

Análisis de la vegetación a partir de imágenes satelitales en Fómeque (2018-2024)

Vegetation analysis using satellite images in Fómeque (2018-2024)

Luisa Mariana **Ladino Torres**¹, Gina Paola **González Angarita**²,
Rafael Nikolay **Agudelo Valencia**³

Resumen

El municipio de Fómeque (Cundinamarca, Colombia) tiene el 49 % de su territorio dentro del Parque Nacional Natural Chingaza y su análisis de cobertura vegetal en esta zona es fundamental para comprender los usos del suelo y evaluar el estado de conservación del ecosistema. En este documento, se presenta el análisis de la tendencia de la vegetación en Fómeque entre 2018 y 2024. Para ello, se emplearon imágenes satelitales Landsat 5 y 8, por tanto, se aplicaron técnicas de teledetección, específicamente el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y sus cambios multitemporales. Los resultados detectaron cambios drásticos en la calidad de la vegetación, con una pérdida de vegetación vigorosa de aproximadamente 12,701 hectáreas en 2018 a 2,192 hectáreas en 2020. Esta reducción se asocia principalmente a incendios forestales inducidos por actividades agrícolas. La pérdida de vegetación en áreas de reserva ecológica constituye un factor de riesgo crítico para la conservación de la biodiversidad. Se concluye que el análisis multitemporal del

NDVI es una herramienta valiosa para la toma de decisiones en procesos de ordenamiento territorial y gestión ambiental en la región.

Palabras clave: cobertura vegetal, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), teledetección, incendios forestales, análisis multitemporal.

Abstract

The municipality of Fómeque (Cundinamarca, Colombia) has 49% of its territory within the Chingaza National Natural Park, and analysis of vegetation cover in this area is essential for understanding land use and assessing the conservation status of the ecosystem. This document presents an analysis of vegetation trends in Fómeque between 2018 and 2024. To this end, Landsat 5 and 8 satellite images were used, and remote sensing techniques were applied, specifically the Normalised Difference Vegetation Index (NDVI) and its multitemporal changes. The results detected drastic changes in vegetation quality, with a loss of vigorous vegetation from approximately 12,701 hectares in 2018 to 2,192 hectares in 2020. This

¹Universidad Libre

²Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

³Universidad Libre

Recibido: 8 de febrero de 2026

Aceptado: 28 de mayo de 2026

Publicado como ARTÍCULO CIENTÍFICO en Ra Ximhai 3(2): 153-170

doi.org/10.35197/rx.22.02.2026.08.II



reduction is mainly associated with forest fires induced by agricultural activities. The loss of vegetation in ecological reserve areas constitutes a critical risk factor for biodiversity conservation. It is concluded that multitemporal NDVI analysis is a valuable tool for decision-making in land

use planning and environmental management processes in the region.

Keywords: vegetation cover, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), remote sensing, forest fires, and multitemporal analysis.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la degradación de la vegetación es uno de los problemas ambientales más críticos, manifestado en la disminución de especies esenciales para los ecosistemas de páramo y alta montaña, como los pajonales, los helechos arbóreos, diversos grupos arbóreos (como el sietecueros) y los frailejones, estos últimos reguladores clave del recurso hídrico (Soto Juya y Motta Arteaga, 2022). Este deterioro es provocado por el incremento de actividades antrópicas que impactan negativamente el entorno. Entre los factores más determinantes se encuentran la ganadería extensiva, los cultivos ilícitos, la extracción de materiales pétreos, madera y los incendios forestales, cuyos efectos directos son la deforestación, la pérdida de biodiversidad y el deterioro ambiental (Abedi Gheshlaghi, 2019; IDEAM-MEDS, 2025; Maigua Taipe et al., 2025). A escala global, los incendios forestales se han consolidado como un factor determinante en la pérdida de cobertura forestal, generando impactos significativos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Tyukavina et al., 2022).

En la Amazonía Colombiana se ha identificado la presencia de ganadería extensiva, una actividad que degrada la vegetación y promueve el recambio de bosques por pastizales, situación que afecta la calidad de la cobertura vegetal como resultado de la deforestación y el pisoteo del ganado (Dávalos et al., 2014; Armenteras et al., 2006). De manera similar, en la Sierra Nevada de Santa Marta se identifica la presencia de cultivos ilícitos, especialmente de coca, que conllevan a una notable degradación de la vegetación. Para analizar los cultivos de coca, la investigación utiliza la cartografía digital y el Índice de Vegetación Normalizada (NDVI) desde 1997 hasta 2018, los resultados indican que la zona de mayor afectación se localiza en el norte de la Sierra nevada de Santa Marta, específicamente entre los municipios de Santa Marta y Dibulla (Afanador Suárez et al., 2022).

En el municipio de Chaguaní Colombia, la extracción de materiales pétreos y las actividades asociadas a la agricultura han generado un deterioro progresivo de los suelos, logrando que el municipio sea clasificado como áreas de vegetación pobre. Esta situación se refleja en la disminución de la calidad de la cobertura vegetal, observada en la

reducción de la vegetación vigorosa del 56 % al 52 % del área total del municipio. La investigación caracterizó la vegetación a través del NDVI como herramienta metodológica para el análisis de la cobertura vegetal. Los resultados señalan que la presencia de suelos desnudos afectó aproximadamente el 15 % del territorio a lo largo del periodo comprendido entre 2013 y 2018 (González et al., 2021).

En Cundinamarca, Colombia, se identifican incendios forestales que extinguen más de siete hectáreas y de estas, el 80% del área perdió toda su cobertura vegetal, las zonas más afectadas se situaron en los municipios de Chipaque, Cáqueza, Gutiérrez, Fosca, Fómeque (Reinoso, 2020). En los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia, se ha identificado que los incendios forestales constituyen una de las principales causas de los cambios en la cobertura vegetal, por causa de la combustión de la biomasa, que ocasiona la pérdida total o parcial de dicha cobertura. Con el fin de analizar esta problemática, Capador et al. (2021) evaluaron la dinámica de la cobertura vegetal con el NDVI, el cual permite identificar las variaciones espaciales y temporales en la calidad de la vegetación dentro de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental, asociadas a la ocurrencia de incendios forestales, los cuales alteran significativamente los valores de este índice. Los resultados indican que las localidades más susceptibles a estos eventos fueron Usaquén, Chapinero y Santa Fe, donde predomina una vegetación de calidad moderada a escasa, registrándose una disminución del 21,44 % de la vegetación de buena calidad (Capador et al., 2021).

En razón a lo anterior, se identifica que para la caracterización de las coberturas vegetales se utiliza el NDVI, puesto que es una herramienta clave para estimar la cobertura vegetal, detectar cambios en el paisaje y analizar dinámicas agronómicas e incendios forestales, lo que permite evaluar eficientemente su pérdida y transformación. (Romo Leon et al., 2012). Con el uso de imágenes satelitales multitemporales, el NDVI posibilita un análisis integral de cambios en la cobertura y uso del suelo, así como de procesos de degradación, desertificación y alteraciones de la salud vegetal (El Garouani et al., 2017; Lambin et al. 2001; Teluguntla, et al., 2024).

El NDVI constituye el principal indicador empleado para este estudio, debido a su capacidad para diferenciar la vegetación de otros tipos de cubierta terrestre (artificial) y su estado general. También permite definir y visualizar las áreas con vegetación en la cartografía, así como detectar cambios anormales en el proceso de crecimiento, cabe señalar que este índice presenta algunas limitaciones metodológicas, en particular, el NDVI presenta un efecto de saturación en áreas con alta biomasa, de modo que, en coberturas vegetales densas, los valores del índice alcanzan un umbral máximo, aun cuando el estado fisiológico de la vegetación sea variable, lo

que limita su capacidad para discriminar gradientes en área de vegetación muy densa (Sela, 2025; Desai et al., 2024).

Además, la sensibilidad al brillo del suelo y la presencia de superficies heterogéneas puede afectar la precisión de los resultados en zonas con cobertura vegetal escasa o con suelo desnudo (El Garouani. et al., 2017; Almalki et al., 2022). Estas restricciones dificultan la interpretación detallada de los procesos de degradación y recuperación de la cobertura vegetal, especialmente en ecosistemas andinos caracterizados por una elevada heterogeneidad espacial.

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) ha sido ampliamente utilizados para reducir los efectos del brillo del suelo en áreas con vegetación escasa, esto hace de dicha metodología una alternativa valiosa para evaluar la vegetación en regiones semiáridas (Almalki et al., 2022; Arboit & Maglione, 2018). Por otra parte, el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) ha sido desarrollado para operar frente a vegetaciones densas y reducción de influencias atmosféricas, además, posee la característica de ser sensible a variaciones del dosel y del área foliar de la vegetación (Huete et al. 1997; Binetti et al., 2025). Otro índice utilizado es el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR), que permite evaluar la severidad de incendios (Valdez-Zavala et al., 2019).

A pesar de la existencia de diversos índices de vegetación utilizados en estudios de teledetección, para el análisis realizado en este documento, fue seleccionado el NDVI como herramienta principal para el análisis multitemporal. Este índice, fue propuesto por Rouse et al. (1973) y ha demostrado ser un recurso invaluable para comprender y monitorear la superficie terrestre (Arlula, 2023). Su formulación sencilla y la disponibilidad consistente de las bandas rojo e infrarrojo cercano en los sensores Landsat permiten garantizar la comparabilidad de los resultados a lo largo del periodo de estudio. Por lo anterior, en este artículo, se presenta el análisis de la pérdida de cobertura vegetal, a través, del índice de vegetación Normalizada para el municipio de Fómeque, Cundinamarca, Colombia, para el periodo comprendido entre los años 2018 y 2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología se fundamenta en los principios de la teledetección y en la aplicación del NDVI para un análisis multitemporal. El procesamiento se realizó en QGIS siguiendo el flujo estandarizado propuesto por Cáceres et al. (2025), que consta de seis etapas: (i) delimitación del área de estudio; (ii) descarga de imágenes satelitales desde la plataforma Earth Explorer (USGS); (iii) conversión de formato ráster a vectorial para obtener las áreas de cambio; (iv) clasificación de la vegetación por categorías (v) cálculo del

área en hectáreas para cada categoría; (vi) cálculo de tasas de cambio para evaluar la dinámica espacial y temporal; y (vii) identificación de áreas con menor calidad vegetal y signos de recuperación entre los periodos analizados.

Área de estudio

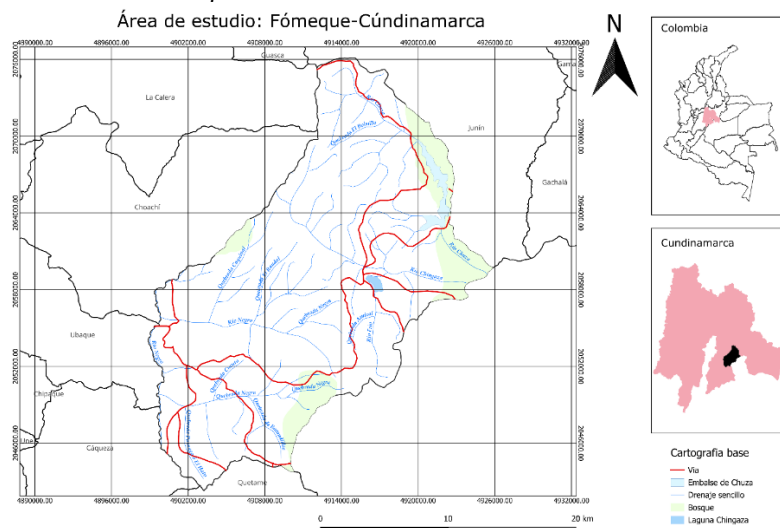
El municipio de Fómeque se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca, en la región Andina de Colombia, aproximadamente a 4°29'05"N 73°53'37"O y limita al norte con los municipios de la Calera, Guasca y parte de Choachí; al sur con los municipios de Quetame y el departamento del Meta; al oriente con los municipios de Gachalá, Junín, La Calera y Guasca; y al occidente con los municipios de Ubaque y Choachí (Alcaldía Municipal de Fómeque en Cundinamarca, 2021). Fómeque presenta un clima templado (Rincón, 2024), con precipitaciones anuales que varían entre los 2,000 y 4,000 mm, con una altitud de aproximadamente 2,300 metros sobre el nivel del mar (figura 1)

La zona de estudio se caracteriza por una transición altitudinal que abarca ecosistemas de páramo, subpáramo, bosque altoandino y bosque subandino. Esta variabilidad ambiental favorece una alta diversidad florística que incluye desde frailejones (*Espeletia* spp.) y pajonales (*Calamagrostis* spp.) en las zonas altas, hasta elementos arbóreos y arbustivos como el encenillo (*Weinmannia fagaroides*), el sietecueros (*Tibouchina* spp.) y helechos arbóreos (*Cyathea caracasana*). Asimismo, en las franjas boscosas destacan lauráceas como el laurel de cera (*Ocotea calophylla*) y el aguacate (*Persea americana*) (Alcaldía de Fómeque Cundinamarca, 2024).

El análisis de la cobertura vegetal en el municipio de Fómeque se desarrolla a partir de imágenes satelitales multitemporales de los sensores Landsat 5 TM y Landsat 8 OLI/TIRS, descargadas desde la plataforma USGS Earth Explorer. Durante la fase de selección, se revisaron múltiples escenas por año, priorizando aquellas que cubrieran completamente el área de estudio y presentaran baja nubosidad, con el fin de garantizar condiciones óptimas para el análisis espectral (González et al., 2021). Las imágenes seleccionadas fueron procesadas para el cálculo del NDVI, un indicador ampliamente utilizado para detectar y evaluar cambios en la cobertura vegetal. Este índice presenta valores comprendidos entre -1 y 1: los valores cercanos a -1 indican la presencia de suelo desnudo, zonas áridas, áreas urbanas o superficies rocosas, mientras que los valores superiores a 0 representan áreas con vegetación saludable y vigorosa (Islam et al., 2018).

Figura 1.

Área de estudio: Fómeque-Cundinamarca



Nota: Elaboración propia utilizando el Software QGIS Versión 3.42.0

Teledetección y aplicación del NDVI

El NDVI fue calculado utilizando la fórmula estándar propuesta por Rouse et al. (1973):

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

(Ecuación 1)

Donde NIR corresponde al valor de reflectancia en el infrarrojo cercano, el cual es la Banda 5 y RED al valor de reflectancia en la banda del rojo visible el cual es la Banda 4. Esta fórmula permite identificar la actividad fotosintética, es decir la presencia y el estado de la vegetación (Tucker, 1979). Para la interpretación espacial de los resultados, se obtiene una nueva imagen, en la cual se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales (Juzga Solanilla, 2016).

Clasificación de la vegetación

Los valores del NDVI oscilan entre -1 y 1, y permiten clasificar la vegetación en diferentes categorías. Según la escala establecida por Merg et al. (2011), los valores entre 0.01 y 0.1 corresponden a vegetación escasa o suelo desnudo, lo que indica una baja reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (NIR). Los valores entre 0.2 y 0.4 se clasifican como vegetación moderada, y aquellos superiores a 0.5 se atribuyen a vegetación densa y vigorosa. En la representación cartográfica (figura 1), esta

gradación se visualiza mediante una paleta de colores: la tonalidad roja (valores <0.2) indican suelo desnudo o vegetación escasa; el tono amarillo refleja vegetación moderada (0.2-0.4); y el verde representa la vegetación vigorosa (>0.5), asociada a una alta actividad fotosintética (González et al., 2021).

Tasas de cambio del NDVI

Las tasas de cambio anual permiten identificar las áreas finales e iniciales, con el fin de analizar la dinámica del área de estudio. Este procedimiento se desarrolla a partir de la clasificación de imágenes, técnica que asocia píxeles con valores de reflectancia similares en los mapas de NDVI (Arango et al., 2005), permitiendo cuantificar de manera más precisa la superficie ocupada por cada tipo de cobertura vegetal y generar mapas multitemporales para caracterizar los usos del suelo (González et al., 2021).

Para estimar el ritmo de transformación de la cobertura vegetal entre los diferentes periodos analizados, se aplicó la fórmula de tasa de cambio anual propuesta por Nascimento (1991) y Norman (1996), la cual permite conocer la variación relativa de la superficie de una cobertura determinada entre dos fechas, expresándola en porcentaje anual:

$$tc = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n} - 1} \right] \times 100$$

(Ecuación 2)

En donde tc es la tasa de cambios, S_1 es la superficie de cobertura vegetal en la fecha 1 en ha, S_2 es la superficie de cobertura vegetal en la fecha 2 en ha y n es la diferencia de años transcurridos entre ambos periodos. Esta metodología permite determinar las dinámicas espaciales y temporales de la vegetación, así como identificar los efectos de los incendios forestales y la posterior recuperación ecológica en el municipio de Fómeque, de manera similar a lo aplicado en los Cerros Orientales de Bogotá por Capador et al. (2021).

RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis multitemporal del NDVI permite identificar variaciones significativas en la cobertura vegetal del municipio de Fómeque entre 2018 y 2024. En el año 2018 predomina las áreas clasificadas como vegetación vigorosa, representadas por tono verde, especialmente en las zonas de páramo y bosque alto andino localizadas dentro del Parque Nacional Natural Chingaza, lo que indica una cobertura vegetal saludable. Está categoría alcanza una extensión de 12,701 ha, equivalente al 27.53% del territorio municipal. En 2019 las zonas de

páramo se reducen en un 40%, lo que refleja la presión creciente de la frontera agrícola, la urbanización en la zona sur oriental y una crisis de salud vegetal una enfermedad que mataba masivamente a los frailejones, que se relaciona con larvas y micro hongos, resultado del aumento de la temperatura en la alta montaña, permitiendo el desarrollo de larvas y hongos.

El año 2020 marca un cambio drástico en la cobertura vegetal, evidenciado por la extensa aparición de tonalidades rojas y naranjas en los mapas. Estas tonalidades reflejan una severa pérdida de vegetación vigorosa y un incremento de suelo desnudo, lo cual lo cual es consistente con lo reportado en estudios sobre incendios forestales que evidencian daños significativos en la estructura y función de la vegetación (Valencia et al., 2018). Este comportamiento también coincide con tendencias observadas a escala global, donde el fuego es una de las principales causas de pérdida de cobertura forestal y transformación del paisaje (Tyukavina et al., 2022).

Este periodo constituye el punto crítico del análisis, puesto que la vegetación vigorosa se redujo a solo 2,192 ha (4.75% del área), lo que representa una pérdida superior al 70% respecto a años anteriores. Paralelamente, la superficie de suelo desnudo experimentó un aumento exponencial, pasando de 5,455 ha en 2018 a más de 40,000 ha en 2020. La figura 2 ilustra claramente estas zonas críticas, así como los primeros indicios de recuperación en sectores menos afectados. La situación se intensifica en 2021, año en que las imágenes satelitales registran la mayor disminución de cobertura vegetal del período estudiado, como consecuencia directa y acumulativa de los incendios forestales y la sequía extrema ocurridos el año anterior. En este momento crítico, se observa el pico de degradación del ecosistema, con casi el 50% del territorio clasificado como suelo desnudo.

En 2022, se inició un proceso de recuperación en el que la vegetación vigorosa aumentó a 5,435 ha (11.78%), lo que representa un crecimiento del 98.6% respecto al año anterior. Esta tendencia se consolidó en 2023, alcanzando 10,517 ha de vegetación vigorosa (22.8%), lo que equivale a un notable incremento del 284% en comparación con 2021. Esta dinámica positiva se atribuye a la alta capacidad regenerativa de los pajonales y de especies arbóreas como el sietecueros. Asimismo, este comportamiento evidencia la resiliencia del ecosistema, un fenómeno similar al reportado en los Cerros Orientales de Bogotá, donde se demostró la recuperación vegetal post-incendio mediante el uso del NDVI (Capador et al., 2021).

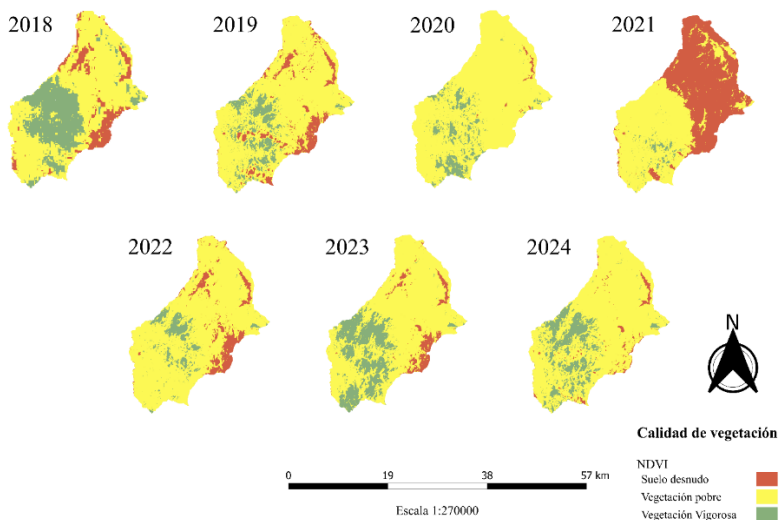
Para 2024, los datos registran una reducción sostenida del suelo desnudo, que disminuyó progresivamente hasta representar solo el 5.29% de la cobertura. Esta leve mejoría podría asociarse a una menor incidencia

de eventos climáticos extremos y, posiblemente, al efecto de las medidas de racionamiento implementadas en varios municipios para preservar los recursos hídricos. La cifra indica una recuperación ecológica parcial, concentrada principalmente en las zonas menos afectadas por los disturbios anteriores.

En síntesis, los resultados demuestran en la tabla 1 que la vegetación pobre fue la categoría predominante y más estable durante todo el periodo aumentando progresivamente desde 27,982 ha hasta 34,403 en promedio con tasas de cambio 3.50%. Por el contrario, la vegetación vigorosa y el suelo desnudo experimentaron fluctuaciones más acentuadas, directamente asociadas a perturbaciones como incendios, sequías y presiones antrópicas registrando pérdidas de -5.08%

Figura 2.

Análisis multitemporal NDVI del municipio Fómeque vector



Nota: Elaboración propia utilizando el Software QGIS Versión 3.42.0

La tasa de cambio negativa en el periodo 2019-2020 (-71%) confirma un deterioro acelerado del ecosistema, el cual se correlaciona directamente con el incendio forestal documentado por Reinoso (2020) en la revista *Tiempo*, así como la sequía extrema ocurrida ese mismo año. Las áreas más impactadas se localizaron en el suroccidente del municipio, donde los mapas muestran un predominio de tonos rojos y amarillo, indicativos de una cobertura vegetal escasa o ausente.

La tasa de cambio entre 2020 y 2021 representa un punto importante en la progresión de la cobertura vegetal del municipio de Fómeque. Para 2020,

la vegetación vigorosa era de 2,192 ha (4.75 %) y el suelo desnudo superaba las 40,000 ha (86.91 %). Para 2021, se observa una ligera recuperación en todas las clases de cobertura. Para la cobertura vigorosa aumentó un 9.18 % (2,393 ha) y la cobertura pobre un 48.9 %. El aumento de la vegetación pobre indica que una parte de la zona ha iniciado el proceso de regeneración, aunque sigue teniendo una calidad ecológica relativamente baja. La superficie de suelo desnudo disminuyó un 47.5 %, lo que indica una reducción de las clases más degradadas. Es posible que, tras los incendios forestales y la sequía extrema de 2020, la cubierta vegetal haya iniciado el proceso de resiliencia con el cambio a una cubierta vegetal de baja densidad antes de la recuperación vigorosa de la vegetación. El alto porcentaje de cobertura vegetal deficiente y la presencia de grandes áreas con sitios degradados indican que la recuperación de la vegetación aún no se ha completado. En este sentido, se podría decir que el período 2020-2021 fue un punto de inflexión: se detuvo la pérdida acelerada, pero el ecosistema seguía siendo frágil y las condiciones climáticas y la ausencia de nuevas perturbaciones antropogénicas fueron clave para consolidar el proceso de regeneración.

Tabla 1.
Tasas de cambio 2018-2024

	Vegetación vigorosa		Vegetación pobre		Suelo desnudo	
NDVI						
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Superficie en 2018	12701	27.53	27982	60.65	5455	11.82
Superficie en 2019	7557.52	16.38	32014.98	69.40	6557.31	14.21
Superficie en 2020	2192.26	4.75	3844.92	8.33	40098.1	86.91
Superficie en 2021	2393.50	5.19	22681.41	49.18	21045.6	45.63
Superficie en 2022	5435.09	11.78	35338.68	76.60	5357.30	11.61
Superficie en 2023	10517.53	22.80	32069.99	69.53	3538.96	7.67
Superficie en 2024	9288.43	20.13	34403.36	74.57	2441.08	5.29
Tasa de cambio 2018- 2019	-0.40	-40.5	0.14	14.4	0.20	20.2

Tasa de cambio 2019- 2020	-0.71	-71.0	-0.88	-88.0	0.515	51.5
Tasa de cambio 2020- 2021	0.09	9.18	0.489	48.9	-0.47	-47.5
Tasa de cambio 2021- 2022	0.986	98.57	0.56	55.8	-0.74	-74.5
Tasa de cambio 2022- 2023	0.93	93.51	-0.09	-9.2	-0.34	-33.9
Tasa de cambio 2023-2024	-0.12	-11.69	0.07	7.3	-0.31	-31.0

Nota: Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos confirman que el municipio de Fómeque experimentó una pérdida significativa de cobertura vegetal entre 2020 y 2021, atribuible principalmente a los incendios forestales y a un período de sequía en la zona. Este patrón es coherente con estudios globales que evidencian un aumento en la pérdida de bosques asociado a incendios, especialmente en contextos de cambio climático y presión antrópica (Tyukavina et al., 2022). Este hallazgo es similar con lo reportado por (Capador et al. 2021) para incendios en zonas de reserva natural y ecosistemas andinos, las afectaciones pueden superar el 70% de pérdida de vegetación en cortos períodos. No obstante, la recuperación observada a partir de 2022 demuestra la resiliencia del ecosistema bajo condiciones climáticas favorables y procesos de restauración natural, tal como lo señala Rendón et al. (2023).

La acelerada recuperación de la vegetación vigorosa observada entre 2022 y 2023 (alcanzando 10,517 ha) demuestra el alto potencial de la sucesión natural en áreas protegidas de alta montaña andina cuando cesan los disturbios directos. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Vidales Suarez (2025) en el páramo de Santurbán, quien sostiene que la restauración pasiva es una solución basada en la naturaleza altamente eficiente para recuperar las funciones ecosistémicas e hidrológicas en plazos mediatos. No obstante, tal como argumenta la autora, esta resiliencia natural de la flora paramuna no es infalible y se encuentra bajo

amenaza constante debido a las presiones del cambio climático y a las limitaciones fisiológicas adaptativas de especies clave frente a plagas y aumentos de temperatura en la alta montaña (CAR, 2018; Vidales Suarez, 2025; Maigua Taipe et al., 2025).

La utilización del NDVI resulta fundamental para identificar, monitorear y diferenciar áreas de suelo desnudo vegetación pobre y vegetación vigorosa, lo cual facilita también el análisis de patrones de pérdida forestal por incendios reportados en estudios globales (Tyukavina et al., 2022). Su utilidad, previamente destacada por Gandhi et al. (2015), Olivares y López (2019), se corroboró en este estudio, al permitir cuantificar de manera efectiva tanto el impacto de los incendios forestales como lo procesos de recuperación posterior post incendio. En el contexto colombiano, los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Capador et al. (2021) en los Cerros Orientales de Bogotá, reafirmando que el NDVI es una herramienta pertinente para evaluar la severidad del daño y la resiliencia en ecosistemas andinos afectados por incendios.

El análisis multitemporal con NDVI no solo permite cuantificar los cambios en la cobertura vegetal, sino también discutir sus causas multifactoriales y proyectar lineamientos para la gestión ambiental. Si bien la recuperación parcial observada entre 2022 y 2024 es alentadora, a pesar de la persistencia de presiones antrópicas y climáticas exige reforzar las políticas de restauración activa y conservación. Como sugieren González et al. (2021), se recomienda complementar el monitoreo con índices de vegetación con estrategias de adaptación al cambio climático, monitoreo continuo y planes de manejo comunitario para asegurar la conservación de estos ecosistemas estratégicos.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el análisis multitemporal del NDVI aplicado en este estudio, se identifica que los incendios forestales y la expansión agrícola constituyen las principales variables responsables de los cambios en la cobertura vegetal del municipio de Fómeque durante el periodo 2018–2024. Estos factores han incidido de manera directa en la reducción de la vegetación vigorosa y en el aumento sostenido de la vegetación pobre, la cual se consolidó como la categoría predominante y más estable a lo largo del periodo de análisis.

Los resultados evidencian que los eventos extremos ocurridos entre 2019 y 2021, particularmente los incendios forestales, generaron un deterioro acelerado del ecosistema, reflejado en tasas de cambio negativas y en la expansión significativa del suelo desnudo. No obstante, a partir de 2022 se observa un proceso gradual de recuperación de la

cobertura vegetal, lo que sugiere una capacidad de resiliencia ecológica del territorio, especialmente en áreas menos intervenidas o con condiciones ambientales favorables. Esta recuperación, aunque parcial, pone de manifiesto la importancia de considerar los tiempos ecológicos de regeneración y las limitaciones inherentes al uso de un único índice de vegetación.

En este sentido, los hallazgos obtenidos respaldan lo planteado por Gandhi et al. (2015), quienes destacan la utilidad del NDVI como una herramienta eficaz para el análisis de dinámicas vegetales y la detección de cambios espaciales y temporales en la cobertura del suelo bajo distintas condiciones ambientales. El uso de análisis multitemporales permitió no solo identificar patrones de degradación y recuperación, sino también reconocer periodos críticos y zonas prioritarias para la gestión ambiental.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Primer autor: Realizó la redacción inicial del manuscrito, desarrolló la metodología y el proceso de análisis de los datos, así como la interpretación de los resultados; Se encargó de la organización y construcción del documento en su versión preliminar.

Segundo autor: Participó en la revisión crítica y corrección de la redacción del artículo, aportando a la coherencia y claridad del texto, de esta manera, brindó su acompañamiento técnico en la elaboración y validación de los resultados obtenidos.

Tercer autor: Contribuyó en la revisión y edición final del artículo, aportando ajustes académicos para fortalecer la versión definitiva del texto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento por el apoyo y acompañamiento brindado durante el desarrollo de este trabajo. En especial, se reconoce la disposición, orientación académica y contribuciones realizadas por los coautores en la corrección, revisión y fortalecimiento del texto. Su colaboración fue fundamental para la construcción colectiva y finalización de este artículo.

LITERATURA CITADA

- Abedi Gheshlaghi, H. (2019). Using GIS to Develop a Model for Forest Fire Risk Mapping. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47(7), 1173–1185. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00981-z>
- Afanador Suárez, H., González Angarita, G., Ramírez Castañeda, L., & Cardoso Castro, P. (2022). Illicit Crops, Planning of Substitution with Sustainable

- Crops Based on Remote Sensing: Application in the Sierra Nevada of Santa Marta, Colombia. En C. Gorse, L. Scott, C. Booth y M. Dastbaz (2022) *Climate Emergency – Managing, Building, and Delivering the Sustainable Development Goals* (pp. 483–494). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79450-7_36
- Alcaldía Municipal de Fómeque en Cundinamarca. (2021). *Nuestro municipio*. <https://www.fomeque-cundinamarca.gov.co/tema/control/nuestro-municipio>
- Alcaldía de Fómeque (Cundinamarca). (2024). *Plan de desarrollo 2024-2027*. Municipio de Fómeque. <https://mapas.cundinamarca.gov.co/documents/88a7651275694d32bbe31c6ce25ed407/about>
- Almalki, R., Khaki, M., Saco, P., & Rodriguez, J. (2022). Monitoring and Mapping Vegetation Cover Changes in Arid and Semi-Arid Areas Using Remote Sensing Technology: A Review. *Remote Sensing*, 14(20), 5143. <https://doi.org/10.3390/rs14205143>
- Arango Gutiérrez, M., Branch Bedoya, J. & Botero Fernández, V. (2005). Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “landsat - etm +”. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2611-2634.
- Arboit, M., & Maglione, D. (2018). Análisis multitemporal y multiespacial del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) en centros urbanos forestados y oasis irrigados, con climas seco. *Boletín de Estudios Geográficos*, 109, 13–60.
- Arlula. (27 de septiembre de 2023). *A Guide on NDVI, NDWI and Derived Bands*: <https://www.arlula.com/news/a-guide-on-ndvi-ndwi-and-derived-bands>
- Armenteras, D., Rudas, G., Rodriguez, N., Sua, S., & Romero, M. (2006). Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon. *Ecological Indicators*, 6(2), 353–368. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.03.014>
- Binetti, M., Uricchio, V. & Massarelli, C. (2025). Isolation Forest for Environmental Monitoring: A Data-Driven Approach to Land Management. *Environments*, 12(4), 116. <https://doi.org/10.3390/environments12040116>
- Cáceres, O., Cleves, J., & González, G. (2025). Advanced Machine Learning Methods as a Planning Strategy in the Capellanía Wetland. *Sustainability*, 17(18), 8462. <https://doi.org/10.3390/su17188462>
- Capador, Y., González, G., & Suarez, P. (2021). Análisis de la cobertura vegetal en incendios forestales mediante índices espectrales: caso de estudio Cerros Orientales (Bogotá, Colombia). *Avances Investigación en Ingeniería*, 18(1). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.6931>

- Dávalos, L., Holmes, J., Rodríguez, N., & Armenteras, D. (2014). Demand for beef is unrelated to pasture expansion in northwestern Amazonia. *Biological Conservation*, 170, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.018>
- Desai, S., Mattoo, M., Deshpande, A. M., Dey, A. & Akiwate, S. (2024). Vegetation Change Detection Through NDVI Analysis Using Landsat-8 Data. 2024 4th International Conference on Computer, Communication, Control Information Technology (C3IT), 1–6. <https://doi.org/10.1109/C3IT60531.2024.10829460>
- El Garouani, A., Mulla, D. J., el Garouani, S., & Knight, J. (2017). Analysis of urban growth and sprawl from remote sensing data: Case of Fez, Morocco. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(1), 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.02.003>
- Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). NDVI: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis – A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199–1210. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>
- González, G. P., Toro Casas, V., Dorado Castillo, E. O., & Ramírez Castañeda, L. N. (2021). Evaluación de patrones temporales en la dinámica para el cambio de cobertura vegetal en zonas rurales tropicales durante el periodo 2013-2018. Caso de estudio Chaguaní-Colombia. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 18. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr18.eptd>
- Huete, A., Liu, H., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- IDEAM. (2020). Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales en Colombia 2019- 2020. Incendio en Fómeque controlado en un 70%. (2020, marzo 11). *Periódico el sirirí*.
- IDEAM - MEDS (2025). *Actualización de cifras de monitoreo de la superficie de bosque - Año 2024: Resumen de resultados de monitoreo*. <https://www.ideam.gov.co/sala-de-prensa/informes/Informe-anual-del-monitoreo-de-bosque-y-la-deforestacion>
- Islam, K., Jashimuddin, M., Nath, B., y Tapan, K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1), 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2016.12.005>
- Juzga Solanilla, M. (2016). *Comparación de índices de vegetación en el cerro de la conejera de la ciudad de Bogotá*. [Tesis de especialidad. Universidad Militar Nueva Granada]. Recuperada de: <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/7a3267cb-247a-4fb8-8c54-d49a674ccf31/content>

- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. S., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. F., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Maigua Taipei, L., Andrango Ocapana, M., Iglesias Sinailín, O., Rosado Suárez, F., Loja Sanmartín, B., & Morales Chiriboga, S. (2025). Impacto del cambio climático en la biodiversidad de ecosistemas terrestres. *South Florida Journal of Development*, 6(4). <https://doi.org/10.46932/sfjdv6n4-022>
- Merg, C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F., Montalva, R., Guzmán, L., Rodríguez, K., Blanco, F., & Selzer, F. (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. *Revista Pilquen*, 10(3) 1-11.
- Nascimento, J. R. (1991). Discutendo números do desmatamento. *Interciencia*, 16(5), 232-239.
- Norman, D. (1996). *Desarrollo de sistemas agrícolas y conservación del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- Olivares, B., & López-Beltrán, M. (2019). Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *UNED Research Journal*, 11(2), 112–121. <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>
- Reinoso, G. (2020, enero 11). Más de tres incendios forestales por día en Cundinamarca y Bogotá. *El tiempo*.
- Rendón Acevedo, J., Mora Villalobos, C., Díaz Mateus, R., Gutiérrez Villamil, S., León Cárdenas, L., Álvarez Ochoa, C., Ramírez Rave, C., & Martínez Prieto, A. (2023). *Departamento de Cundinamarca: Diagnóstico Socioeconómico y de Producción Agropecuaria (2010-2019)*. Universidad de la Salle.
- Rincón, Y. D. (2024). *Implementación de las Buenas Prácticas Pecuarias en la granja avícola “El Porvenir” en la vereda Carrizal del municipio de Fómeque, Cundinamarca*. [Diplomado de profundización para grado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/60670>
- Romo Leon, J., van Leeuwen, W. & Casady, G. (2012). Using MODIS-NDVI for the Modeling of Post-Wildfire Vegetation Response as a Function of Environmental Conditions and Pre- Fire Restoration Treatments. *Remote Sensing*, 4(3), 598–621. <https://doi.org/10.3390/rs4030598>
- Rouse, J., Haas, R., Deering, D., & Schell, J. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. En *3rd ERTS symposium, NASA Washington DC*. (Vol. 1, pp. 309-317).

- Sela, G. (27 de 10 de 2025). *Más allá del NDVI: lo que otros índices revelan del cultivo*. <https://croipa.com/es/blog/mas-alla-del-ndvi-lo-que-otros-indices-revelan/>
- Soto Juya, A., & Motta Arteaga, Y. (2022). *Vulnerabilidad asociada a la degradación del páramo de las especies de frailejón Espeletia paipana y Espeletiopsis corymbosa en el altiplano cundiboyacense*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales].
- Teluguntla, P., Thenkabail, P., Xiong, J., Oliphant, A., Gumma, M., Giri, C., Milesi, C., Ozdogan, M., Congalton, R., Tilton, J., Sankey, T., Massey, R., Phalke, A., & Yadav, K. (2024). Global Food Security Support Analysis Data (GFSAD) Using Remote Sensing in Support of Food and Water Security in the 21st Century. En *Remote Sensing Handbook, Volume III* (pp. 187–228). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003541165-9>
- Tyukavina, A., Potapov, P., Hansen, M. C., Pickens, A. H., Stehman, S. v., Turubanova, S., Parker, D., Zalles, V., Lima, A., Kommareddy, I., Song, X.-P., Wang, L., & Harris, N. (2022). Global Trends of Forest Loss Due to Fire From 2001 to 2019. *Frontiers in Remote Sensing*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.825190>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150.
- Valdez-Zavala, K., Bravo Peña, L., & Manzo Delgado, L. (2019). Áreas quemadas y cambio de uso del suelo en el suroeste de Chihuahua (México) durante el periodo 2013-2017: Identificación con el índice Normalized Burn Ratio (NBR). *Acta Universitaria*, 29, 1–15. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2418>
- Valencia, D., Saavedra, J., Brull, J., & Santelices, R. (2018). Severidad del daño causado por los incendios forestales en los bosques remanentes de Nothofagus alessandrii Espinosa en la Región del Maule de Chile. *Gayana. Botánica*, 75(1), 531– <https://doi.org/10.4067/S0717-66432018000100531>
- Vidales Suarez, L. (2025). *Restauración ecológica del páramo de Santurbán como solución basada en la naturaleza*. [Tesis de especialidad. Universidad Militar Nueva Granada]. Recuperada de <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/3b808bc3-2ba9-402e-b93d-d6db268f0af3/content>

SÍNTESIS CURRICULAR

Luisa Mariana Ladino Torres

Estudiante de Ingeniería Ambiental, caracterizada por un alto nivel de motivación, organización y disciplina. Comprometida con la excelencia en el desempeño de las tareas asignadas y orientada al aprendizaje continuo. Aspirante a investigadora con actitud proactiva y la capacidad de adaptación a distintos entornos de trabajo, así como, habilidades para

colaborar eficazmente en equipos multidisciplinarios y contribuir al logro de los objetivos planteados. Correo electrónico: luisam-ladinot@unilibre.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7489-9700>.

Gina Paola González Angarita

Ingeniera ambiental, especialista en Gestión Ambiental y doctora en Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Cuenta con más de 20 años de experiencia profesional en los campos del ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la aplicación de tecnologías de teledetección para el análisis, monitoreo y evaluación de ecosistemas. Su trayectoria se ha enfocado en el estudio y la planificación de humedales urbanos, rurales y zonas rurales, así como en la integración de herramientas geoespaciales y de percepción remota para la gestión sostenible del territorio. Ha participado en proyectos relacionados con la caracterización ambiental, la planificación territorial, la conservación de recursos naturales y el análisis de los impactos ambientales asociados a los procesos de transformación del paisaje. Correo electrónico: gina.gonzalez@escuelaing.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9436-5371>.

Rafael Nikolay Agudelo Valencia

Ingeniero químico de la Universidad nacional de Colombia, especialista en química ambiental de la Universidad Industrial de Santander, magister en ingeniería ambiental de la Universidad de los Andes. Cuenta con más de 18 años de experiencia en docencia universitaria, ejercicio profesional en el sector público (entidades de administración ambiental), sector privado, sector químico y servicio públicos. Consultor en temas de modelamiento y simulación ambiental. Interesado en temas de tratamiento de aguas naturales y residuales, valorización de residuos. Correo electrónico: rafaeln.agudelov@unilibre.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6646-7725>.