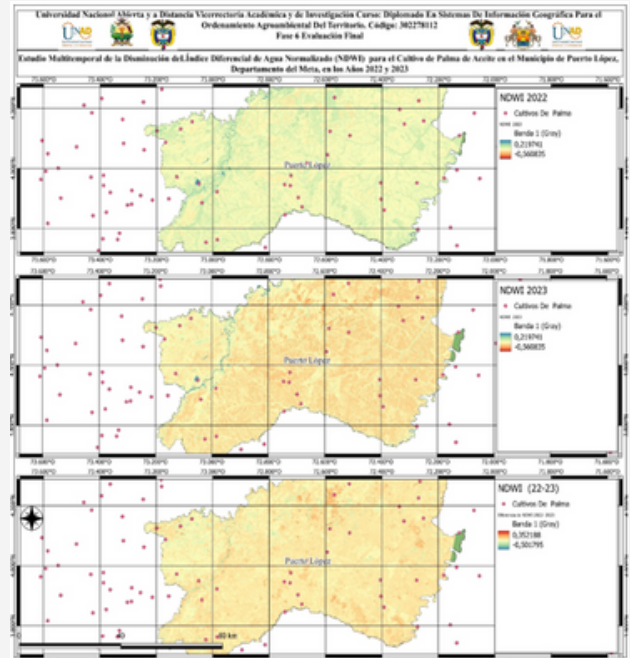
Ilustración 7



Elaboración propia: Autores 2024
Vegetación vigorosa

FIGURA 26

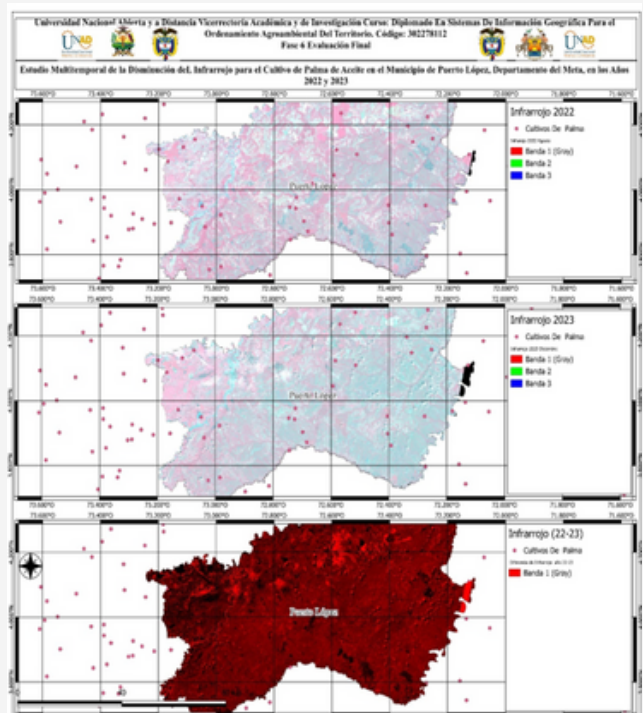
Ilustración 8



Elaboración propia: Autores 2024
Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI)

FIGURA 27

Infrarrojo



Elaboración propia: Autores 2024

RECOMENDACIONES

1. Monitoreo y Evaluación del Estado de Salud de la Vegetación de Palma de Aceite: Para abordar el primer objetivo específico ya que es esencial establecer un sistema de monitoreo continuo que utilice índices de vegetación como NDVI y EVI derivados de imágenes satelitales Landsat. Este sistema debe implementarse de manera regular, preferiblemente con actualizaciones trimestrales o mensuales, para captar los cambios estacionales y responder rápidamente a cualquier señal de estrés o degradación en los cultivos de palma de aceite. Además, es recomendable realizar capacitaciones técnicas para los agricultores y técnicos locales en el uso de estas tecnologías, asegurando así que los datos recolectados se interpreten correctamente y se apliquen adecuadamente en el manejo de los cultivos.

2. Generación de Información para la Formulación de Políticas y Manejo Sostenible: En línea con el segundo objetivo específico, se recomienda desarrollar una base de datos geoespacial detallada que compile la información obtenida a partir de las imágenes satelitales. Esta base de datos debe ser accesible para las autoridades locales y los responsables de la formulación de políticas. Además, se debe fomentar la colaboración entre entidades gubernamentales, académicas y organizaciones no gubernamentales para asegurar que los datos se utilicen

de manera efectiva en la creación de políticas de conservación y manejo sostenible. Es fundamental incluir la validación de estos datos mediante inspecciones de campo periódicas, lo que permitirá ajustar y mejorar las políticas y estrategias basadas en información real y actualizada.

3. Desarrollo de Modelos de Investigación para el Monitoreo y Mejora de la Producción Agrícola: Para el tercer objetivo específico, se recomienda desarrollar modelos de investigación que integren datos de teledetección y SIG con prácticas agrícolas sostenibles. Estos modelos deben incluir guías prácticas y estrategias que los agricultores puedan seguir para mejorar la sostenibilidad y productividad de sus cultivos. Se debe promover la investigación continua y la innovación en técnicas de cultivo, como el uso de cobertura vegetal, rotación de cultivos y prácticas de conservación del suelo, para mitigar el impacto negativo de la agricultura en los recursos edáficos. Además, la implementación de tecnologías avanzadas como drones y sensores en campo puede complementar los datos satelitales y proporcionar información más detallada y en tiempo real sobre el estado de los cultivos y del suelo. Estas acciones contribuirán a un manejo más efectivo y sostenible de los cultivos de palma de aceite en la región de Puerto López, departamento del Meta

CONCLUSIONES

El presente estudio destaca la importancia crítica del monitoreo y evaluación de la salud de los cultivos de palma de aceite en el municipio de Puerto López, Meta, mediante el uso de índices de vegetación como el NDVI y EVI. La identificación de la problemática relacionada con la degradación del suelo y el estrés vegetal revela un panorama preocupante donde la expansión de estos cultivos sin prácticas sostenibles está afectando negativamente el ecosistema local. Los resultados obtenidos a través del análisis de imágenes satelitales Landsat de 2023 muestran claras evidencias de áreas con vegetación saludable y otras con signos de degradación, lo cual es esencial para tomar decisiones informadas en términos de manejo agrícola y conservación ambiental.

El análisis multitemporal de los índices de vegetación permitió detectar cambios significativos en la cobertura vegetal, proporcionando información valiosa para la formulación de políticas y estrategias de manejo sostenible. La metodología empleada, basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), ha demostrado ser eficaz en la recopilación y análisis de datos espaciales, facilitando la identificación de zonas críticas y la evaluación del impacto de las prácticas agrícolas en la salud del suelo y la vegetación. Este enfoque integrador resalta la necesidad

de implementar tecnologías de protección ambiental y prácticas agrícolas sostenibles para mitigar los efectos negativos de la agricultura intensiva de palma de aceite.

Las recomendaciones derivadas del estudio enfatizan la adopción de prácticas sostenibles y el uso de tecnologías avanzadas para mejorar la productividad y la sostenibilidad de los cultivos. La implementación de sistemas de monitoreo continuo mediante SIG y la utilización de índices de vegetación son esenciales para la gestión eficiente de los recursos naturales. Además, la información generada puede servir como base para futuras investigaciones y políticas de conservación, promoviendo un equilibrio entre la producción agrícola y la protección del medio ambiente. En conclusión, este estudio subraya la importancia de un enfoque basado en datos para abordar los desafíos agroambientales y garantizar un desarrollo agrícola sostenible en la región.

BIBLIOGRAFÍAS

Alonso, D. (2019). Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel. Mapping Gis. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>

Analytics, E. D. (2021). Bandas Landsat 8: Combinaciones Y Usos En

Imágenes. Andsat 8 Es Un Satélite de Observación de La Tierra Construido, Lanzado y Operado En La Colaboración de La NASA Con El USGS. El Estudio de Los Datos Se Realiza Mediante Dos Sensores Principales. El Satélite Opera En Luz Visible, Infrarrojo Cercano, Infrar. <https://eos.com/es/blog/bandas-landsat-8/>

Earth Engine. (2024). Earth Engine Data Catalog. <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>

Fontalvo Gómez, M. (2014). El aceite de palma africana *elae guineensis*: Alternativa de recurso energético para la producción de biodiesel en Colombia y su impacto ambiental. *Prospectiva*, 12(1), 90. <https://doi.org/10.15665/rp.v12i1.155>

Lina, R., & Aura, R. (2019). Monografía de estudio sobre los impactos ambientales que generan el cultivo y producción de palma de aceite africana (*Elaeis Guineensis jacq.*) en el departamento del Meta. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 113.

López, R. (2002). Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. In Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial universidad de los andes. <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). Cadena de palma de aceite, indicadores e instrumentos. Minagricultura, 1–25. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Palmaa/Documentos/2020-03-30CifrasSectoriales.pdf>

Ruíz Álvarez, E., Mosquera-Montoya, M., Munevar, D. E., Vargas, L. E., & Vélez Zape, J. C. (2022). Productividad laboral en plantaciones de palma de aceite en Colombia. In *Productividad laboral en plantaciones de palma de aceite en Colombia (Issue 43)*. <https://doi.org/10.56866/9789588360966>

Santos, Á. (2021). Adopción de tecnologías en conservación de suelos por el pequeño productor rural de yuca en Yacopí Cundinamarca. 73. https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias/20/

Trueba, S. (2017). Análisis de imágenes multiespectrales aéreas de vegetación. Trabajo de Fin de Grado Para Acceder Al Título de Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación. Escuela Técnico Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria. Santander, España., 78. <http://hdl.handle.net/10902/11979>

YULI ANDREA ORTIZ MORA. (2019). LA PALMA DE ACEITE COMO EJEMPLO PARA LA AGROINDUSTRIA EN COLOMBIA. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 53(1), 1689–1699.

<https://www.infodesign.org.br/infodesign/article/view/355><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/731><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/269><http://www.abergo.org.br/revista/index.php/ae/article/view/106>

ENLACE DE GRABACIÓN

https://youtu.be/MEoO60S-K_A