UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

Evaluación de la cobertura vegetal en predios forestales mediante imágenes satelitales y el índice NDVI en la finca Tierra Alta (Yarumal, Antioquia)

Elian Cataño Alvarez

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesor

David Aguiar Gil, Magíster (MSc) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	(Cataño Alvarez, 2025)
Referencia **Estilo APA 7 (2020)**	Cataño Alvarez, E. (225). *Evaluación de la cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales, implementando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)* [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: http://bibliotecadigital.udea.edu.co

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen 7

Abstract 8

1. Introducción 9

2. Área de estudio. 11

3. Objetivos 15

3.1 Objetivo general 15

3.2 Objetivos específicos 15

4. Marco teórico 16

5. Metodología 18

a) Recolección de la información (imágenes satelitales): 19

b) Tratamiento de los datos (pre procesamiento): 20

c) Análisis de los datos (procesamiento): 23

d) Clasificación del NDVI 27

6. Validación de datos 28

7. Análisis de resultados 30

8. Discusión 33

9. Conclusiones y recomendaciones 34

Recomendaciones 35

Referencias 36

Anexos 37

Lista de tablas

Tabla 1 Características del ecosistema en el núcleo forestal en yarumal. 14

Tabla 2 Clasificación de NDVI. 28

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación del núcleo forestal de yarumal. 12

Figura 2 Ubicación de la finca tierra alta dentro del municipio de yarumal. 13

Figura 3 Diagrama de la metodología del proyecto. 18

Figura 4 Recolección de la información. 20

Figura 5 Delimitación del área de aplicación. 21

Figura 6 Corrección radiométrica. 22

Figura 7 Corrección atmosférica en enero, antes/después. 22

Figura 8 Código de Procesamiento realizado en google earth engine. 23

Figura 9 Índice NDVI generado en el mes de enero y diciembre. 26

Figura 10 Índice NDVI anual durante el periodo 2024. 26

Figura 11 Variación del NDVI anual. 27

Figura 12 Valores del Índice NDVI para la finca Tierra Alta, 2024. 30

Figura 13 Histograma del NDVI anual. 31

Figura 14 Estadísticas del NDVI anual. 32

Siglas, acrónimos y abreviaturas

Ha	Hectáreas
MSI	Multispectral Instrument (Instrumento Multiespectral)
NDVI	Normalized vegetation index (Índice de vegetación normalizada)
NIR	Near-infrared spectroscopy (Espectroscopia del infrarrojo cercano)
OLI	Operational Land Imager (Generador de imágenes terrestres operacionales)
TIRS	Thermal Infrared Sensor (Sensor térmico infrarrojo)
VNIR	Near and visible infrared (Infrarrojo cercano y visible)

Resumen

El presente proyecto evalúa la calidad y el tipo de cobertura vegetal en la finca Tierra Alta vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal, dentro de los predios pertenecientes al Grupo Núcleos, utilizando imágenes satelitales multiespectrales y el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI). Este índice, que se basa en la radiación reflejada por la vegetación en diferentes bandas del espectro electromagnético, permite estimar la cantidad y calidad de la vegetación de manera precisa y eficiente, especialmente en zonas de difícil acceso.

El uso de tecnologías avanzadas como la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) resulta fundamental para superar estas limitaciones y realizar un análisis detallado de la cobertura vegetal. La teledetección, en particular, se consolida como una herramienta estratégica para el monitoreo periódico de las coberturas forestales, ya que permite detectar cambios de forma rápida y respaldar la toma de decisiones en materia de gestión ambiental.

Para el Grupo Núcleos, los resultados obtenidos evidencian que la finca presenta una cobertura vegetal con valores promedio de NDVI anual de 0.82, lo que indica una alta productividad fotosintética en la mayor parte del área asociada a una cobertura vegetal de bosque denso. Esta metodología representa una solución eficaz para el seguimiento y la gestión sostenible de sus recursos forestales, facilitando la identificación de áreas con alta productividad vegetal que deben ser conservadas o que pueden destinarse a programas de reforestación comercial, así como la detección de zonas con reducción en los índices de actividad fotosintética que requieren intervención.

Palabras clave: Índice NDVI, teledetección, cobertura forestal, imágenes satelitales, metodología de monitoreo, Sentinel-2.

Abstract

This project evaluates the quality and type of vegetation cover on the Tierra Alta farm in the village of La Esmeralda in the municipality of Yarumal, within the properties belonging to the Núcleos Group, using multispectral satellite images and the normalized difference vegetation index (NDVI). This index, which is based on the radiation reflected by vegetation in different bands of the electromagnetic spectrum, allows for accurate and efficient estimation of the quantity and quality of vegetation, especially in areas that are difficult to access.

The use of advanced technologies such as remote sensing and geographic information systems (GIS) is essential to overcome these limitations and perform a detailed analysis of vegetation cover. Remote sensing, in particular, is establishing itself as a strategic tool for the periodic monitoring of forest cover, as it allows changes to be detected quickly and supports decision-making in environmental management.

For Group Núcleos, the results obtained show that the farm has vegetation cover with average annual NDVI values of 0.82, indicating high photosynthetic productivity in most of the area associated with dense forest vegetation cover. This methodology represents an effective solution for the monitoring and sustainable management of forest resources, facilitating the identification of areas with high plant productivity that should be conserved or that can be used for commercial reforestation programs, as well as the detection of areas with reduced photosynthetic activity indices that require intervention.

Keywords: NDVI index, remote sensing, forest cover, satellite imagery, monitoring methodology, Sentinel-2.

1. Introducción

A medida que el mundo enfrenta desafíos ambientales cada vez más difíciles, como lo es el cambio climático, escases hídrica, la pérdida de biodiversidad y la desertificación, se vuelve una tarea más importante, cuidar de nuestra cobertura vegetal y velar por que esta resista durante los años. Este componente no solo proporciona hábitats para una gran cantidad de especies, sino que también desempeña un papel crucial en la regulación del ciclo hidrológico, de los ciclos de nutrientes, la protección del suelo y el equilibrio de los ecosistemas aledaños, cualidades que son indispensables en estos tiempos difíciles (Gonzaga, 2014).

Debido a estos desafíos, se ha vuelto importante implementar nuevas estrategias que permitan potenciar el monitoreo y el control de la cobertura vegetal, debido a que estas estrategias son clave para la gestión sostenible del territorio y la conservación del medio ambiente, permitiendo detectar cambios, evaluar impactos ambientales y tomar decisiones informadas para su protección obteniendo información más real y de alta precisión junto con los sistemas de información geográfica (Veneros et at.,2020).

Una de estas estrategias es la teledetección, la cual es un conjunto de técnicas que han demostrado ser una herramienta determinante para verificar la densidad de una cobertura vegetal y las dinámicas en los cambios de usos de suelo (Aguilar, 2015). Esta herramienta obtiene información a distancia sobre un área específica, a partir de tres elementos fundamentales en este proceso: el sensor, el área de estudio y el flujo energético (Espectro Electromagnético), esto se debe a que cada material como el suelo, la vegetación y el agua, reflejan la radiación de forma diferente lo que permite distinguirlos de otros materiales (Valcárcel et al.,2024).

La estimación de la calidad y tipo de cobertura forestal mediante la teledetección, se ha convertido en un enfoque cada vez más relevante en la investigación medioambiental, ya que, permite la gestión sustentable de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad y realizar un seguimiento a los impactos ambientales, producto de la intervención humana o fenómenos naturales (Piscoya Pérez, 2019). Según Veneros, García, Morales, Gómez, Torres y López (2020), esta herramienta ha cobrado gran relevancia, ya que sostienen que: “Cada año se ha obtenido información más real y de alta precisión con el uso de plataformas satelitales, por lo que se ha observado que la cobertura vegetal está aumentando en países como China, Rusia y el norte de Australia” (p. 2). La implementación y el aprovechamiento de estas innovadoras tecnologías

han permitido aumentar el número de investigaciones sobre la cobertura forestal y su gestión a nivel global, debido a que facilitan el monitoreo y análisis de la cobertura en tiempo real proporcionando información valiosa para tomar mejores decisiones (Veneros et at.,2020).

Los sistemas de información geográfica (SIG), junto con los sistemas de teledetección, investigan las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, de esta forma se logra caracterizar los distintos materiales y fenómenos en la superficie de la tierra, mediante su huella espectral (Orrego Josa, 2024). Es posible diferenciar los tipos de cobertura vegetal, usando ecuaciones matemáticas que permiten analizar el comportamiento de la vegetación, una de las más utilizadas es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), un parámetro que estima la cantidad y calidad de la vegetación según la intensidad de la radiación en reflejada (Aguilar, 2015). Esta combinación de herramientas, es un componente esencial en las empresas dedicadas al aprovechamiento forestal, ya que permite asegurar un manejo sostenible de los recursos naturales y el cumplimiento de normativas ambientales, además de monitorear y controlar la conservación de los ecosistemas forestales y minimizar los impactos negativos sobre el entorno.

El grupo forestal y empresarial, Núcleos e Inversiones Forestales de Colombia S.A. forma parte de la Organización Ardila Lülle y está conformado por Cipreses de Colombia S.A. (Línea Forestal), Grupo Núcleos (Línea Industrial y de producto). Un aserradero industrial el cual está ubicado en los Llanos de Cuivá y la planta de productos generados a partir de la madera (Línea de Producto) que está ubicada en el municipio de Itagüí. El Grupo Núcleos, se dedica principalmente a la reforestación con fines comerciales. Aunque la reforestación es uno de sus pilares fundamentales, la responsabilidad ambiental que tiene la empresa abarca toda su actividad económica, que va desde la extracción de la madera en los distintos Núcleos que poseen, hasta la transformación y distribución de los productos elaborados con la madera (Núcleos de Madera, 2023).

El Grupo Núcleos, es propietario de cuatro centros forestales ubicados en San Antonio de Prado, Yarumal, Yolombo y Caldas, los cuales suman más de 12.500 hectáreas de bosques en Antioquia, de los cuales el 35% son bosques naturales, los cuales son protegidos y conservados por la empresa. Estos centros forestales, se enfocan en la plantación, cosecha y reforestación de 4 especies de pinos comerciales, además, de que tienen su propio vivero ubicado en el municipio de

Barbosa, el cual garantiza las plántulas necesarias para la siembra semestral que se implementa en cada núcleo forestal (Núcleos de Madera, 2023).

En este contexto, el objetivo principal de este proyecto es evaluar la calidad y el tipo de cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales en la finca tierra alta ubicada en la vereda La Esmeralda del municipio de Yarumal, dentro de los predios pertenecientes al Grupo Núcleos. La dificultad de acceso a esta zona hace que la evaluación manual de la cobertura vegetal sea difícil y compleja, por esto, se hace indispensable el uso de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG), así como la implementación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), como un parámetro que permite estimar la cantidad y calidad de la vegetación en función de la radiación reflejada en determinadas bandas del espectro electromagnético. La estrategia de investigación se organiza en varias etapas, empleando dos enfoques principales: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la recopilación de datos satelitales, que no solo buscan cumplir con los objetivos planteados, sino también proporcionar al Grupo Núcleos una herramienta integral para el monitoreo y la gestión sostenible de sus coberturas forestales.

2. Área de estudio.

La zona de estudio definida para los fines de este informe corresponde a la finca Tierra Alta, ubicada en la vereda La Esmeralda del municipio de Yarumal, en el departamento de Antioquia. Esta finca se encuentra integrada al núcleo forestal de Yarumal, perteneciente al Grupo Núcleos, el cual comprende nueve predios en su interior y se extiende hasta el municipio de San Andrés de Cuerquía. En la Figura 1 se ilustra la distribución espacial del núcleo forestal de Yarumal, lo que permite contextualizar el área de estudio dentro de la región.

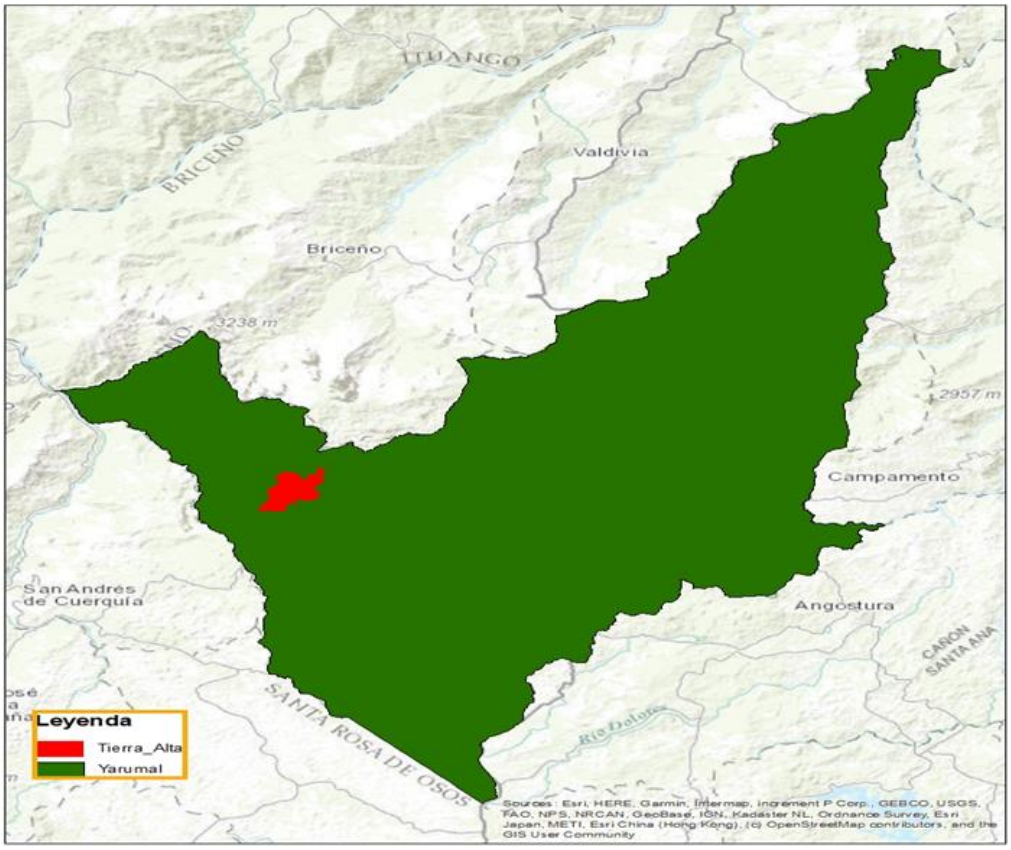
Figura 1
Ubicación del núcleo forestal de yarumal.



Nota. Tomado de documentos privados de Núcleos (2024).

La finca Tierra Alta cuenta con una extensión aproximada de 464,91 hectáreas, de las cuales alrededor de 157,18 hectáreas están destinadas al establecimiento de plantaciones de *Pinus patula*, comúnmente conocido como Patula, esta especie de pino es ampliamente empleada en programas de reforestación y en la producción forestal en regiones tropicales y subtropicales, gracias a su rápido crecimiento, su capacidad de adaptación a suelos de baja fertilidad y a terrenos con alta pendiente, asimismo como la notable calidad de su madera. En el municipio de Yarumal se puede evidenciar esta dinámica, tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2
Ubicación de la finca tierra alta dentro del municipio de yarumal.



Un ecosistema es un sistema dinámico conformado por una comunidad de organismos vivos que interactúan entre sí y con los elementos físicos de su entorno en un espacio determinado. A partir, de la metodología para la elaboración del mapa de ecosistemas escala 1:100.000” elaborada por el IDEAM se realizó un registro de ecosistemas terrestres presentes en el núcleo de yarumal, en los que se encuentran establecidos en la tabla 1.

Tabla 1

Características del ecosistema en el núcleo forestal en yarumal.

Características	Ecosistema
Tipo de ecosistema	Terrestre
Grado de transformación	Natural
Gran Bioma	Oro bioma del Zonobioma Húmedo Tropical
Bioma	Oro bioma Andino Nechí-San Lucas
Ecosistema	Bosque andino húmedo
Clima	Frio Supe húmedo
Paisaje	Montaña
Relieve	Filas y vigas
Cobertura	Bosque denso alto

Nota. Tomado de documentos privados de Núcleos (2018).

En el área de influencia directa del proyecto se encuentra la zona de vida correspondiente al Bosque Muy Húmedo Montano Bajo (bmh-MB). Esta zona también se caracteriza por una biotemperatura media anual entre 12 y 18 °C, y un régimen de precipitación que oscila entre 2.000 y 4.000 mm anuales y en general, predominan las coberturas de bosque denso y pastos limpios dentro de este núcleo forestal.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad y tipo de cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales implementando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), en la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal, dentro de los predios que pertenecientes al Grupo Núcleos.

3.2 Objetivos específicos

Evaluar la variabilidad espacio-temporal de la vegetación de la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal.

Analizar la distribución y el tipo de cobertura vegetal de la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal.

Determinar los cambios en el índice de vegetación normalizada NDVI a partir de imágenes satelitales multiespectrales, para identificar patrones de variación en la cobertura vegetal en el año 2024.

4. Marco teórico

La teledetección se basa en la capacidad de detectar y analizar la huella espectral de los diferentes objetos y materiales presentes en la superficie. Esta huella, es una característica única que describe cómo un objeto o materiales reflejan, absorben o emiten la radiación electromagnética a diferentes longitudes de onda, cada tipo de superficie como el agua, la vegetación o el suelo interactúa con la luz de manera distinta, generando un patrón específico de reflexión y absorción a lo largo del espectro electromagnético, a ese patrón es lo que se conoce como huella espectral (Gonzaga, 2014).

La teledetección satelital es una tecnología que permite obtener datos precisos, oportunos y rentables sobre áreas de difícil acceso, facilitando la evaluación del estado de la cobertura vegetal en un momento específico a partir de su huella espectral, esta metodología constituye una alternativa eficiente a las mediciones terrestres, ya que posibilita el monitoreo continuo de extensas superficies y la comparación de cambios a lo largo de múltiples períodos temporales. (Gavilán et al., 2024). Mediante el uso de herramientas como la teledetección, es posible evaluar rápidamente el estado en el que se encuentra la vegetación de un predio a través de un análisis espacial, esto nos permite obtener mayor información sobre los diversos factores que pueden afectar directamente una cobertura vegetal, lo que permite diferenciar tipos de vegetación, estimar su vigor y detectar alteraciones en su estructura o composición (Zhiminaicela et al., 2020).

El uso de datos satelitales para evaluar parámetros de vegetación se basa comúnmente en la combinación de la reflectancia (que varía según los tejidos fotosintéticos de las plantas), el área foliar (densidad y el volumen de follaje) y la cobertura arbórea (Torres et al., 2016). Esta reflectancia se ve modificada por la composición de la vegetación y su interacción con los ciclos biológicos, así como su relación con factores ambientales y meteorológicos como la temperatura, la luz, la humedad y el tipo de suelo, permitiendo que distintos tipos de vegetación respondan de manera diferente a dichas condiciones (Girimonte & García, 2020).

A partir de lo mencionado por Orrego Josa (2024) podemos entender cómo funciona el satélite sentinel-2: “Comprende una constelación de dos satélites compuesta por el instrumento MSI (Multiespectral Instrument) que proporciona imágenes multiespectrales de alta resolución muestreadas en 13 bandas para la visualización de vegetación, suelo, cobertura del agua, etc.” (p.23). Otro de los satélites más conocidos en el ámbito ambiental, es el Landsat, el cual cuenta

con dos sensores principales: el OLI (Operational Land Imager), que registra imágenes en 9 bandas espectrales incluyendo el infrarrojo cercano y visible (VNIR), y el TIRS (Thermal Infrared Sensor), encargado de medir la radiación térmica (Girimonte & García, 2020). La adecuada complementariedad entre los satélites Landsat y Sentinel-2 facilita la captura de datos de reflectancia que sean compatibles, permitiendo detectar la aparición de alteraciones en el tiempo, como el deterioro progresivo o la recuperación gradual de las áreas boscosas (Gavilán et al., 2024).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ha sido ampliamente utilizado como indicador de la salud o calidad de la biomasa vegetal, tanto en estudios que buscan conocer acerca del comportamiento de cultivos, como en aquellos estudios que se relacionan con vegetaciones boscosas naturales (Aguilar, 2015). Este índice es el más empleado en diversas aplicaciones debido a su facilidad de cálculo y su rango de variación fijo, lo que permite establecer límites claros y comparar imágenes, siendo estas razones, el motivo por el cual facilita la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación y permite realizar comparaciones efectivas de los datos obtenidos (Gonzaga, 2014).

El NDVI es un índice que deriva del cociente entre la reflectancia del rojo y el infrarrojo cercano por lo que se calcula con la siguiente formula:

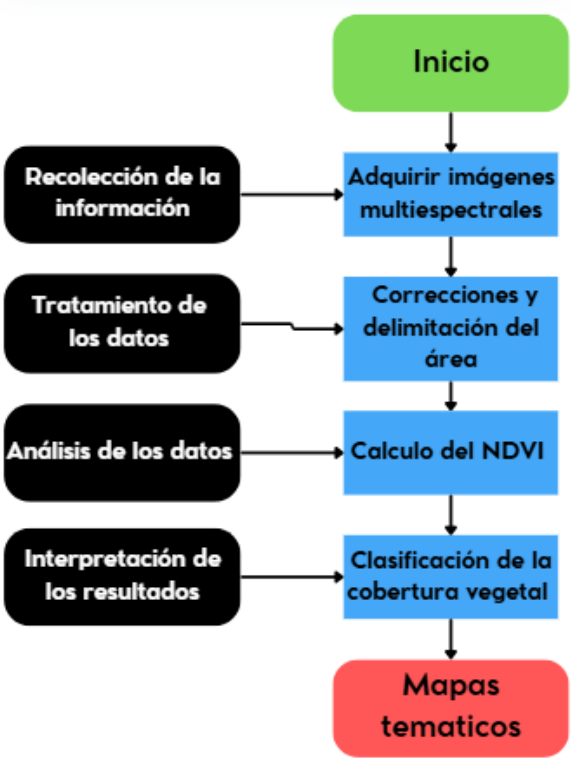
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Donde el NIR representa la reflectancia en el infrarrojo cercano y R la reflectancia en la región roja del espectro electromagnético. Ambos valores oscilan entre -1 y 1. Los valores negativos de esta fórmula están asociados a cuerpos de agua y superficies degradadas, mientras que los valores cercanos a cero corresponden a vegetación de baja cobertura. Por otro lado, los valores positivos altos, cercanos a +1, indican un alto contenido de vegetación fotosintética (Gonzaga, 2014).

5. Metodología

Para cumplir con el objetivo de evaluar la calidad y el tipo de cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales, se emplearán dos enfoques principales: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y la recopilación de datos satelitales proporcionados por plataforma Sentinel-2. Estas herramientas son fundamentales para llevar a cabo una evaluación precisa y rigurosa de la cobertura vegetal, lo que a su vez contribuye a una mejor gestión ambiental dentro de las operaciones de la empresa (Laura Orrego, 2024). La metodología adoptada es de enfoque cuantitativo, eso es debido a que se fundamenta en el análisis y la medición de parámetros biofísicos de la vegetación, a partir de datos satelitales y transformaciones matemáticas.

Figura 3
Diagrama de la metodología del proyecto.



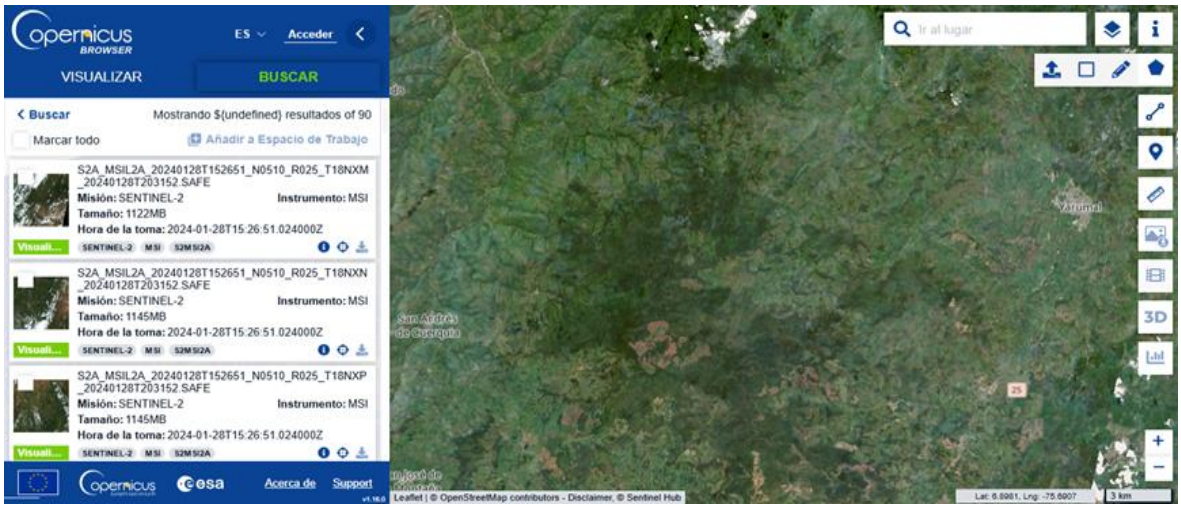
Según Silva, Quicaña & Boza (2021) se puede realizar la implementación del NDVI a partir de cuatro etapas fundamentales, como se observa en la figura 3, estas etapas son:

a) Recolección de la información (imágenes satelitales):

Con el propósito de realizar un análisis multitemporal de la cobertura vegetal correspondiente al año 2024, se llevó a cabo la recopilación de imágenes multiespectrales provenientes de la plataforma Copernicus browser utilizando un Instrumento Multiespectral (MSI) como lo es el sentinel-2, Utilizando una resolución espacial de 10 metros, cada píxel de la imagen satelital corresponde a una superficie real de 100 m² en terreno real. A una escala cartográfica de 0.0001, la representación gráfica es 10.000 veces menor que las dimensiones reales, lo que permite un nivel de detalle adecuado para el análisis espacial de coberturas y estructuras del paisaje. (Borrá et at., 2017).

Sentinel-2 es una misión europea de imágenes multiespectrales de alta resolución y amplio espectro. Esta misión del programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea proporciona datos ópticos de alta resolución espacial y temporal, lo que la convierte en una herramienta adecuada para el monitoreo ambiental (Borrá et at., 2017). Para el presente estudio se seleccionaron imágenes correspondientes a dos periodos clave: enero y diciembre de 2024. Estos meses, caracterizados por una menor precipitación en el municipio de yarumal, reducen significativamente la presencia de nubosidad y garantizan una mayor disponibilidad de bandas con calidad radiométrica, fundamentales para el cálculo del NDVI. Esta selección asegura la obtención de datos libres de interferencias y representativos de las condiciones reales en la finca Tierra Alta. Además, permite identificar variaciones en la vegetación vinculadas a cambios estacionales, tales como la disponibilidad de agua, la fenología de las especies y las fluctuaciones en la cobertura vegetal, como se aprecia en la figura 4.

Figura 4
Recolección de la información.



Nota. Fuente: https://browser.dataspace.copernicus.eu/

b) Tratamiento de los datos (pre procesamiento):

Una vez recolectada nuestra información principal a partir de imágenes satelitales, se deben aplicar técnicas de pre procesamiento en las imágenes obtenidas, ya que es una etapa fundamental que garantiza la fiabilidad y precisión de los resultados obtenidos en análisis geoespaciales. Estas técnicas comprenden un conjunto de procedimientos iniciales que preparan los datos brutos provenientes de los sensores remotos para su posterior análisis, asegurando que sean consistentes, comparables y libres de errores sistemáticos (Aguilar, 2015).

Con el apoyo de la herramienta ArcGis y a partir de la información suministrada por el jefe del área de Sostenibilidad del Grupo Núcleos, se generó un archivo shapefile destinado a delimitar con precisión el área de estudio. Este insumo fue fundamental para establecer los límites espaciales y permitir el recorte exacto de la zona en el código implementado, optimizando así el procesamiento de las imágenes satelitales, tal como se observa en la figura 5, el shapefile define un área total de 466,5992 ha, lo que garantiza que el análisis se concentre exclusivamente en la finca Tierra Alta.

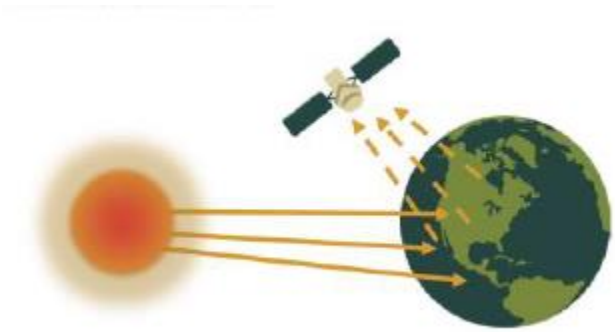
Figura 5
Delimitación del área de aplicación.



Corrección radiométrica

El producto Sentinel-2 Nivel 2A (L2A) incluye imágenes que han sido sometidas a un conjunto de correcciones radiométricas, el procesamiento L2A aplicado en el satélite sentinel-2 el cual ajusta las señales digitales captadas por el instrumento Multiespectral, para convertirlas en valores de reflectancia de la superficie, esto implica corregir las influencias del sensor con la posición del sol y el ángulo de observación del satélite (como se observa en la Figura 6) garantizando que los datos reflejen adecuadamente la energía solar reflejada por la superficie (Borrá et at., 2017). Estas correcciones implementadas por el mismo programa Copernicus, el cual se encarga de la operación del satélite Sentinel-2 facilita el procesamiento de las imágenes satelitales, en nuestro caso, hace que no sea necesario la implementación de correcciones en el código propuesta, en nuestro análisis de coberturas y manteniendo la precisión y consistencia (Orrego Laura, 2024).

Figura 6
Corrección radiométrica.



Nota. Adaptado de Orrego Laura (2024).

Correcciones atmosféricas

Las nubes, sombras de nubes y cirros pueden alterar los valores espectrales en una imagen, haciendo que algunos análisis como lo pueden ser de clasificación o detección de cambios, sean incorrectos o poco fiables por las alteraciones que se pueden generar, siendo fundamental corregirlas antes del análisis (Borrá et at., 2017). La función maskS2clouds que se implementa en el código del procesamiento, sirve para eliminar o enmascarar píxeles contaminados por nubes y cirros en imágenes de Sentinel-2, utilizando su banda de calidad asegurada (QA), la imagen resultante, presenta una gran reducción de nubes y cirros, presentando resultados fiables y mejorando la capacidad de análisis, como se observa en la figura 7.

Figura 7
Corrección atmosférica en enero, antes/después.



c) Análisis de los datos (procesamiento):

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma que posee la gran ventaja de realizar su procesamiento en la nube, la cual está diseñada para el análisis y visualización de datos geoespaciales a gran escala eliminando la necesidad de descargar grandes volúmenes de datos o disponer de equipos de alto rendimiento. Esta plataforma se encuentra desarrollada por Google y permite acceder a una vasta colección de imágenes satelitales, datos climáticos y variables geográficas desde múltiples fuentes, como Landsat, Sentinel, entre otros, destacando su libre acceso y su gran versatilidad de implementación (Roque Quiroz, 2022).

Con base en los criterios previamente expuestos, se empleó la plataforma Google Earth Engine como entorno de trabajo para llevar a cabo el procesamiento y análisis de las imágenes satelitales. Este procedimiento permitió la generación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), mediante la implementación de un script desarrollado en Python, optimizado para la filtración de nubes, la selección temporal y la obtención de valores espectrales precisos como se muestra en la Figura 8.

Figura 8

Código de Procesamiento realizado en google earth engine.

```
// Enero
//mask2clouds para eliminar o enmascarar píxeles contaminados por nubes y cirros
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  var cloudBitMask = 1 << 10;
  var cirrusBitMask = 1 << 11;
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0)
      .and(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0));
  return image.updateMask(mask).divide(10000);
}
// Filtrar y procesar la colección del satelite Sentinel-2
var dataset = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
                  .filterDate('2024-01-01', '2024-1-30')
                  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',10))
                  .filterBounds(r7)
                  .map(maskS2clouds);
// Obtener el promedio y recortar al shapefile
var imagenRecortada = dataset.mean().clip(r7);
var visualization = {
  min: 0.0,
  max: 0.3,
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
  scale:10,
  maxPixels: 1e13,
};
// Visualizar el shapefile
Map.addLayer(r7, {color:"blue"}, "ubicacion")
Map.setCenter(-75.5167, 6.9592, 12);
```

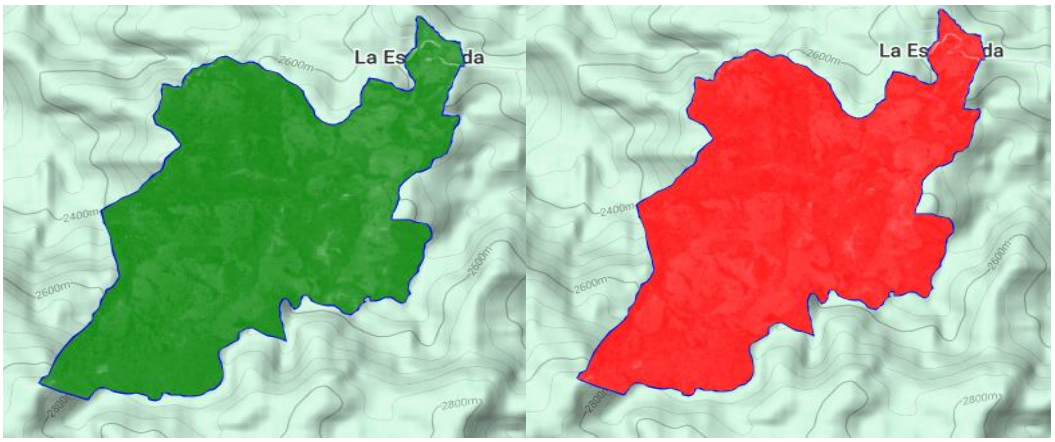
```
// Visualizar el mapa a color real
Map.addLayer(imagenRecortada, visualization,"sentinel-2")
// Calculos del NDVI
var nir = imagenRecortada.select("B8")
var red = imagenRecortada.select("B4")
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename("NDVI")
print(ndvi)
var ndviparams = {min:-1, max:1, palette:["blue","white","green"]};
Map.addLayer(ndvi,ndviparams, "EneroNDVI")
//-------------------------------------------------------------
//        Diciembre
// Filtrar y procesar la colección del satelite Sentinel-2
var dataset2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
                  .filterDate('2024-12-01', '2024-12-30')
                  .filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',10))
                  .filterBounds(r7)
                  .map(maskS2clouds);
// Obtener el promedio y recortar al shapefile
var imagenRecortada2 = dataset2.mean().clip(r7);
// Calculos del NDVI
var nir2 = imagenRecortada2.select("B8")
var red2 = imagenRecortada2.select("B4")
var ndvi2 = nir2.subtract(red2).divide(nir2.add(red2)).rename("NDVI")
print(ndvi)
var ndviparams = {min:-1, max:1, scale:10, maxPixels: 1e13, palette:["blue","white","green"]};
Map.addLayer(ndvi2,ndviparams, "DiciembreNDVI")
//-------------------------------------------------------------------------------
//Promedio 2024
var ndviAnual = ndvi.add(ndvi2).divide(2).rename("NDVI_Anual");
Map.addLayer(ndviAnual, ndviparams, "NDVI 2024");
// exportar imagenes para ser procesadas
Export.image.toDrive({
  image:ndviAnual,
  description:"NDVIanual2024",
  folder:"sentinel-2",
  fileNamePrefix:"NDVIanual2024",
  region:r7,
  scale:10,
  maxPixels: 1e13
})
//-------------------------------------------------------------------------
// analisis multiespacial
//verde aumento de vegetación, rojo pérdida de vegetación, blanco pocos o ningún cambio
var deltaNDVI = ndvi2.subtract(ndvi);
var ndviChangeVis = {
  min: -0.2,
  max: 0.2,
  palette: ['red', 'white', 'green']
};
Map.addLayer(deltaNDVI, ndviChangeVis, 'Cambio de NDVI');
//-------------------------------------------------------------------------------
// Calcular el area de los pixeles
var ndviMask = ndvi.gt(0.8);
// Convertir a imagen binaria y multiplicar por el área por píxel
var pixelArea = ee.Image.pixelArea();  // cada píxel en m²
var maskedArea = pixelArea.updateMask(ndviMask);
var areaStats = maskedArea.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  geometry: r7,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13
});
var area_ha = ee.Number(areaStats.get('area')).divide(10000); // reducir a ha
print('Área con NDVI > 0.8 en hectáreas:', area_ha);
```

```
// estadisticas
var stats = ndviAnual.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.mean()                          // media
             .combine(ee.Reducer.stdDev(), '', true) // desviación estándar
             .combine(ee.Reducer.mode(), '', true)   // moda
             .combine(ee.Reducer.percentile({        // percentiles: 0,25,50,75,100
               percentiles: [0, 25, 50, 75, 100]
             }), '', true),
  geometry: r7.geometry(),
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13
});
print('Estadísticas de NDVI:', stats);
// Crear un histograma de los valores NDVI en la región
var histogram = ui.Chart.image.histogram({
  image: ndviAnual,
  region: r7.geometry(),
  scale: 10,  // Consistente con la resolución de la imagen
  maxBuckets: 100  // Número de intervalos del histograma (ajustable)
})
.setOptions({
  title: 'Histograma de NDVI',
  hAxis: {title: 'Valores NDVI'},
  vAxis: {title: 'Número de píxeles'},
  colors: ['green']
})
print(histogram);
// Area total del shapefile
var area_m2 = r7.geometry().area(); // Área en metros cuadrados
// Convertimos a hectáreas
var area_ha = area_m2.divide(10000); // 1 ha = 10,000 m²
print('Área total en metros cuadrados:', area_m2);
print('Área total en hectáreas:', area_ha);
```

Gracias al código implementado en la plataforma se pudieron elaborar imágenes del NDVI en dos distintos meses, enero y diciembre, debido a que en estos meses hay bajos niveles de precipitación en Medellín según lo mencionado por el IDEAM, lo que permite facilitar la obtención de datos más limpios (sin grandes volúmenes de nubes y cirrus) y aplicación del procesamiento de las imágenes, ya que no requiere de grandes correcciones atmosféricas (Roque Quiroz, 2022).

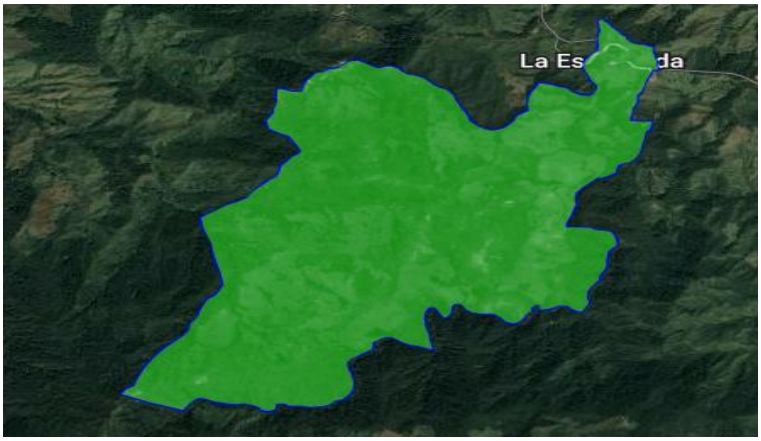
Teniendo esto en cuenta, realizamos la mezcla de las bandas como lo sugiere la ecuación del NDVI, en Sentinel-2 se calcula usando las bandas del rojo (Red) que pertenece a “B4” y el infrarrojo cercano (NIR) que pertenece a “B8”, para obtener los NDVI de cada mes correspondiente como se muestran en la Figura 9 (Gonzaga, 2014).

Figura 9
Índice NDVI generado en el mes de enero y diciembre.



Posteriormente, las imágenes correspondientes a los meses de enero y diciembre fueron combinadas mediante un promedio aritmético, generando así una única imagen representativa del año 2024 en la plataforma Google Earth Engine. Este procedimiento permite obtener una síntesis espacial de la cobertura vegetal para el área de estudio y facilita la identificación de cambios generales ocurridos durante el año 2024, como se muestra en la Figura 10.

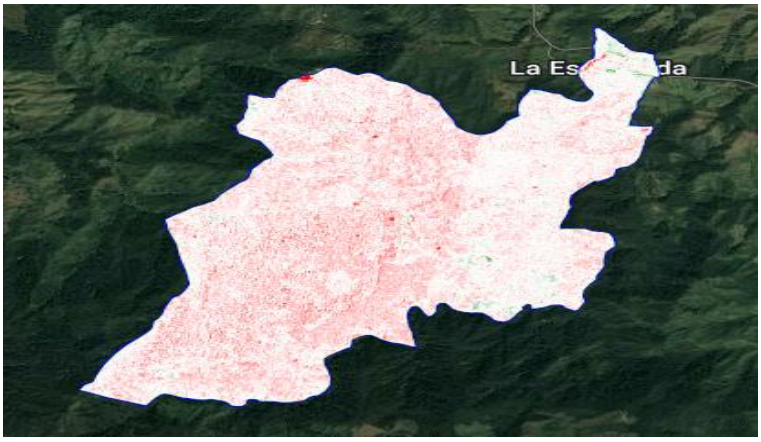
Figura 10
Índice NDVI anual durante el periodo 2024.



Para hacer un análisis multitemporal de NDVI correctamente en Google Earth Engine, es muy importante calcular la diferencia entre meses para visualizar los cambios significativos producidos en este periodo, en nuestro caso aplicamos el delta NDVI (cambio entre dos momentos),

lo que permite interpretar cómo ha cambiado la vegetación en un periodo de tiempo determinado, en este caso se implementó un delta de 0.2 desde enero a diciembre del 2024, lo cual se puede observar en la Figura 11 donde los valores positivos están asociados a un aumento de vegetación (Verde) y los valores negativos a una pérdida en la vegetación (rojos) y en caso de que no se generen diferencias significativas (blanco).

Figura 11
Variación del NDVI anual.



d) Clasificación del NDVI

Los pixeles que conforman las imágenes satelitales anuales deben clasificarse, para verificar la calidad de la cobertura vegetal, debido a que existe una mayor diferencia entre cuerpos de agua, vegetación baja, bosque denso y suelo desnudo. Según Piscoya Pérez (2019), un valor elevado del NDVI indica la existencia de una vegetación vigorosa o bosque denso y cuando el valor es muy bajo, esto suele indicar la presencia de nubes y cuerpos de agua que interfieren en la reflectividad del satélite.

Tabla 2
Clasificación de NDVI.

Clasificación de los valores del NDVI	
Clasificación	Valores
Bosque denso	> 0,8
Vegetación Alta	0,4 - 0,79
Vegetación Mediana	0,2 - 0,39
Vegetación Ligera	0,1 - 0,19
Suelo sin vegetación	0,01 - 0,09
Nubes y cuerpos de agua	< 0,01

Nota. Modificado de (Piscoya Pérez, 2019)

Esta clasificación es muy útil para determinar el tipo de cobertura vegetal que predomina en la finca tierra alta, permitiéndonos conocer la cobertura que impera en la finca Tierra Alta y asimismo comprender como ha sido su variación, durante el transcurso del 2024.

6. Validación de datos

La validación de datos es una etapa fundamental en aquellos los estudios que emplean teledetección o instrumentos multiespectrales, ya que garantiza la calidad, confiabilidad y representatividad de los productos derivados de imágenes satelitales. En este trabajo, el cual está orientado a la evaluación de la cobertura vegetal en la finca Tierra Alta, vereda La Esmeralda, municipio de Yarumal, se implementó un proceso de validación de los datos obtenidos, para asegurar que los resultados generados a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) fueran técnicamente sólidos y útiles para la toma de decisiones por parte del Grupo Núcleos.

Primero se implementó un Preprocesamiento y depuración de datos satelitales. en este análisis se emplearon imágenes del satélite Sentinel-2 (nivel de corrección atmosférica S2_SR_HARMONIZED) correspondientes a los meses de enero y diciembre del año 2024, esta selección de imágenes se realizó de forma cuidadosa y centrada en dos criterios fundamentales: la selección de datos representativos pertenecientes a la temporada seca, filtrando aquellas con menos del 10% de cobertura nubosa y la aplicación de una función personalizada de enmascaramiento de nubes denominada “maskS2clouds” la cual permite eliminar píxeles contaminados por nubes y

cirros que alteran los datos, asegurando de esta forma que solo se procesaran superficies con condiciones atmosféricas adecuadas para la observación de la vegetación.

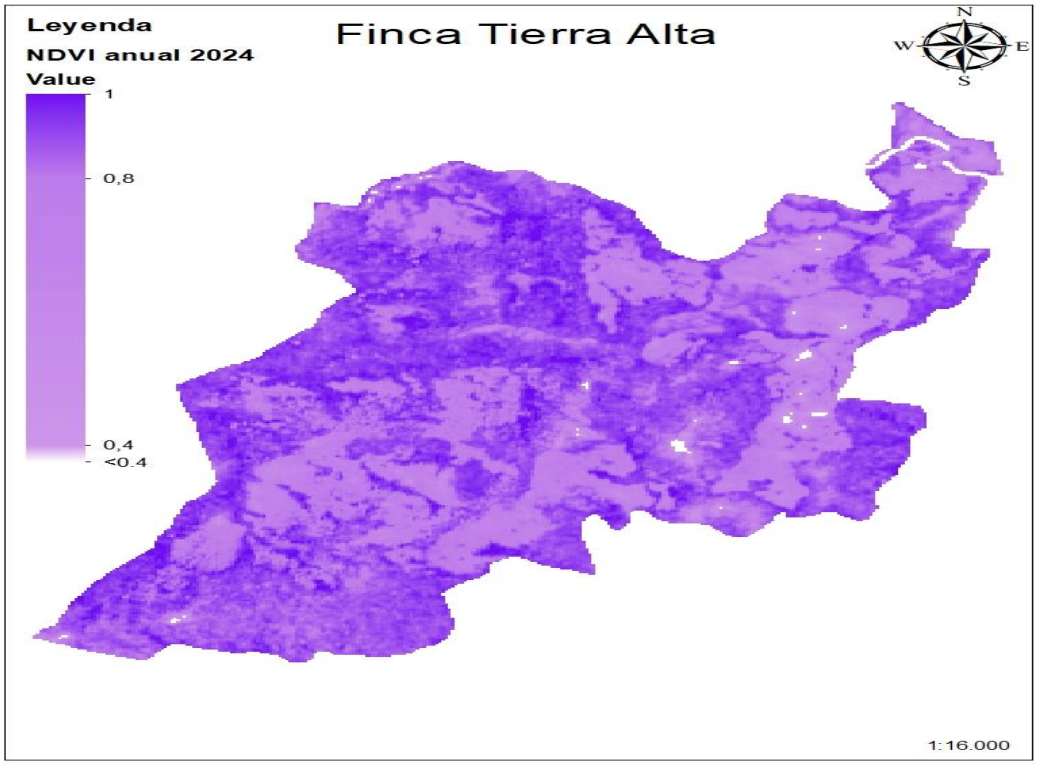
Una vez generadas las imágenes NDVI para ambos periodos, se realizó una verificación de la calidad del NDVI, evaluando sus valores para garantizar su validez. Se comprobó que los valores calculados del NDVI estuvieran dentro del rango esperado (de -1 a 1), lo cual indica una correcta aplicación de la fórmula NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), utilizando las bandas B8 (infrarrojo cercano) y B4 (rojo).Adicionalmente, se calcularon estadísticas de resumen para el NDVI anual, como la media, desviación estándar, moda y percentiles, ofreciendo una visión cuantitativa del comportamiento de la vegetación en el área de estudio, permitiendo evidenciar posibles sesgos o comportamientos atípicos que comprometan la calidad de los datos y la veracidad del análisis resultante.

La validación también incluyó la inspección visual de los resultados a través del visor de Google Earth Engine, comparando las salidas multiespectrales (RGB) con las capas de NDVI y su variación temporal, esta revisión cualitativa fue complementada por un histograma de distribución de valores NDVI, que permitió detectar posibles asimetrías, concentraciones anómalas o rangos sin representación, lo cual es clave para verificar la distribución de la vegetación en la vereda Tierra Alta.

Pese al robusto proceso de validación, es importante reconocer que el análisis presenta limitaciones inherentes a la teledetección, como la posibilidad de subestimación o sobrestimación debido a la cobertura nubosa residual producto de la presencia nubes en el área. Asimismo, la presencia de cuerpos de agua, factores distintos al dosel vegetal, la interferencia de sustratos reflectivos puede alterar la clasificación de algunas coberturas vegetales en la zona y las afectaciones por sombras topográficas en zonas montañosas. Estos son algunos de los sesgos más comunes en este tipo de herramientas, no obstante, la selección temporal cuidadosa, el enmascaramiento sistemático y el análisis estadístico contribuyeron a minimizar las fuentes de incertidumbre.

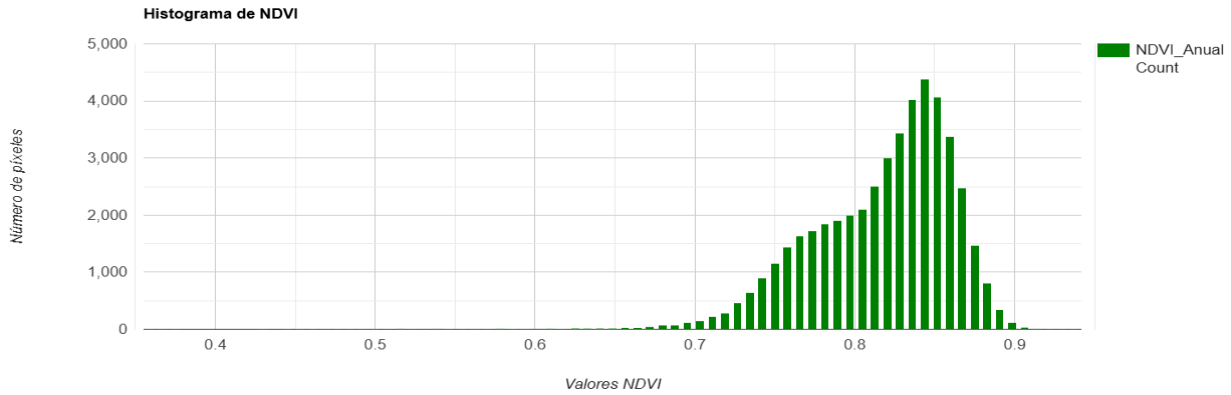
7. Análisis de resultados

Figura 12
Valores del Índice NDVI para la finca Tierra Alta, 2024.



El cálculo del NDVI anual se realizó de forma integrada con los meses de enero y diciembre en el período 2024, esto nos permite identificar las variaciones de cobertura vegetal que se han presentado en la zona de estudio, a partir de la Figura 12 podemos observar que la mayor predominancia de la cobertura vegetal presente en la zona es de bosque denso con un área de 355.719 ha, seguido de vegetación alta con un área de 108.86 ha, de vegetación media tenemos 0.01 ha y 2 ha entre vegetación Ligera, suelo sin vegetación y nubes y cuerpos de agua. Estas cifras podemos observarlas con mayor detalle observando el histograma de la Figura 13, donde la mayor concentración de pixeles se encuentra en el rango de 0.8-0.9 asociado a bosque denso.

Figura 13
Histograma del NDVI anual.



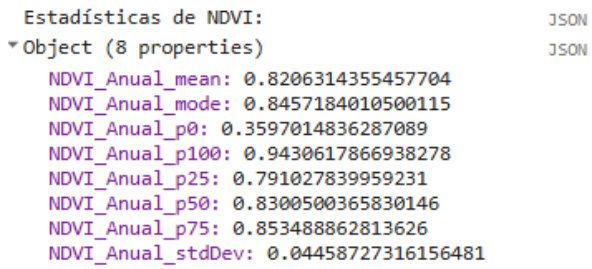
El dato más relevante es la alta proporción de bosque denso, que abarca 355.719 hectáreas, lo que representa el 76.24% del total del área analizada. Esta cifra es significativa, ya que sugiere que una porción considerable del territorio aún conserva una cobertura boscosa intacta, lo cual tiene implicaciones ambientales y ecológicas directas, ya que, la conservación de bosques densos está estrechamente ligada a servicios ecosistémicos clave como la regulación del clima local, la captura de carbono atmosférico, la conservación del suelo y la regulación del ciclo hidrológico. En contextos del cambio climático proteger estos ecosistemas es de vital importancia, ya que pueden funcionar como sumideros de carbono naturales y amortiguadores frente a eventos extremos como sequías, incendios forestales o inundaciones.

Por otra parte, la presencia de vegetación alta, con 108.86 hectáreas, sugiere zonas en proceso de transición ecológica o de crecimiento para aprovechamiento comercial. Estas áreas pueden corresponder a fragmentos de bosques secundarios, cultivos agroforestales o zonas de regeneración natural. Desde una perspectiva ecológica, esta clase de cobertura representa un valor importante, ya que puede actuar como corredor biológico entre parches de bosque denso, facilitando la conectividad ecológica y reduciendo los efectos negativos de la fragmentación del hábitat.

Sin embargo, las coberturas menos representadas, como la vegetación media (0.01 ha) y las áreas de vegetación ligera, suelo desnudo, nubes y cuerpos de agua (2 ha), aunque contienen una porción de la superficie relativamente pequeña, su presencia puede indicar disminución de la productividad fotosintética, posiblemente asociados al cambio climático y actividades humanas como establecimiento de campamentos o vías forestales.

El respaldo estadístico, en estudios de teledetección y monitoreo de cobertura vegetal es fundamental para garantizar la solidez y la objetividad de los resultados. Las métricas estadísticas, como la media, la moda, los percentiles y la desviación estándar, permiten no solo describir el comportamiento general del NDVI en el área de estudio, sino también identificar patrones, anomalías y rangos de variación que serían difíciles de percibir a simple vista en las imágenes satelitales.

Figura 14
Estadísticas del NDVI anual.



El análisis estadístico del NDVI anual obtenido para la finca Tierra Alta refleja un valor promedio de 0,82, lo cual indica una alta cobertura vegetal y una notable actividad fotosintética en la mayor parte del área evaluada. El valor de la moda confirma que la mayor frecuencia de valores se encuentra en un rango de vegetación densa y saludable, característico de bosques densos.

Los valores extremos muestran una variabilidad significativa: el percentil mínimo (p0) de 0,3597 corresponde a sectores con baja cobertura vegetal o suelos expuestos, mientras que el máximo (p100) de 0,9430 representa áreas con máxima productividad fotosintética, posiblemente asociadas a zonas de bosque maduro o áreas en óptimas condiciones ecológicas. Los percentiles intermedios evidencian que la mayor parte del territorio presenta valores altos de NDVI, lo que sugiere una buena homogeneidad en la cobertura vegetal, especialmente el bosque denso.

Además, el análisis del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) anual debe ser considerado como una herramienta clave para la detección temprana de posibles alteraciones significativas en la cobertura del dosel vegetal en los meses siguientes. Aunque los resultados reflejan una alta presencia de bosque denso en la finca Tierra Alta, se evidencia una leve disminución del tipo de cobertura, en comparación con los valores registrados en enero, tal como se muestra en la Figura 12. Si bien estas variaciones son sutiles ya que tienen un delta del 0.2,

resultan relevantes desde el punto de vista ecológico, ya que podrían indicar tendencias que reflejan una disminución de la productividad fotosintética.

Es importante tener en cuenta que, dado que el NDVI se basa en la reflectancia del dosel vegetal, su interpretación puede estar influenciada por condiciones atmosféricas como la presencia de nubes, aerosoles o variaciones en la humedad del suelo, las cuales pueden generar incertidumbre en el análisis multitemporal. Sin embargo, la integración de imágenes correspondientes a los meses de enero y diciembre permite mitigar en parte estos efectos, ya que dichos periodos tienden a presentar menores tasas de precipitación.

8. Discusión

El análisis realizado mediante el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en la finca Tierra Alta, vereda La Esmeralda, municipio de Yarumal, permitió identificar y caracterizar patrones espaciales y temporales de la cobertura vegetal, partir de imágenes multiespectrales Sentinel-2 procesadas en Google Earth Engine. Asimismo, se procesaron mapas que reflejan la variabilidad de la vegetación entre los meses de enero y diciembre de 2024, así como un índice anual promedio, obteniendo información precisa y actualizada a gran escala, incluso en áreas de difícil acceso, como es el caso de la finca Tierra Alta. La disponibilidad gratuita de la herramienta y la fácil implementación de la metodología permiten generar una herramienta poderosa y eficiente en el monitoreo ambiental. De esta manera, a partir de imágenes satelitales y el índice NDVI, la propuesta posibilitó detectar zonas con vegetación densa, áreas con cobertura media y sectores con posible disminución de la productividad fotosintética.

A pesar de los resultados satisfactorios, este tipo de análisis presenta limitaciones e incertidumbres inherentes al uso de datos satelitales y metodologías de teledetección. En primer lugar, la resolución espacial de Sentinel-2 (10 metros) puede no capturar con precisión cambios o elementos de pequeña escala, como claros dentro del bosque, cultivos dispersos o parches de regeneración natural. Además, aunque se aplicaron filtros y enmascaramientos para eliminar nubes y cirros, es posible que la presencia de nubosidad residual o sombras topográficas afecten la calidad y la exactitud de los valores NDVI, especialmente en áreas con relieve complejo, como lo es el municipio de yarumal.

Otra fuente de incertidumbre proviene de la naturaleza espectral del NDVI, que puede verse influenciada por factores distintos al dosel vegetal, como la humedad del suelo, la presencia de vegetación seca o la interferencia de sustratos reflectivos, evidencia de esta situación podemos observar una vía forestal que atraviesa la finca tierra alta en la zona más al noroeste, generando una línea en forma de "s" que contiene bajos niveles de reflectancia, generando una in precisión en los resultados.

Finalmente, la ausencia de validación con datos de campo constituye una limitación importante. Sin una correlación directa entre los valores NDVI y mediciones in situ, se incrementa el grado de incertidumbre en la interpretación de los resultados. Por ello, la integración de datos satelitales con observaciones de campo y otros índices espectrales (como EVI, NDWI o SAVI) fortalecería significativamente la robustez del análisis.

9. Conclusiones y recomendaciones

El análisis del histograma presentado en la Figura 12 refuerza visualmente la presencia de un alto porcentaje de cobertura de bosque denso (76.24%) en la finca Tierra Alta, confirmando el dominio de vegetación sana y densa. Esto nos permite conocer las condiciones de bosque que maneja la empresa Grupo Núcleos, ya que, durante su proceso de reforestación comercial, conservan y gestionan una amplia cobertura vegetal densa en la zona, lo que contribuye a la provisión de diversos servicios ecosistémicos y los posiciona como pioneros en la captura de CO_2 atmosférico a través de la absorción forestal.

Los datos obtenidos a partir del análisis del NDVI en la finca Tierra Alta, junto con las estadísticas obtenidas durante dicho análisis, constituye una herramienta esencial para el diseño de estrategias de conservación vinculadas a procesos de reforestación comercial. El monitoreo continuo de los cambios en la cobertura vegetal permite no solo una adaptación más eficaz frente a los efectos del cambio climático, sino también una gestión más sostenible de las actividades productivas del grupo Núcleos.

A partir de lo anterior, resulta fundamental establecer un seguimiento periódico que permita identificar de manera oportuna las variaciones en el dosel vegetal, con el fin de anticipar impactos negativos tanto sobre la funcionalidad ecológica del ecosistema como sobre el rendimiento comercial de las plantaciones. El monitoreo dinámico de estos indicadores posibilita evaluar la

salud del ecosistema a lo largo del tiempo y tomar decisiones informadas para su conservación y manejo adaptativo.

La presencia predominante de coberturas vegetales densas en la finca indica un alto potencial del paisaje para sostener funciones ecológicas clave, siempre que se implementen estrategias de manejo adecuadas. A partir de esa idea, garantizar su conservación a largo plazo se constituye como un objetivo primordial, dado que la relación de enfoques de sostenibilidad permite no solo preservar la integridad ecológica del bosque, sino también asegurar el equilibrio entre conservación y uso racional de los recursos naturales.

Recomendaciones

La metodología aplicada en este estudio puede adoptarse como una herramienta constante para el monitoreo de las coberturas forestales tanto en la finca Tierra Alta como en otros predios pertenecientes a la empresa. El empleo de imágenes Sentinel-2, procesadas en la plataforma Google Earth Engine, posibilita la realización de evaluaciones periódicas que favorecen la detección oportuna de cambios en la vegetación, integrándose de manera eficiente en los programas de gestión ambiental. Esta información puede ser utilizada como base para la elaboración de informes técnicos, auditorías ambientales y procesos de certificación en sostenibilidad.

El uso del análisis NDVI facilita la localización de áreas con alta productividad vegetal que requieren conservación, así como de sectores con reducción en la actividad fotosintética que demandan intervenciones de restauración o manejo forestal específico. Asimismo, la combinación de estos datos con variables climáticas o productivas ofrece un soporte sólido para la toma de decisiones estratégicas orientadas a la conservación, mitigación de impactos y aprovechamiento con fines de reforestación comercial.

En este sentido, resulta esencial mantener un monitoreo continuo y complementar el análisis satelital con mediciones directas en campo. Este contraste entre el NDVI y datos reales de biomasa, estructura y salud vegetal incrementa la exactitud de los resultados, potenciando el valor del monitoreo como herramienta para la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos forestales.

Referencias

Aguilar, C. G. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. CEDAMAZ, 5(1).

Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira-Sandoval, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2. Revista de Teledetección, (48), 55-66.

Gavilán-Acuna, G., Coops, N. C., Tompalski, P., Mena-Quijada, P., Varhola, A., Roeser, D., & Olmedo, G. F. (2024). Characterizing annual leaf area index changes and volume growth using ALS and satellite data in forest plantations. Science of Remote Sensing, 10, 100159.

Girimonte, P., & García, J. (2020). El índice NDVI y la clasificación de áreas sembradas aprendizaje automático no Supervisadok-means´. Revista de investigación en modelos matemáticos aplicados a la gestión y la economía, 7(1), 39-52.

Gonzaga Aguilar, C. (2014). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la provincia de Loja, Ecuador (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Núcleos de Madera. (2023). Informe de sostenibilidad 2023. Recuperado de: https://nucleosdemadera.com/wpcontent/uploads/2024/04/Informe_Sostenibilidad-2023_v.3.pdf

Orrego Josa, L. (2024). Propuesta metodológica para corroboración de evidencia de áreas con remoción de cobertura vegetal por minería en el Bajo Cauca antioqueño a través del índice NDVI.

Piscoya Perez, L. R. (2019). Índice de vegetación de diferencia normalizada (Ndvi) en el distrito de Puquina, Moquegua.

Roque Quiroz, R. A. (2022). Tendencia del NDVI en el Área de Conservación Regional Angostura Faical de Tumbes, Perú, 1999-2019. Manglar, 19(3), 233-237.

Silva, L. A. J., Quicaña, E. P., & Boza, F. A. A. (2021). Evaluación de la cobertura vegetal en bofedales altoandinos en función de la napa freática y precipitación utilizando imágenes de satélite. REV. INST. INVESTIG. FAC. MINAS METAL. CIENC. GEOGR, 24(48), 299-306.

Torres-Rojas, G., Romero-Sánchez, M. E., Velasco-Bautista, E., & González Hernández, A. (2016). Estimación de parámetros forestales en bosques de coníferas con técnicas de percepción remota. Revista mexicana de ciencias forestales, 7(36), 7-24.

Valcarcel, C. D., Atho, M. F., Laime, M. D., & Quispe, Y. C. (2024). Análisis y estimación de la cobertura forestal de un área urbana mediante el índice NDVI del portal Sentinelhub. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 18(2), 14-24.

Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. Idesia (Arica), 38 (4), 99-107.

Anexos

Anexo 1. Póster

Escuela Ambiental

Evaluación de la cobertura vegetal en predios forestales mediante imágenes satelitales y el índice NDVI en la finca Tierra Alta (Yarumal, Antioquia).

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

ESTUDIANTE: Elian Cataño Alvarez
ASESOR: David Aguiar Gil

PROGRAMA: Ingeniería Ambiental
SEMESTRE: 2025-2

Introducción

Actualmente se ha consolidado como un hecho importante, el implementar nuevas estrategias que permitan potenciar el monitoreo y el control de la cobertura vegetal, debido a que estas estrategias son clave para la gestión sostenible del territorio y la conservación del medio ambiente, permitiendo detectar cambios, evaluar impactos ambientales y tomar decisiones informadas para su protección obteniendo información más real y de alta precisión junto con los sistemas de información geográfica

En repuesta, la teledetección es un conjunto de técnicas que han demostrado ser una herramienta determinante para verificar la densidad de una cobertura vegetal y las dinámicas en los cambios de usos de suelo, permitiendo investigar las variaciones espectrales, espaciales y temporales mediante su huella espectral.



Figura 1: Imágenes satelitales.

Objetivos

Evaluar la calidad y tipo de cobertura vegetal mediante el procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales implementando el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), en la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal.

- Evaluar la variabilidad espacio-temporal de la vegetación de la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal.
- Analizar la distribución y el tipo de cobertura vegetal de la finca tierra alta ubicada en la vereda la Esmeralda del municipio de Yarumal.
- Determinar los cambios en el índice de vegetación normalizada NDVI a partir de imágenes satelitales multiespectrales, para identificar patrones de variación en la cobertura vegetal en el año 2024.

Metodología



Figura 2: Metodología.

La recopilación de imágenes multiespectrales se efectuó a partir del satélite Sentinel-2. El procesamiento de los datos, que comprendió las etapas de tratamiento, análisis e interpretación de los resultados, se llevó a cabo mediante la plataforma Google Earth Engine. Finalmente, la generación de los mapas temáticos se realizó utilizando el software ArcGis.

Resultados

El cálculo del NDVI anual se realizó de forma integrada con los meses de enero y diciembre en el periodo 2024, identificando las variaciones de cobertura vegetal que se han presentado en la zona de estudio, la mayor predominancia de la cobertura vegetal presente en la zona es de bosque denso con un área de 355.719 ha, seguido de vegetación alta con un área de 108.86 ha, de vegetación media tenemos 0.01 ha y 2 ha entre vegetación Ligera, suelo sin vegetación y nubes y cuerpos de agua.



Figura 3: índice NDVI anual.

El análisis estadístico del NDVI anual obtenido para la finca Tierra Alta evidencia un valor promedio de 0,82, lo que refleja una elevada cobertura vegetal y una intensa actividad fotosintética en la mayor parte del área evaluada. La presencia de bosque denso está directamente vinculada con la provisión de servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima, la conservación del suelo, la captura de carbono y la protección de la biodiversidad.

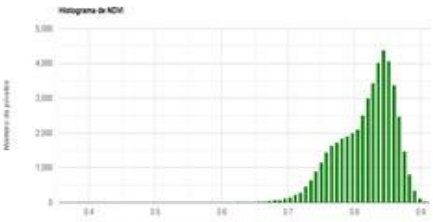


Figura 4: Histograma NDVI anual.



Figura 5: Variación NDVI anual.

Conclusiones

- La presencia predominante de coberturas vegetales densas en la finca indica un alto potencial del paisaje para sostener funciones ecológicas clave, siempre que se implementen estrategias de manejo adecuadas.
- El monitoreo continuo de los cambios en la cobertura vegetal permite no solo una adaptación más eficaz frente a los efectos del cambio climático, sino también una gestión más sostenible de las actividades productivas del grupo Núcleos.
- Resulta fundamental establecer un seguimiento periódico que permita identificar de manera oportuna las variaciones en el dosel vegetal, con el fin de anticipar impactos negativos tanto sobre la funcionalidad ecológica del ecosistema como sobre el rendimiento comercial de las plantaciones.

DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR

elian.catano@udea.edu.co

Escanea este QR para conocer más sobre el proyecto