



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

“DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA ZONIFICACIÓN FORESTAL MEDIANTE
CRITERIOS BIOFÍSICOS Y HERRAMIENTAS DE PERCEPCIÓN REMOTA EN LA
FRACCIÓN 1 DEL PREDIO RÚSTICO MURIDORES, MUNICIPIO DE SAN BARTOLO
TUTOTEPEC, HIDALGO”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

CLAUDIA MARTÍNEZ TREJO

DIRECTOR

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

CODIRECTOR

DR. PABLO IRVING FRAGOSO LÓPEZ

COMITÉ TUTORIAL

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

DR. JOSÉ JUSTO MATEO SÁNCHEZ

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. MÉXICO JULIO, 2026



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales
Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 26 de junio de 2026

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Claudia Martínez Trejo**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Diseño metodológico para la zonificación forestal mediante criterios biofísicos y herramientas de percepción remota en la fracción 1 del predio rustico Muridores, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE: Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

SECRETARIO: Dr. José Justo Mateo Sánchez

VOCAL 1: Dr. Ramón Razo Zárate

VOCAL 2: Dr. Pablo Irving Fragoso López

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. José González Ávalos
Coordinador del Programa Educativo
en Ingeniería Forestal

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP



"Amor, Orden y Progreso"



Av. Universidad No. 133, Col. San Miguel Huatengo, Santiago
Tulantepec. C.P. 43775. Hidalgo, Mexico.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42073
profe_5566@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

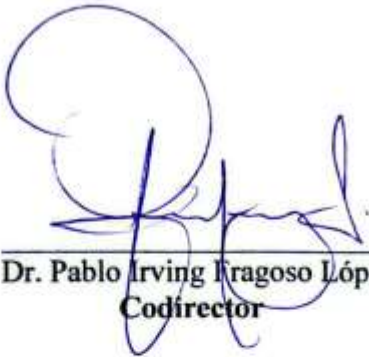
La presente tesis titulada “Diseño metodológico para la zonificación forestal mediante criterios biofísicos y herramientas de percepción remota en la fracción 1 del predio rustico Muridores, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo” realizada por la pasante **Claudia Martínez Trejo**, bajo la dirección del Dr. Ramón Razo Zárate y codirección del Dr. Pablo Irving Fragoso López y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

Comité asesor



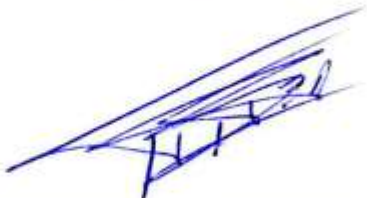
Dr. Ramón Razo Zárate
Director



Dr. Pablo Irving Fragoso López
Codirector



Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Asesor



Dr. José Justo Mateo Sánchez
Asesor

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, hicieron posible la realización de este trabajo de investigación.

En primer lugar, agradezco profundamente a mis padres, por ser el pilar más importante de mi vida. Gracias por su amor incondicional, por cada sacrificio realizado para brindarme la oportunidad de estudiar, por sus consejos, su paciencia y por creer siempre en mí, incluso en los momentos más difíciles. Este logro también les pertenece, ya que sin su apoyo, esfuerzo y confianza no habría sido posible alcanzar esta meta. Son mi mayor ejemplo de perseverancia, honestidad y trabajo.

A mi familia, gracias por acompañarme durante este camino, por sus palabras de aliento, comprensión y cariño. Su apoyo constante me motivó a seguir adelante y a no rendirme ante los desafíos que se presentaron durante esta etapa.

A mis amigos, gracias por compartir conmigo este proceso, por su compañía, por los momentos de apoyo, las experiencias vividas y por brindarme ánimo cuando más lo necesité. Su amistad hizo este camino más llevadero y enriquecedor.

También expreso mi agradecimiento a mis profesores y asesores, por compartir sus conocimientos, orientación y experiencia durante el desarrollo de esta investigación. Sus enseñanzas contribuyeron significativamente a mi formación profesional y al fortalecimiento de este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron a la culminación de esta tesis y al cumplimiento de una de las metas más importantes de mi vida.

A todos ustedes, muchas gracias.

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi papá, quien ha sido mi mayor inspiración y el ejemplo más grande de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia. Gracias por cada sacrificio, por enseñarme que el trabajo constante y la honestidad son el camino para alcanzar las metas. Tu apoyo incondicional, tus consejos y la confianza que siempre depositaste en mí fueron la fuerza que me impulsó a no rendirme y a llegar hasta este momento tan importante de mi vida. Este logro también es tuyo, porque sin ti no habría sido posible. A mi mamá, por su amor infinito, comprensión y por acompañarme en cada paso de este camino. Gracias por creer en mí, por tus palabras de aliento y por estar siempre presente en los momentos más importantes de mi vida.

A mi familia, por su cariño, apoyo y motivación constante. Gracias por celebrar cada uno de mis logros y por impulsarme a seguir adelante.

A mis amigos, quienes hicieron de este proceso una experiencia más agradable con su compañía, apoyo y amistad sincera.

Finalmente, dedico esta tesis a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional y me motivaron a cumplir este sueño.

Con todo mi cariño y gratitud.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRAC	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.3 HIPÓTESIS	16
II. MARCO TEÓRICO	17
2.1. La zonificación forestal como herramienta de planificación	17
2.2. Categorías de zonificación forestal	17
2.2.1. Zonas de producción forestal.....	17
2.2.2. Clasificación de superficie	18
2.2.3. Aplicaciones en el contexto forestal (Rodalización).....	19
2.2.4. Metodologías para la zonificación forestal	22
2.2.4.1. Métodos tradicionales.....	22
Análisis del paisaje	22
2.2.5. Identificación de áreas de conservación, reforestación y aprovechamiento	22
2.2.5.1 Enfoques modernos	23
2.2.6 Comparación entre métodos	25
2.7 Tecnologías de percepción remota aplicadas al análisis territorial.....	26
2.7.1 Fundamentos para el uso de la percepción remota	26
2.8 Tipos de sensores y su resolución espacial.....	27
2.9 Tipos de resolución.....	27
2.9.1 Ventajas del uso de imágenes satelitales.....	28
2.10 Índice de vegetación.....	29
III. MATERIALES Y METODOS	33
IV. METODOLOGÍA.....	34
4.1 Obtención de información (imágenes de satélite)	34
4.2 Procedimiento metodológico para la rodalización mediante NDVI en QGIS.....	38

4.3.	Definición y delimitación de rodales	41
		43
V.	RESULTADOS	45
5.1.	Validación de resultados	49
VI.	DISCUSIÓN	51
VII.	CONCLUSIONES	53
VII.	LITERATURA CITADA	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Imágenes satelitales del predio en de diferentes años, A) 2019 y B) 2024.....	23
Figura 2 Representación gráfica de los rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Imagen generada mediante IA.....	30
Figura 3 Mapa de vegetación del cerro El Potosí mediante imágenes satelitales (García et al., 1999).....	32
Figura 4 Ubicación geográfica del predio Fracción 1 del Predio Rústico Muridores, Mun. de San Bartolo Tutotepec. Autoría propia	33
Figura 5 Por de registro en la página de ESA.	34
Figura 6 Visualización de combinación de bandas.....	35
Figura 7 Calendario para la selección de una fecha específica	36
Figura 8 Opciones disponibles de la búsqueda, donde se seleccionó la fecha.	36
Figura 9 Vista previa del predio de la imagen satelital.....	37
Figura 10 Color verdadero (True Color) con las bandas B02, B03 y B04.	38
Figura 11 Resultado obtenido mediante el cálculo del NDVI.....	40
Figura 12 Resultados de la rodalización con la herramienta de NDVI del Predio Rústico.	41
Figura 13 Polígono sobre imagen satelital del predio	42
Figura 14 imágenes del predio en diferente temporal (Google Earth 2025)	43
Figura 15 Comparación entre imágenes satelitales de épocas diferentes (2016 izquierda y 2024 derecha).	43
Figura 16 comparación de la limitación entre rodales en diferentes épocas.	45
Figura 17 Resultado de la ecuación del NDVI, con ligera transparencia del predio.....	46
Figura 18 Curvas de nivel y corrientes de agua	47
Figura 19 Zonificación forestal del predio Fracción 1 predio rustico cumbre de Muridores, San Bartolo Tutotepec, Hidalgo.	48
Figura 20 Resultado final del proyecto	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características del sensor SEBTINEL 2A, 13 canales multiespectrales.	24
----------------	---	----

RESUMEN

La delimitación de rodales constituye una actividad fundamental para la planificación y el manejo forestal sustentable, ya que permite identificar unidades homogéneas de vegetación con características biofísicas y productivas similares. El objetivo de esta investigación fue desarrollar una metodología para la rodalización de un predio forestal mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El estudio se realizó en un predio perteneciente al Ejido Cumbre de Muridores, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo. Las imágenes satelitales fueron obtenidas de la plataforma Copernicus y procesadas en el software QGIS utilizando las bandas B02, B03, B04 y B08 para generar el NDVI, el cual permitió identificar diferencias en la cobertura y el vigor de la vegetación. Posteriormente, se delimitó la zonificación forestal considerando las características espectrales, fisiográficas e hidrológicas del área de estudio, incorporando curvas de nivel y corrientes de agua provenientes de la cartografía oficial del INEGI. Finalmente, la cartografía generada fue validada en campo mediante la aplicación SW Maps y el registro de fotografías georreferenciadas. Los resultados demostraron que la integración del NDVI, las imágenes Sentinel-2 y los Sistemas de Información Geográfica permitió obtener una delimitación precisa de los rodales y una zonificación forestal confiable, facilitando la planeación del manejo forestal sustentable y el cumplimiento de los criterios establecidos en la NOM-152-SEMARNAT-2023.

Palabras clave: Rodalización, NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), Sentinel-2, Percepción remota, Sistema de Información Geográfica (SIG), Zonificación Forestal, Manejo Forestal Sustentable.

ABSTRAC

Forest stand delineation is a fundamental process for sustainable forest planning and management, as it enables the identification of homogeneous vegetation units with similar biophysical and productive characteristics. The objective of this study was to develop a methodology for forest stand delineation using Sentinel-2 satellite imagery, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and Geographic Information System (GIS) tools. The research was conducted in a forest property belonging to the Ejido Cumbre de Muridores, located in the municipality of San Bartolo Tutotepec, Hidalgo, Mexico. Satellite images were obtained from the Copernicus platform and processed in QGIS using bands B02, B03, B04, and B08 to calculate the NDVI, which allowed the identification of differences in vegetation cover and vigor. Forest zoning was subsequently established based on spectral, physiographic, and hydrological characteristics, incorporating contour lines and stream networks obtained from official INEGI topographic maps. Finally, the generated cartography was validated through field verification using the SW Maps application and georeferenced photographic records. The results demonstrated that the integration of NDVI, Sentinel-2 imagery, and GIS tools enabled accurate forest stand delineation and reliable forest zoning, providing valuable information for sustainable forest management and supporting compliance with the requirements established in the NOM-152-SEMARNAT-2023 standard.

Keywords: forest stand delineation, NDVI, Sentinel-2, remote sensing, Geographic Information Systems (GIS), forest zoning, sustainable forest management.

I. INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los recursos forestales constituye uno de los principales desafíos en el contexto actual, debido a la creciente presión sobre los ecosistemas y la necesidad de equilibrar el aprovechamiento productivo de la conservación ambiental. En este sentido, la zonificación forestal se ha consolidado como una herramienta para la planificación territorial, ya que permite organizar, clasificar y delimitar las áreas forestales con base en sus características ecológicas, productivas y sociales, facilitando la toma de decisiones orientadas al manejo sustentable. El avance de las tecnologías de percepción remota ha transformado significativamente los procesos de análisis territorial, al proporcionar información precisa, actualizada y de amplia cobertura espacial. Permitiendo, el uso de imágenes satelitales provenientes de plataformas como Sentinel-2 que ha permitido mejorar la identificación de la cobertura vegetal y el monitoreo de los cambios en los ecosistemas forestales. Mediante el uso de índices de vegetación, como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que nos permite evaluar el estado, densidad y vigor de la vegetación, lo que resulta clave para la delimitación de unidades homogéneas de manejo. (Hernández, 2016).

En este contexto, la rodalización representa un componente esencial dentro de la planificación forestal, ya que nos permite dividir el predio en unidades relativamente homogéneas en términos de composición vegetal y condiciones fisiográficas. Esta delimitación facilita la aplicación de tratamientos silvícolas, el monitoreo de los recursos forestales y la implementación de estrategias de conservación y aprovechamiento.

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un proceso de zonificación forestal mediante el uso de herramientas de percepción remota y sistemas de información geográfica, aplicadas a un predio ubicado en el municipio de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo. Para ello, se emplearon imágenes satelitales Sentinel-2 y el cálculo del (NDVI), integrando análisis espacial en el software QGIS para la delimitación de rodales y la caracterización de la cobertura vegetal. Los resultados obtenidos buscan contribuir al fortalecimiento de metodologías aplicadas en el manejo forestal, proporcionando información confiable y de fácil interpretación que apoye la toma de decisiones en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

1.1 JUSTIFICACIÓN

La zonificación forestal es esencial para el manejo sostenible de los recursos naturales, ya que permite identificar, clasificar y delimitar los terrenos forestales según su capacidad productiva, ecológica y de conservación. Justificar su estudio radica en la necesidad de optimizar el uso de los bosques, proteger la biodiversidad, prevenir la degradación del suelo y garantizar la provisión de servicios ecosistémicos.

Asimismo, la incorporación de tecnologías modernas en las misiones Sentinel del programa Copernicus permite obtener información precisa y actualizada sobre la cobertura forestal, el vigor de la vegetación y los cambios ambientales, superando las limitaciones de los métodos tradicionales. Por ello, la zonificación forestal no solo aporta, sino que también proporciona herramientas prácticas para la planificación, conservación y restauración de los ecosistemas, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la toma de decisiones informadas en el manejo forestal. En muchas regiones forestales, la planificación y el manejo de los recursos naturales se ven limitados por la falta de información espacial precisa, actualizada y homogénea sobre la cobertura vegetal y las características del terreno. Esta situación dificulta la delimitación adecuada de unidades de manejo, como los rodales, lo que puede derivar en una aplicación ineficiente de tratamientos silvícolas, en una evaluación incorrecta del estado de la vegetación y en una toma de decisiones poco fundamentada.

Asimismo, los métodos tradicionales de rodalización, basados principalmente en trabajo de campo y fotointerpretación visual, suelen tener ciertas limitaciones, tiempos prolongados y restricciones en el acceso a ciertas áreas, lo que reduce la calidad y representatividad de la información obtenida. A esto se suma la falta de estandarización en los procesos metodológicos, lo que genera inconsistencias en los resultados y dificulta su comparación en el tiempo y entre distintas regiones. En el caso específico del predio de estudio, la ausencia de una zonificación, detallada y actualizada limita la identificación de áreas con diferente potencial productivo, de conservación o de restauración, lo que impide optimizar el aprovechamiento de los recursos forestales y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Aplicar técnicas de percepción remota y sistemas de información geográfica para generar una zonificación forestal basada en el análisis del NDVI, que permita delimitar unidades homogéneas de manejo (rodales) en el predio.

Objetivos específicos

- Obtener y seleccionar imágenes satelitales de Sentinel-2 del área de estudio.
- Procesar las bandas espectrales (B02, B03, B04 y B08) para generar composiciones en color verdadero y análisis multiespectral.
- Calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) para evaluar el estado y la densidad de la vegetación.
- Clasificar la cobertura vegetal del predio con base en los valores obtenidos del NDVI y delimitar los rodales mediante el análisis de la variabilidad de la vegetación y características fisiográficas del terreno.
- Integrar la información generada en un Sistema de Información Geográfica (QGIS) para su análisis espacial.
- Validar en campo la delimitación de rodales mediante el uso de herramientas de georreferenciación.

1.3 HIPÓTESIS

El uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) permiten delimitar de manera precisa los rodales y caracterizar la cobertura vegetal, mejorando la zonificación forestal en el área de estudio.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. La zonificación forestal como herramienta de planificación

La zonificación forestal es un proceso de planificación de carácter obligatorio dentro de la política nacional, cuyo propósito es identificar, clasificar, organizar y delimitar los terrenos forestales según sus funciones y subfunciones biológicas, ambientales, socioeconómicas, recreativas, protectoras y restauradoras. Su finalidad es optimizar la gestión de los recursos y fomentar un desarrollo forestal sostenible. Para ello, integra criterios ecológicos como la capacidad de uso del suelo, los tipos de bosque, la cobertura vegetal, el grado de fragilidad de los ecosistemas, así como la distribución de la biodiversidad y de la fauna silvestre (CONAFOR, 2011).

La delimitación derivada de la zonificación permite reconocer tanto las potencialidades como las restricciones para el aprovechamiento directo e indirecto de los ecosistemas forestales y demás tipos de vegetación. También considera su capacidad para generar bienes y servicios ambientales, establece alternativas de uso y contribuye al desarrollo de herramientas operativas para diseñar, ejecutar y dar seguimiento a proyectos orientados al manejo y conservación de los recursos naturales (Hernández, 2016).

Para alcanzar un aprovechamiento sustentable de los recursos forestales es indispensable conocer su cantidad, calidad y variación en el espacio y en el tiempo. Sin embargo, esto no siempre es posible debido a las dificultades de acceso a ciertas áreas, lo que puede limitar la obtención de información completa y detallada sobre los recursos de interés (Hernández, 2016).

2.2. Categorías de zonificación forestal

2.2.1. Zonas de producción forestal

Bosque de categoría I: Corresponde a bosques primarios o secundarios que permiten un aprovechamiento forestal sostenible de carácter intensivo o mecanizado. Además de la extracción de madera, incluyen el manejo de fauna silvestre, la obtención de productos no maderables y la provisión de servicios ambientales.

Bosque de categoría II: Comprende bosques primarios o secundarios donde es posible realizar un aprovechamiento sostenible de baja intensidad, manteniendo el uso de fauna silvestre, productos no maderables y servicios ambientales.

Bosque de categoría III: Se refiere a bosques primarios o secundarios destinados principalmente al aprovechamiento de recursos distintos a la madera, junto con el manejo de fauna silvestre, productos no maderables y servicios ambientales.

Bosques plantados: Son formaciones forestales resultantes de procesos de forestación o reforestación, establecidas con fines productivos, de restauración y/o protección (Hernández, 2016).

2.2.2. Clasificación de superficie

La clasificación y cuantificación de la superficie de un predio sujeto a aprovechamiento debe integrarse con base en la superficie forestal existente y su distribución, tanto al interior como en el entorno del predio. A partir de un diagnóstico general, se determinan las características físicas y biológicas que definen las condiciones del área de estudio.

Dicho diagnóstico comprende la descripción de factores como clima, suelo, topografía, hidrología, tipo de vegetación y especies dominantes de flora y fauna, así como la información obtenida mediante trabajos de campo (SEMARNAT, 2023).

- **Áreas de conservación y aprovechamiento restringido**

Las zonas del territorio nacional y aquéllas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano o que requieren ser preservadas y restauradas y están sujetas al régimen previsto en la presente Ley.

- **Áreas de producción**

Áreas destinadas a preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas y de los ecosistemas más frágiles, así como sus

funciones, para asegurar el equilibrio y la continuidad de los procesos evolutivos y ecológicos.

- **Áreas de restauración**

Áreas destinadas a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y continuidad de los procesos naturales.

- **Áreas de otros usos**

Aquellas superficies en donde los recursos naturales han sido aprovechados de manera tradicional y continua, sin ocasionar alteraciones significativas en el ecosistema. Están relacionadas particularmente con la satisfacción de las necesidades socioeconómicas y culturales de los habitantes del área protegida.

2.2.3. Aplicaciones en el contexto forestal (Rodalización)

Un rodal se concibe como una unidad espacial dentro del área forestal que agrupa árboles con una composición vegetal relativamente uniforme y características físicas homogéneas. Esta homogeneidad se define a partir de criterios geográficos y fisiográficos, tales como la morfología del relieve, el tipo de suelo, la pendiente y otros atributos permanentes del terreno. La delimitación precisa del rodal constituye un componente fundamental para la planificación y ejecución de actividades de manejo, conservación y monitoreo silvícola, ya que permite dar seguimiento sistemático y temporal a las acciones implementadas en el manejo forestal (González Murguía *et al.*, 2004).

La gestión de un rodal implica el proceso de identificación y delimitación que permita organizar y evaluar la aplicación de tratamientos silvícolas. De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-152-SEMARNAT-2023, la delimitación debe considerar elementos permanentes del terreno —incluyendo pendientes, cauces, rasgos edáficos y fisiográficos— que aseguren la permanencia de la unidad en el tiempo. Asimismo, el proceso debe incorporar el monitoreo de variables dasométricas a lo largo de diversos ciclos de corta, considerando la posibilidad de modificaciones en el uso del suelo y la dinámica propia de los ecosistemas forestales. Para ello, las técnicas de fotointerpretación constituyen una herramienta clave, ya

que permiten generar información interpretable tanto en campo como mediante plataformas digitales de análisis computacional (SEMARNAT, 2023).

La delimitación de rodales requiere considerar parámetros del terreno relativamente constantes, tales como altitud, exposición y pendiente, con el fin de establecer unidades homogéneas y funcionales desde el punto de vista del manejo forestal. No obstante, uno de los principales desafíos para la rodalización es la disponibilidad limitada de información digital consistente, ya que con frecuencia no se cuenta con cartografía generada en las mismas fechas, con niveles de detalle equivalentes o con resoluciones espaciales comparables; además, es común que existan imágenes satelitales afectadas por nubosidad o inconsistencias espectrales (CONAFOR, 2011).

Ante la necesidad de generar cartografía forestal homogénea y actualizada, las técnicas de percepción remota y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han consolidado como herramientas fundamentales para la planificación y gestión de los recursos forestales. Su integración permite analizar grandes extensiones de territorio con mayor rapidez y precisión, facilitando la delimitación de rodales, la identificación de cambios en la cobertura vegetal y el monitoreo continuo de los ecosistemas. Sin embargo, aunque estas tecnologías ofrecen múltiples beneficios, también presentan algunas limitaciones que deben considerarse durante su aplicación (Prodan, 1997).

Ventajas

- Permiten planificar y gestionar los recursos forestales de manera eficiente, optimizando su aprovechamiento y conservación.
- Facilitan la identificación y delimitación de áreas prioritarias para conservación, restauración, reforestación y aprovechamiento forestal.
- Proporcionan información espacial actualizada y confiable para la toma de decisiones en el manejo forestal sustentable.
- Posibilitan el monitoreo periódico de los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo mediante el análisis de imágenes satelitales.

- Reducen el tiempo y los costos asociados a los trabajos de campo, especialmente en zonas extensas o de difícil acceso.
- Permiten integrar información de diversas fuentes, como imágenes satelitales, cartografía digital, modelos de elevación y datos de inventarios forestales.
- Favorecen la elaboración de mapas temáticos con mayor precisión y detalle para apoyar procesos de ordenamiento territorial y manejo forestal.

Desventajas

- Los métodos basados en percepción remota requieren validación en campo para corroborar la precisión de los resultados obtenidos.
- La calidad de las imágenes satelitales puede verse afectada por la presencia de nubes, sombras, condiciones atmosféricas o errores de adquisición.
- Los índices de vegetación, como el NDVI, pueden presentar variaciones debido a factores como el tipo de suelo, la pendiente, la humedad y las características propias de la vegetación.
- La interpretación y procesamiento de la información requieren conocimientos técnicos especializados y el uso de software específico.
- La disponibilidad de imágenes con la misma resolución espacial, temporal y espectral puede ser limitada para algunos periodos de análisis.
- Los errores de georreferenciación o clasificación pueden influir en la delimitación de rodales y en la generación de cartografía temática.

En conjunto, las técnicas de percepción remota y los SIG representan herramientas de gran utilidad para el análisis y manejo de los recursos forestales, ya que permiten obtener información espacial precisa y actualizada. No obstante, sus resultados deben complementarse con verificaciones de campo y criterios técnicos que garanticen la adecuada interpretación y aplicación de la información generada (Prodan, 1997).

2.2.4. Metodologías para la zonificación forestal

2.2.4.1. Métodos tradicionales

Análisis del paisaje

La evaluación visual del paisaje se considera un indicador ambiental y cultural, aplicada principalmente en paisajes agrícolas y forestales naturales, como praderas y bosques. Este análisis proporciona información sobre la composición del terreno y los ecosistemas presentes, identificando patrones repetitivos que permiten valorar los recursos naturales de manera permanente (López Contreras *et al.*, 2022).

Este método se desarrolla mediante unidades de paisaje, que son divisiones específicas del terreno definidas con base en aspectos visuales. El procedimiento para establecer estas unidades incluye (Muñoz, 2004).

- 1) Determinar un componente central, el más visible del sitio.
- 2) Cartografiar el área en unidades homogéneas a partir del punto central.
- 3) Integrar los componentes previamente generados para formar la unidad completa.

2.2.5. Identificación de áreas de conservación, reforestación y aprovechamiento

La selección e identificación de áreas de conservación requiere resolver el problema de optimización, orientado a localizar zonas que resulten económicamente viables y que, al mismo tiempo, prioricen la protección de especies o hábitats específicos. Para establecer un esquema metodológico aplicable en estudios futuros, es necesario definir con precisión los criterios de selección de estas áreas, integrando enfoques cualitativos y cuantitativos que permitan el análisis sólido y confiable.

El procesamiento y evaluación de las áreas seleccionadas se lleva a cabo mediante criterios estadísticos previamente establecidos, tales como análisis de aptitud, modelos lineales generales, árboles de clasificación y regresión. Estas herramientas permiten valorar y

comparar las zonas en función de su importancia para la conservación y su factibilidad de manejo (Chávez, 2015).

2.2.5.1 Enfoques modernos

Entre estos avances destaca la misión Sentinel-2, cuyo primer satélite fue lanzado en 2015 por la *European Space Agency* (ESA). Esta misión ha generado un notable interés en la comunidad científica debido a sus múltiples ventajas, entre ellas su elevada resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica, así como el acceso gratuito a sus datos. Estas características han ampliado considerablemente las posibilidades de análisis y seguimiento ambiental, posicionando a Sentinel-2 como la herramienta fundamental para la gestión y estudio de los recursos naturales (Borrás *et al.*, 2017).

El monitoreo satelital ha permitido comprender con mayor precisión la dinámica de los ecosistemas silvestres, revelando aspectos clave sobre su diversidad y complejidad. Gracias a la observación remota, es posible dar seguimiento de manera continua a los cambios en la vegetación mediante algoritmos especializados que detectan y analizan variaciones ambientales. En los últimos años, la demanda de información detallada sobre los usos del suelo y la cobertura vegetal ha aumentado considerablemente. Los métodos tradicionales para obtener estos datos dependen de la intervención humana, principalmente a través de la fotointerpretación de imágenes o la comparación manual con otras fuentes cartográficas. Sin embargo, los avances recientes en la calidad y capacidad de los sensores remotos han mejorado de manera significativa la disponibilidad de imágenes satelitales de alta resolución. Como se muestra en la **figura 1**, se presenta una comparación de las distintas condiciones climáticas y de la vegetación a lo largo de los años.

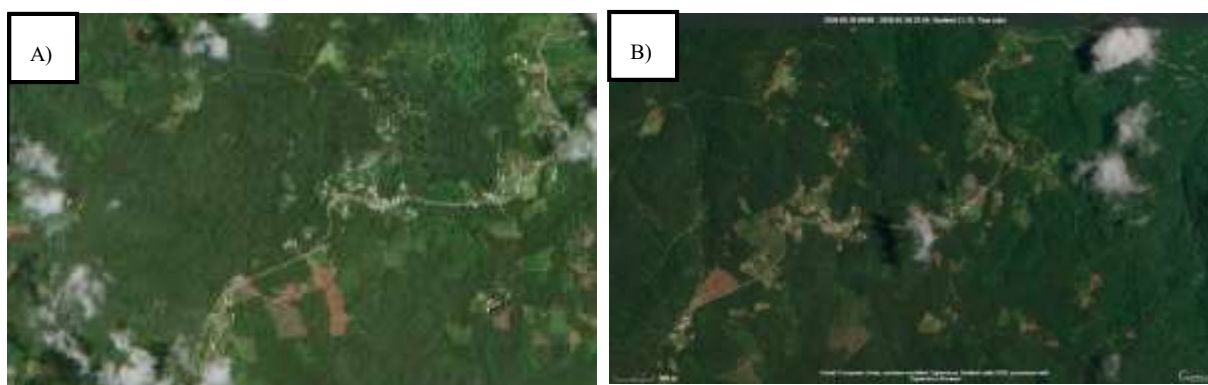


Figura 1 Imágenes satelitales del predio en de diferentes años, A) 2019 y B) 2024.

Sentinel es un satélite equipado con cámara multispectral de alta resolución. Cuenta con trece bandas espectrales, lo que permite obtener una nueva perspectiva sobre las superficies terrestres y la vegetación. Gracias a su sistema de larga trayectoria, puede generar imágenes de hasta 290 km de ancho, ofreciendo representaciones tanto geométricas como espectrales de los datos. La cámara cuenta con dos grandes planos focales, uno de bandas visibles (VIS), otro infrarrojo próximo (NIR) y por último el infrarrojo medio (SWIR); cada uno de ellos cuenta con 121 detectores con un total de 450,000 píxeles (González, 2017).

El objetivo principal de Sentinel es proporcionar información precisa para prácticas agrícolas y forestales. Sus imágenes permiten: Determinar diversos índices de vegetación, monitorear la salud de cultivos y bosques, detectar y alertar sobre contaminación en lagos y aguas costeras. Así, Sentinel se constituye como la herramienta fundamental para el análisis ambiental y la gestión de recursos naturales (González, 2017).

Tabla 1 Características del sensor SENTINEL 2A, 13 canales multispectrales.

CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR SENTINEL 2A		
BANDA	RESOLUCIÓN RADIOMÉTRICA (µM)	RESOLUCIÓN ESPACIAL (m)
Banda 2 (Azul)	490 nm	10
Banda 3 (Verde)	560 nm	10
Banda 4 (Rojo)	665 nm	10
Banda 8 (NIR)	842 nm	10
Banda 5 (NIR)	705 nm	20
Banda 6 (NIR)	740 nm	20
Banda 7 (NIR)	783 nm	20
Banda 8a (NIR)	865 nm	20
Banda 11 (SWIR)	1610 nm	20
Banda 12 (SWIR)	2190 nm	20
Banda 1 (Aerosol)	443 nm	60
Banda 9 (Vapor agua)	940 nm	60
Banda 10 (SWIR)	1375 nm	60

La alta resolución de la cámara de Sentinel es de las más avanzadas de su clase, siendo la primera cámara de observación óptica de la Tierra en incorporar sus tres bandas en “borde rojo”, lo que permite obtener información esencial sobre el estado de la vegetación, como se muestra en la **tabla 1**, que representa las trece bandas espectrales que utiliza la cámara,

especificando su resolución radiométrica y espacial, así como las características espectrales de cada una (González, 2017).

Las bandas más utilizadas para el monitoreo de la vegetación son las bandas 12 (11), 8A y 4, ya que permiten identificar variaciones en el contenido de humedad en la región del infrarrojo de onda corta, tanto en hojas como en el suelo. Una vegetación vigorosa o con adecuada disponibilidad de agua presenta valores elevados del NDVI, mientras que las áreas secas, degradadas o con escasa cobertura suelen mostrar valores bajos y tonalidades verde opaco en las composiciones multiespectrales (González, 2017).

2.2.6 Comparación entre métodos

2.2.6.1 Criterios aplicados en la zonificación forestal

Relieve

Las condiciones del relieve, como lomeríos, cerros y montañas, así como las pendientes de media y alta inclinación, permiten determinar la predisposición del terreno a eventos que favorecen la degradación y pérdida del suelo. Este conocimiento facilita la identificación del flujo y dirección de las corrientes subterráneas, la geología superficial, tipos de rocas, fallas y zonas de fracturación, así como la sismicidad y la susceptibilidad a deslizamientos y derrumbes (SEMARNAT, 2017).

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es indispensable para la conservación de los ecosistemas, contribuyendo a la regulación del clima, el ciclo hidrológico, la protección del suelo y el mantenimiento de la biodiversidad. Posee la capacidad de renovarse, reorganizarse y desarrollarse, manteniendo un funcionamiento adecuado frente a cambios o perturbaciones, y asegurando el hábitat disponible para plantas, animales y otros organismos (Peláez, 2015).

Los estratos herbáceos del ecosistema, aunque indispensables, son los más susceptibles a las intervenciones silvícolas, representando entre el 80 y 90% de la cobertura vegetal. Juegan un papel crucial en los aportes de nutrientes, retienen elementos esenciales, protegen el suelo y previenen la erosión (Peláez, 2015).

2.7 Tecnologías de percepción remota aplicadas al análisis territorial

El uso de tecnologías de percepción remota ha permitido incrementar la precisión en la investigación de la cobertura vegetal, obteniendo información anual de forma remota mediante satélites. Estas imágenes pueden ajustarse en contraste, color y corregirse geométrica, radiométrica y atmosféricamente, mejorando la calidad visual y la interpretación de datos (Veneros *et al.*, 2020).

La percepción remota permite obtener información de objetos a distancia mediante instrumentos o sensores que miden radiaciones electromagnéticas emitidas o reflejadas por la superficie terrestre, calibrados para registrar altura y temperatura de la vegetación (Veneros *et al.*, 2020).

2.7.1 Fundamentos para el uso de la percepción remota

La percepción remota es una técnica que permite obtener información de la superficie terrestre sin necesidad de establecer contacto directo con los objetos o áreas de estudio. Esta tecnología emplea sensores instalados en satélites, aeronaves o drones, capaces de captar la energía reflejada o emitida por los diferentes elementos presentes en la superficie terrestre a través de distintas bandas del espectro electromagnético. Gracias a ello, es posible analizar y monitorear fenómenos ambientales a gran escala, tales como cambios en la cobertura vegetal, variaciones climáticas, retroceso de glaciares, procesos de erosión, deforestación, dinámica de cuerpos de agua y otros procesos naturales o antrópicos. Asimismo, la percepción remota facilita la identificación de características cualitativas y cuantitativas de los objetos observados, constituyéndose en la herramienta fundamental para estudios ambientales, forestales y territoriales (Catuna, 1995).

El proceso de percepción remota comprende las siguientes etapas:

- **Fuente de energía:** proporciona la radiación electromagnética necesaria para iluminar el objetivo de estudio.
- **Interacción con la atmósfera:** la energía emitida o reflejada atraviesa la atmósfera, donde puede sufrir procesos de absorción, dispersión o reflexión.

- **Medición por el sensor:** los sensores registran la energía reflejada o emitida por los objetos presentes en la superficie terrestre.
- **Recepción, transmisión y procesamiento:** la información captada es enviada a estaciones receptoras, donde se procesa para generar imágenes o productos digitales.
- **Interpretación y análisis:** los datos obtenidos son analizados mediante técnicas visuales o digitales para extraer información relevante.
- **Aplicación:** los resultados se emplean en diversas áreas, como estudios ambientales, manejo forestal, ordenamiento territorial, agricultura, monitoreo de recursos naturales y evaluación de cambios en la cobertura del suelo (Borrás *et al.*, 2017).

2.8 Tipos de sensores y su resolución espacial

Los sensores son dispositivos que captan imágenes a distancia, instalados en plataformas como satélites o aeronaves:

- **Sensores ópticos:** Capturan imágenes usando luz visible y longitudes de onda cercanas (infrarrojo y ultravioleta), similares a cámaras digitales.
- **Sensores radar (SAR):** De apertura sintética, emiten microondas y miden señales reflejadas, operando en cualquier condición climática o de luz.
- **Sensores hiperespectrales:** Capturan un amplio espectro de ondas, proporcionando firmas espectrales detalladas de los objetos.

2.9 Tipos de resolución

La resolución es la característica fundamental de los sistemas de percepción remota, ya que determina la capacidad del sensor para captar y diferenciar la información de la superficie terrestre. En el ámbito de las imágenes satelitales, la resolución define el nivel de detalle con el que pueden observarse y analizarse los objetos o fenómenos presentes en una determinada cobertura. Dependiendo de sus características, la resolución puede clasificarse en espacial, temporal y espectral, cada una de las cuales influye directamente en la calidad y utilidad de la información obtenida (Tristán, 2008).

Resolución espacial: Tamaño de área cubierta por cada píxel en la imagen.

Alta (<1 m): Detalles finos, usada en urbanismo y seguridad.

Media (1–10 m): Monitoreo agrícola y ambiental.

Baja (>10 m): Monitoreo climático y vegetación a gran escala.

Resolución temporal: Frecuencia con la que el satélite revisa la misma área.

Alta: Varias veces al día, útil para desastres.

Moderada: Diario o semanal, estudios agrícolas y ambientales.

Baja: Mensual o anual, estudios climáticos de largo plazo.

Resolución espectral: Capacidad del sensor de distinguir longitudes de onda.

Multiespectral: Pocas bandas anchas, adecuado para monitoreo terrestre.

Hiperespectral: Cientos de bandas estrechas, detallando la vegetación y otros elementos del terreno (Borrás *et al.*, 2017).

2.9.1 Ventajas del uso de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales presentan amplia diversidad de aplicaciones en el sector forestal, principalmente en: cartografía, para el reconocimiento de rodales, identificación de diferentes tipos de bosque, monitoreo de etapas de crecimiento, estudios de regeneración, evaluación de incendios forestales y análisis del cambio en la vegetación (Garza, 2015).

Entre las ventajas principales se incluyen:

- Determinar la cobertura total de un área en un breve plazo.
- Reducción del área de muestreo, optimizando tiempo y recursos.
- Visualización clara de cambios o situaciones en el terreno.
- Acceso a información de áreas inaccesibles o de difícil acceso.
- Generación de datos cartográficos precisos.
- Incremento en la capacidad de elaboración de mapas, supervisión y producción de informes.
- Disponibilidad de datos de fuentes confiables.
- Monitoreo independiente de condiciones meteorológicas adversas.

Estas ventajas facilitan la incorporación y aprovechamiento de la información obtenida, mejorando significativamente los procesos de análisis para la toma de decisiones en la gestión forestal (Koch, 2013).

2.10 Índice de vegetación

El índice de vegetación se define como un parámetro calculado a partir de los valores de reflectancia obtenidos en diferentes longitudes de onda, los cuales permiten extraer información relacionada con la vegetación, reduciendo al mínimo las perturbaciones ocasionadas por el suelo y las condiciones climáticas y atmosféricas. Estos índices facilitan la comprensión del comportamiento espectral diferenciado entre la vegetación verde y el suelo. En particular, la vegetación presenta alta absorción en la región de la clorofila y un máximo de reflectancia en el infrarrojo cercano, debido a la dispersión de la radiación dentro de la estructura celular de las plantas (González-Piqueras *et al.*, 1997).

El NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) es uno de los índices de vegetación más utilizados en imágenes de percepción remota. Este índice establece la relación entre la cantidad de luz reflejada por la superficie terrestre en el espectro electromagnético, específicamente en las bandas roja y del infrarrojo cercano (Alonso, 2012).

El NDVI tiene aplicaciones múltiples a lo largo del tiempo, permitiendo realizar series temporales que facilitan el monitoreo de la vegetación, la detección de cambios en la cobertura y uso de suelo, la caracterización de la vegetación y el seguimiento de fenómenos ambientales (Alonso, 2012).

El índice se calcula utilizando las bandas espectrales de la imagen Sentinel 2 específicamente:

Infrarrojo cercano (NIR): 0.7 a 1.1 μm

Rojo visible (RED): 0.6 a 0.7 μm

La ecuación para calcular el NDVI es:

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

Donde:

NDVI= Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR= Infrarrojo cercano

RED= Rojo visible

Las imágenes de percepción remota se calculan a partir de operaciones algebraicas entre diferentes bandas espectrales, generando como resultado una nueva imagen que resalta gráficamente los píxeles relacionados con parámetros de la cobertura vegetal, como; densidad de vegetación, índice de área foliar, actividad clorofílica (Alonso, 2012).

Como lo muestra en la **figura 2** una representación gráfica de los rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), relacionando los valores obtenidos con el estado de salud y densidad de la vegetación. A través de una escala gradual de colores y diferentes condiciones de cobertura vegetal, se ilustran categorías que van desde áreas sin vegetación o con vegetación muerta hasta zonas con vegetación densa y saludable,

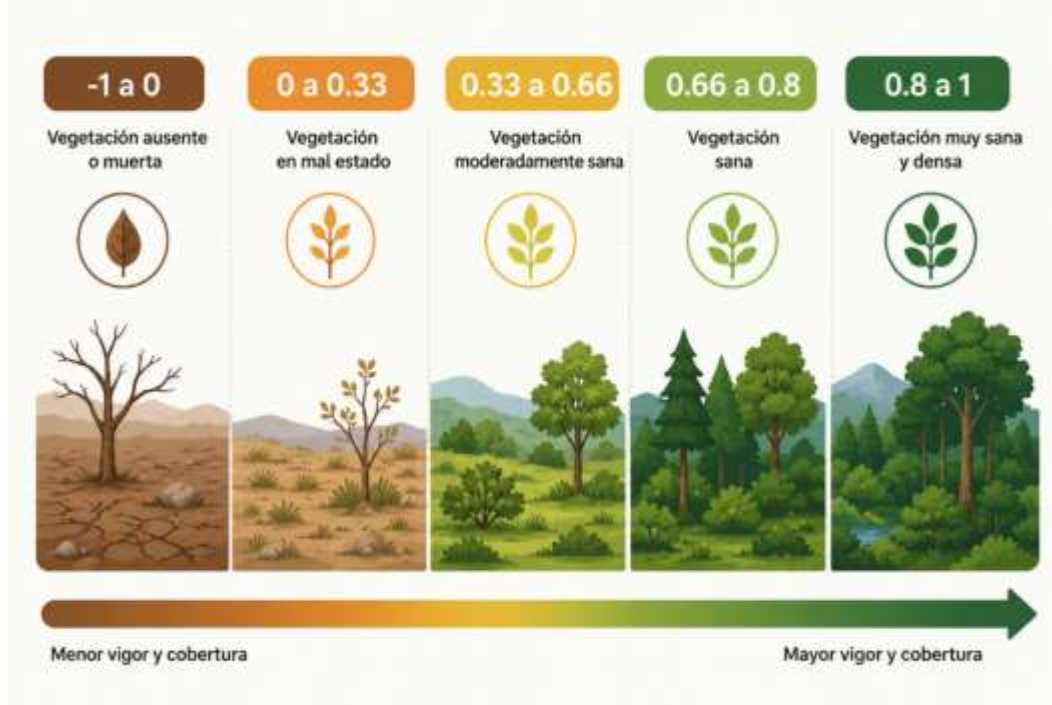


Figura 2 Representación gráfica de los rangos del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Imagen generada mediante IA.

permitiendo interpretar el vigor vegetal presente en el área analizada.

La clorofila es el principal pigmento involucrado en la fotosíntesis de las plantas, absorbiendo la luz de ciertas bandas reflejadas. Las zonas sin vegetación presentan valores de reflectancia

más bajos debido a la ausencia de clorofila. La interpretación de los valores NDVI puede ser un desafío sin la comprensión básica de su escala, que va de -1 a 1:

- **NDVI < 0:** Representa agua u otros elementos no vegetales.
- **NDVI 0 – 0.3:** Zonas estériles con poca o ninguna cobertura vegetal.
- **NDVI 0.3 – 0.6:** Zonas con cobertura vegetal escasa.
- **NDVI 0.6 – 0.9:** Zonas con cobertura vegetal densa y saludable.
- **NDVI > 0.9:** Zonas con cobertura vegetal muy densa, como selvas tropicales.

Estos valores también se clasifican en categorías de cobertura baja, moderada y alta, basadas en umbrales predefinidos. La interpretación del NDVI es más compleja debido a factores como tipo de suelo, clima y especies de plantas, por lo que se recomienda apoyarse en otras fuentes de datos. Finalmente, los valores NDVI se representan generalmente mediante escalas de color, donde el rojo indica valores bajos y el verde valores altos, generando imágenes que permiten visualizar la densidad y distribución de la cubierta vegetal (Zenteno Cruz *et al.*, 2017).

El NDVI se usa para medir la vegetación forestal en áreas determinadas, permitiendo monitorear los cambios estacionales y antinaturales, el crecimiento de vegetación, cambio de uso de suelo, erosión del suelo, identificar áreas que cuenten con deforestación, reforestación, pérdida de hábitat por ejemplo estrés hídrico o plagas. Esto se transforma mediante la combinación matemática, de diferentes niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de una misma imagen (López-Contreras *et al.*, 2022).

2.11 Casos similares en predios o regiones comparables

2.11.1 Zonificación ecológica del cerro "El Potosí", Galeana, Nuevo León, México

Como parte de la propuesta para definir el cerro “El Potosí” como Reserva de la Biosfera, se elaboró un mapa de zonificación que contempló las zonas núcleo, de amortiguamiento y de recuperación de hábitat. La delimitación de estas áreas se realizó considerando la distribución de la vegetación y de las poblaciones de fauna presentes en la región. Para la obtención de esta información fue necesario realizar trabajo de campo, apoyado en el mapa de la **figura 3** de vegetación generado mediante el procesamiento digital e interpretación visual de imágenes satelitales. Asimismo, se emplearon imágenes LANDSAT TM para elaborar la cartografía de vegetación, identificando las superficies ocupadas por cada categoría temática, incluyendo comunidades vegetales y tipos de suelo, con base en un esquema de clasificación previamente establecido (García *et al.*, 1999).

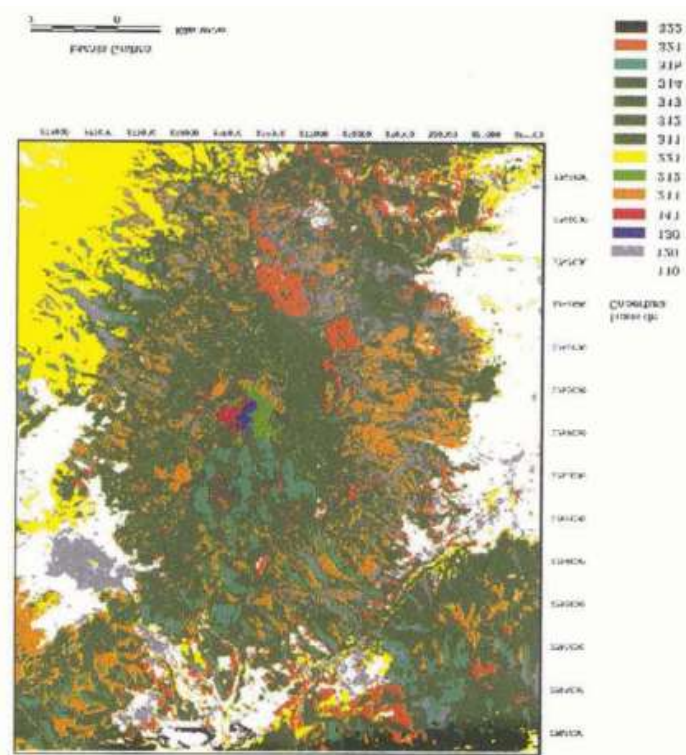


Figura 3 Mapa de vegetación del cerro El Potosí mediante imágenes satelitales (García et al., 1999).

III. MATERIALES Y METODOS

El estudio se desarrolló en un predio perteneciente a la fracción 1 del Predio Rústico Muridores, ubicado en el municipio de San Bartolo Tutotepec, en el estado de Hidalgo. El área de estudio se localiza entre las coordenadas 20°28'54" de Latitud Norte y 98°18'52" de Longitud Oeste, con superficie total de 8.879138 hectáreas. El clima predominante corresponde al tipo *C(m)*, clasificado como templado húmedo, con temperatura media anual que varía entre 12 °C y 18 °C. La temperatura del mes más frío oscila entre -3 °C. mientras que la temperatura del mes más cálido es inferior a 22 °C. Asimismo, presenta precipitaciones en el mes más seco menores a 40 mm, lluvias concentradas en verano y un porcentaje de precipitación invernal que representa entre el 5 % y el 10.2 % del total anual. Desde el punto de vista hidrológico, el predio pertenece a la cuenca RH-27 Río Tuxpan, dentro de la región hidrológica Tuxpan–Nautla, específicamente en la subcuenca del río Pantepec.

La **figura 4** muestra la localización geográfica del área de estudio a diferentes escalas espaciales. En primer lugar, se presenta la ubicación del estado de Hidalgo dentro de la República Mexicana; posteriormente, se identifica el municipio de San Bartolo Tutotepec dentro del estado. Finalmente, se delimita el predio de estudio mediante un polígono resaltado en color rojo, permitiendo visualizar con mayor precisión su ubicación dentro del municipio. Esta representación cartográfica facilita la contextualización espacial del área analizada y constituye una referencia fundamental para el desarrollo de los trabajos de zonificación y rodalización forestal realizados en la presente investigación.

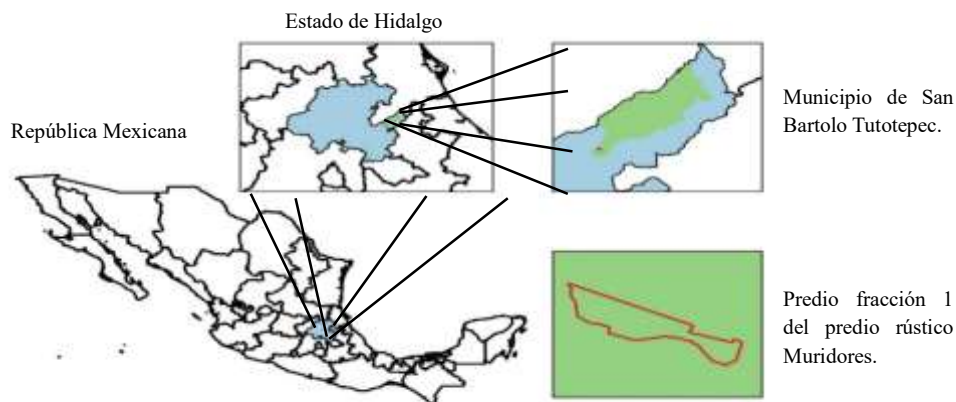


Figura 4 Ubicación geográfica del predio Fracción 1 del Predio Rústico Muridores, Mun. de San Bartolo Tutotepec. Autoría propia

IV. METODOLOGÍA

4.1 Obtención de información (imágenes de satélite)

Los datos satelitales utilizados en la presente investigación fueron obtenidos a partir de la plataforma Sentinel-2, perteneciente al programa Copernicus de la Agencia Espacial Europea (ESA). Para acceder a dicha plataforma (<https://sentinels.copernicus.eu/copernicus/sentinel>), fue necesario realizar un registro de usuario, requisito indispensable para la descarga y gestión de la información satelital. Sentinel-2 debido a su alta resolución espacial y temporal, resultaron adecuadas para el análisis del área de estudio y para el desarrollo de las actividades planteadas en la investigación.

En esta etapa se presentó un formulario de registro, como se muestra en la **figura 5** donde se solicitaron datos como nombre, apellido, correo electrónico y contraseña. Un proceso que facilitó el acceso a la plataforma, siendo un paso necesario para la obtención de imágenes satelitales para el desarrollo de esta investigación.

The image shows a web interface for creating a personal account. At the top, there is a blue header with the 'CDSE' logo on the left and 'Log out' and 'Sign in' buttons on the right. Below the header, the main heading is 'Create a personal account' in white text on a blue background. A subtext in smaller white font reads: 'Complete the form below to create a new account. After submission you will receive a verification mail to confirm your subscription and login to your personal account.' Below this, there is a white box with a blue border titled 'Register form'. Inside this box, there are four input fields with blue labels: 'First name', 'Last name', 'Email', and 'Password'. Each field has a small asterisk indicating it is a required field. The background of the page is white.

Figura 5 Por de registro en la página de ESA.

A la izquierda se ubica el panel de configuración, se seleccionaron la fecha de adquisición de las imágenes y la colección de datos correspondiente a Sentinel-2. Asimismo, se visualizó un mapa interactivo que permitió localizar y delimitar el área de estudio mediante herramientas de búsqueda, desplazamiento y acercamiento, como se observa en la **Figura 6**. Estas

herramientas facilitaron la identificación precisa de la zona de interés para la descarga y análisis de la información satelital.

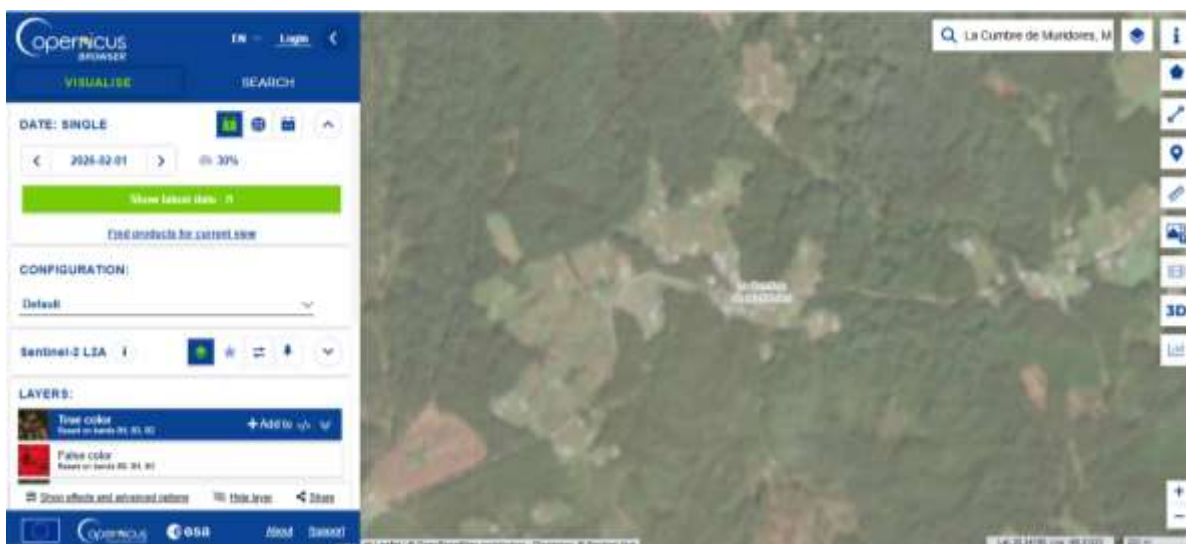


Figura 6 Visualización de combinación de bandas

Asimismo, se apreció la selección de la combinación de bandas en color verdadero (True Color), lo que permitió visualizar la superficie terrestre con apariencia similar a la percepción natural, donde se distinguieron las coberturas forestales y claros en el terreno.

En siguiente imagen se observó la activación de la fuente de datos Sentinel-2, específicamente el producto L2A (MSI), el cual correspondió a imágenes con corrección atmosférica. Donde se incluyeron opciones de filtrado para refinar la consulta, así como el ajuste del porcentaje de cobertura de nubes. En esta sección se observó un calendario que permitieron seleccionar la fecha específica de las imágenes satelitales, como lo muestra la **figura 7** incluyendo día, mes y año.



Figura 7 Calendario para la selección de una fecha específica

Esta herramienta facilitó la comparación temporal de las imágenes, lo que permitió analizar los cambios que ocurrieron en la cobertura forestal a lo largo del tiempo y se pudo observar la evolución del bosque en distintos periodos.

Una vez definida la fecha de interés en el calendario, se seleccionó la opción “Search”, con la cual la plataforma realizó la búsqueda de imágenes satelitales disponibles para el periodo indicado, permitiendo su posterior visualización y análisis.

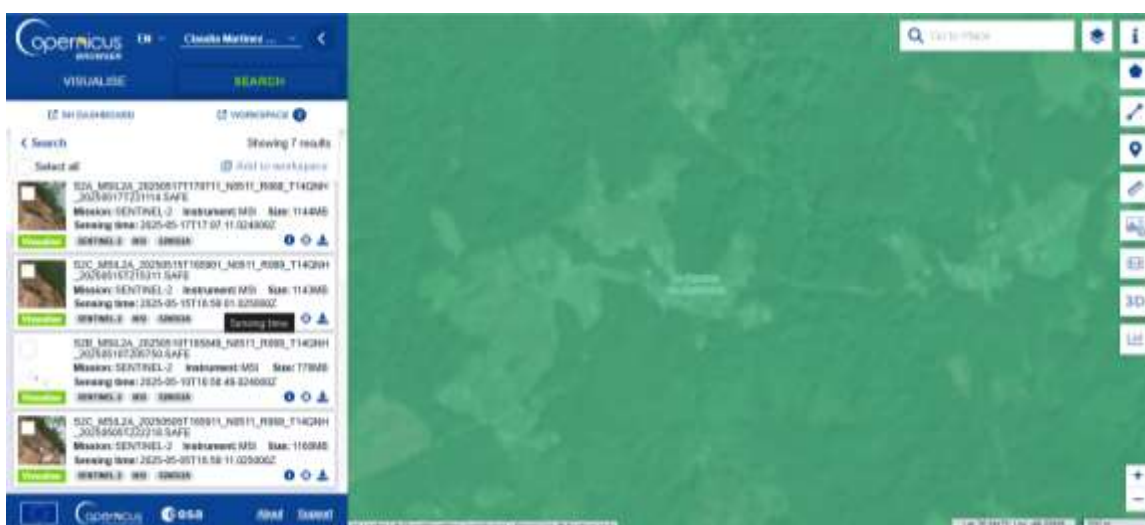


Figura 8 Opciones disponibles de la búsqueda, donde se seleccionó la fecha.

Una vez que se establecieron las fechas de interés, se procedió a buscar y a seleccionar las imágenes satelitales más adecuadas para la presente investigación, como se observa en la **figura 8**. Para ello, se revisaron las opciones disponibles y se eligieron aquellas que presentaban las mejores condiciones de visualización, como menor presencia de nubes y mayor claridad en la cobertura del área de estudio.

Al seleccionar las imágenes satelitales, la plataforma desplegó la ventana con la información de la imagen deseada. En esta sección presentaron atributos relevantes como el nombre del archivo, tamaño, fecha y hora de adquisición, como se muestra en la **figura 9**. Además, se muestra la vista previa de la imagen y la cobertura espacial del área captada, lo que permitió verificar que la información correspondía al área de estudio antes de su descarga.

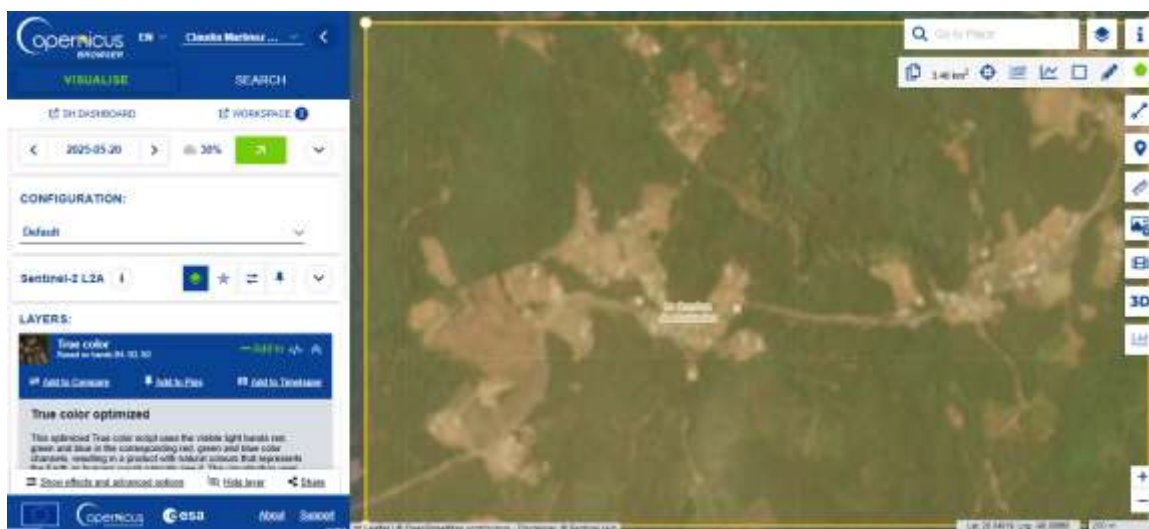


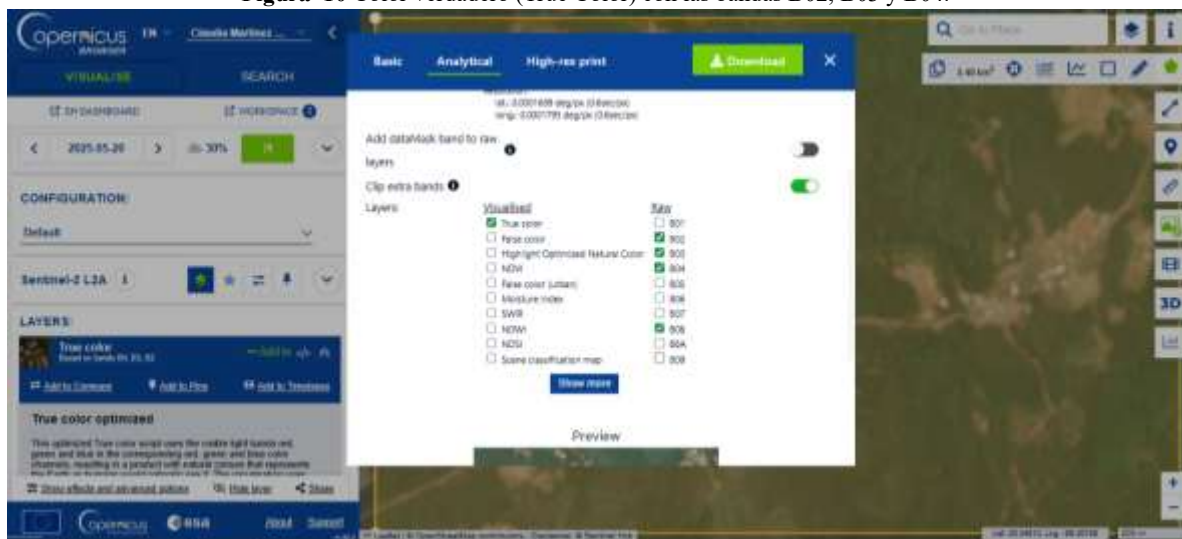
Figura 9 Vista previa del predio de la imagen satelital

Para obtener la imagen satelital con la mejor calidad disponible, se utilizó la herramienta de selección mediante rectángulo, ubicada en la parte superior derecha de la plataforma. Con esta herramienta se delimitó el área de interés correspondiente al predio de estudio, definiendo así la extensión geográfica que sería incluida en la descarga.

Una vez delimitada el área de interés, se procedió a descargar la imagen satelital mediante el icono de descarga, representado por una la fotografía acompañada de una flecha, ubicado en la parte derecha de la interfaz. La plataforma mostró los diferentes formatos disponibles para la exportación de la información, entre los que se encontraron JPG, PNG, KMZ/KML y TIF.

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el formato TIF (GeoTIFF), debido a que conserva la calidad original de la imagen, mantiene la información geoespacial asociada y es compatible con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando su procesamiento y análisis posterior.

Figura 10 Color verdadero (True Color) con las bandas B02, B03 y B04.



Para la visualización de la imagen satelital, se utilizó la opción de color verdadero (True Color), la cual empleaba las bandas B02, B03 y B04, **figura 10**. Además, donde se consideró la banda B08, correspondiente al infrarrojo cercano, lo cual permitió resaltar la cobertura vegetal y mejorar el análisis de la vegetación.

4.2 Procedimiento metodológico para la rodalización mediante NDVI en QGIS

Para el desarrollo de la rodalización del predio mediante imágenes satelitales y el índice de vegetación NDVI, se implementó el procedimiento metodológico utilizando el software QGIS:

1. Se incorporó al proyecto el archivo vectorial del predio de estudio en formato shapefile (SHP), mediante la opción “Capa” → “Añadir capa” → “Añadir capa vectorial”.

2. Posteriormente, se modificó la simbología de la capa del predio con el propósito de visualizar únicamente el perímetro del polígono, eliminando el relleno y conservando solo el contorno para facilitar la interpretación espacial.
3. Se añadieron las imágenes satelitales correspondientes a las bandas B02, B03, B04 y B08 del satélite Sentinel-2 mediante la opción **“Añadir capa ráster”**, incorporándolas al proyecto para su procesamiento.
4. Una vez cargadas las bandas espectrales, se procedió a construir un ráster virtual mediante la herramienta **“Ráster” → “Miscelánea” → “Construir ráster virtual”**, con la finalidad de integrar las diferentes bandas en un solo archivo para facilitar su visualización y análisis.
5. Durante la configuración del ráster virtual, únicamente se ajustó el sistema de coordenadas correspondiente al área de estudio, manteniendo sin modificaciones los demás parámetros del proceso.
6. Posteriormente, se seleccionaron las bandas B02, B03 y B04 para generar la visualización en color verdadero, permitiendo identificar de manera precisa las características de la cobertura vegetal.
7. Una vez generado el ráster, se modificaron las propiedades de visualización de la capa a **“Pseudocolor monobanda”**, con el propósito de resaltar las variaciones espectrales de la vegetación.

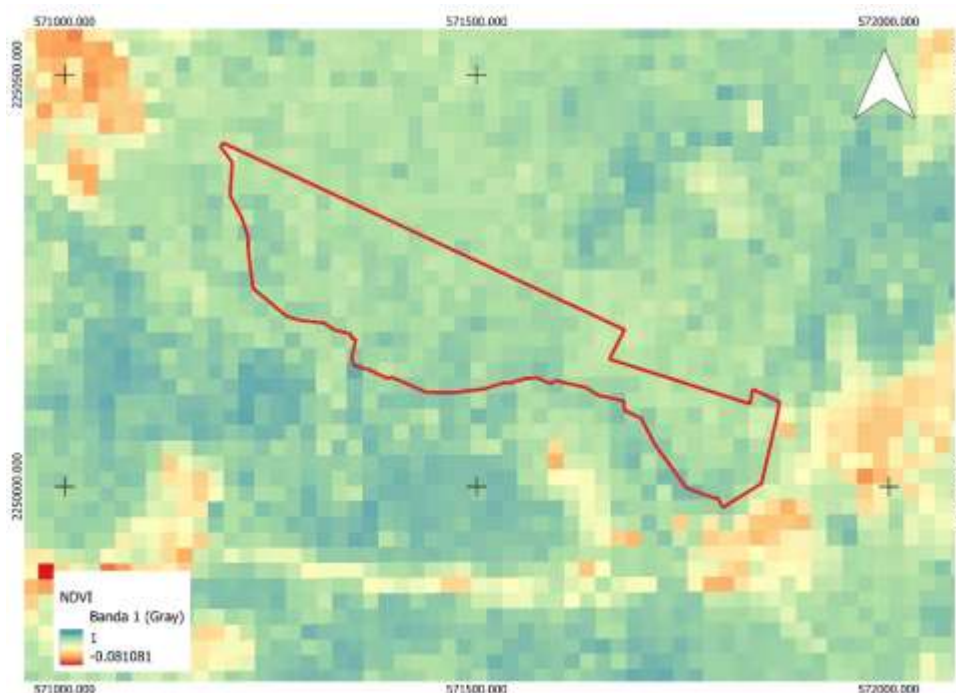


Figura 11 Resultado obtenido mediante el cálculo del NDVI

8. Para la obtención del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se utilizó la herramienta **“Calculadora Raster”**, donde se introdujo la fórmula correspondiente empleando las bandas del infrarrojo cercano y rojo visible.
9. Generado el NDVI, como se muestra en la **figura 11**, una vez terminado se da inició el proceso de rodalización mediante la edición del polígono del predio, activando la opción **“Iniciar edición”** sobre la capa correspondiente.

A través de la herramienta **“Dividir objetos”**, se delimitaron los diferentes rodales considerando las variaciones observadas en la cobertura vegetal dentro de la imagen NDVI.

10. Una vez finalizada la delimitación de los rodales, se guardaron los cambios realizados y se concluyó el proceso de edición de la capa.
11. Posteriormente, se utilizó el complemento **QuickMapServices** para visualizar el área de estudio mediante imágenes de **Google Satélite**, lo que permitió corroborar la precisión de la rodalización realizada.

12. Finalmente, se modificó la simbología de cada rodal para diferenciarlos mediante colores o numeración, facilitando su identificación dentro del proyecto, como lo muestra la **figura 12**.

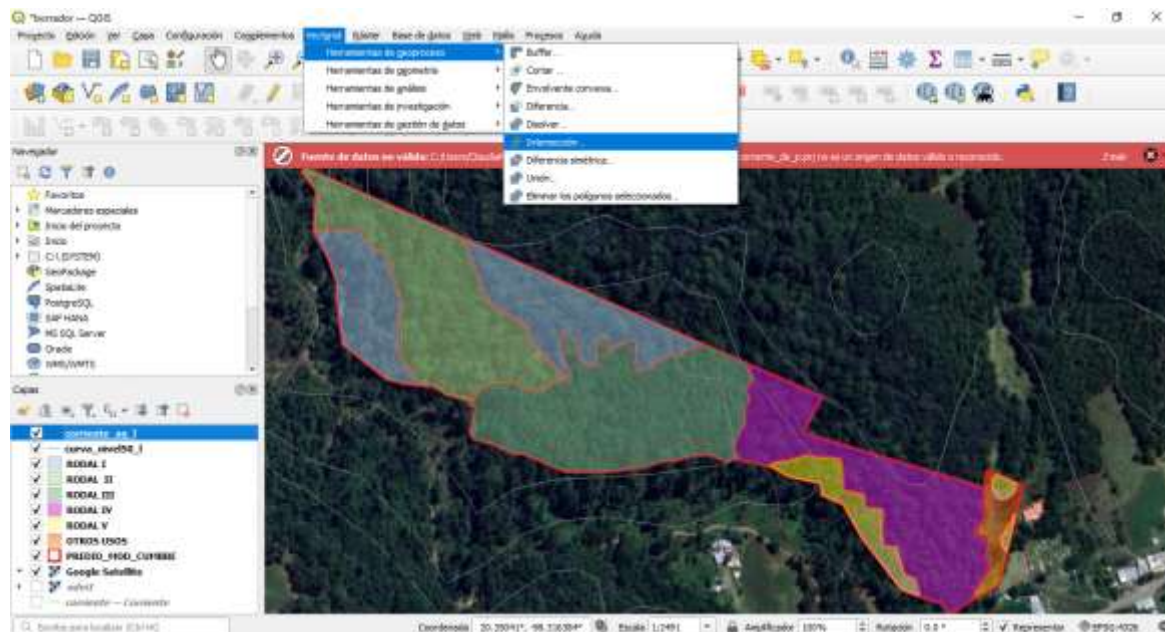


Figura 12 Resultados de la rodalización con la herramienta de NDVI del Predio Rústico.

13. Como complemento del análisis, se incorporó la carta topográfica F14D73 escala 1:50 000 serie III (2023), utilizando las curvas de nivel y las corrientes de agua para interpretar las características fisiográficas e hidrológicas presentes en el área de estudio.

De esta manera, se obtuvo la rodalización final del predio mediante el uso de imágenes satelitales y el índice NDVI, permitiendo delimitar unidades homogéneas de vegetación con base en sus características espectrales y espaciales.

4.3. Definición y delimitación de rodales

Los rodales constituyen unidades homogéneas de manejo cuya delimitación se realiza considerando sus características biofísicas y su potencial productivo dentro de los predios. Estas condiciones permiten estimar la edad de madurez de la masa forestal y optimizar la planificación de las actividades silvícolas dentro del turno de aprovechamiento establecido (Molina, 2006). Además, el análisis de los rodales proporciona información relevante sobre

la densidad arbórea existente y contribuye a la evaluación de la importancia ecológica y funcional de los ecosistemas forestales en una determinada región (Valenzuela, 2011).

Para realizar la rodalización del predio es indispensable conocer previamente sus condiciones actuales, así como los antecedentes de aprovechamiento forestal existentes o las actividades de manejo que se pretenden implementar en el futuro. El primer paso consiste en identificar y delimitar los elementos geográficos y fisiográficos que influyen en la capacidad productiva de cada sitio, tomando como referencia la distribución y características de la vegetación presente (González Murguía *et al.*, 2004).

A partir de esta información y mediante la clasificación de imágenes satelitales, es posible delimitar y modelar los rodales y subrodales, como lo muestra la **figura 13**, dentro del área de estudio. Este proceso implica la definición de unidades homogéneas de vegetación y la incorporación de elementos del paisaje, tales como caminos, brechas y cauces, los cuales sirven como referencias para la delimitación y cartografía de las diferentes unidades de manejo forestal (González Murguía *et al.*, 2004).



Figura 13 Polígono sobre imagen satelital del predio

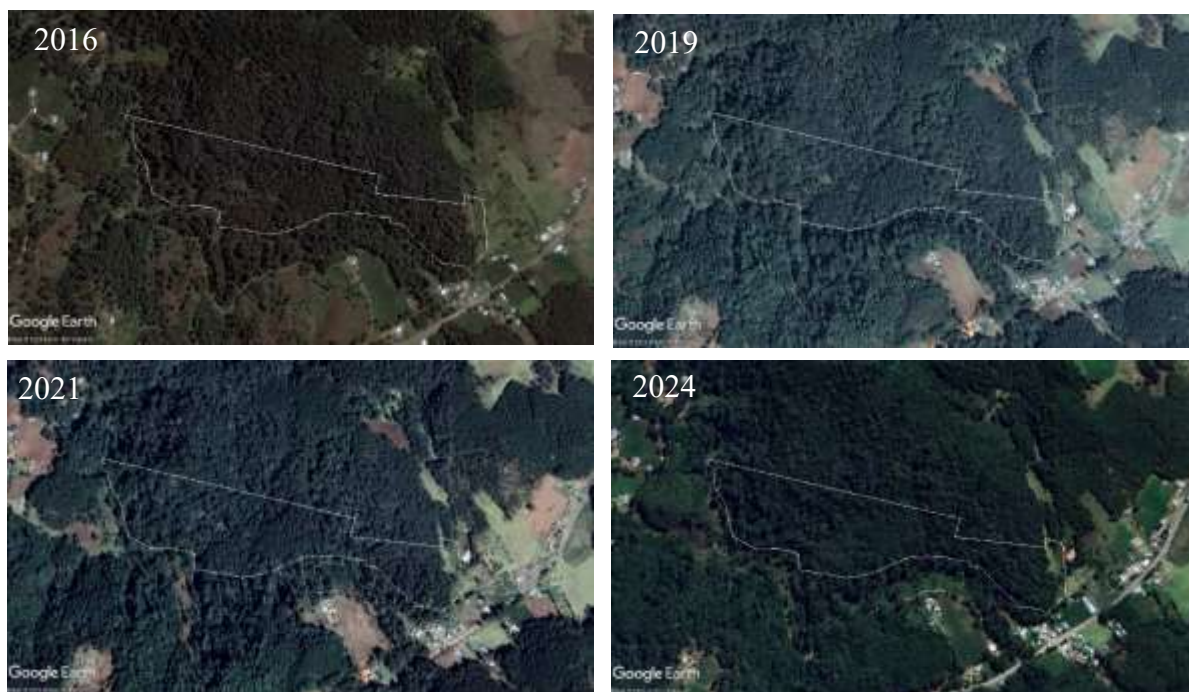


Figura 14 imágenes del predio en diferente temporal (Google Earth 2025)

Como apoyo para el análisis temporal del área de estudio, se recomienda el uso de Google Earth (Google, 2025), herramienta que proporciona acceso a imágenes satelitales históricas de distintas fechas. Esta funcionalidad permite evaluar la dinámica de la cobertura vegetal y los cambios en el uso del suelo a través del tiempo, aportando información relevante para la delimitación de rodales y la interpretación de las condiciones previas del predio. Como se observa en la **figura 14**.



Figura 15 Comparación entre imágenes satelitales de épocas diferentes (2016 izquierda y 2024 derecha).

Cada una de las imágenes aporta elementos fundamentales para la delimitación de los rodales, ya que permite observar de manera detallada las características de la cobertura vegetal y los cambios ocurridos a través del tiempo. Como se muestra en la **figura 15**, es posible identificar diferencias relacionadas con la regeneración natural de la vegetación. La imagen ubicada a la derecha corresponde al año 2024, donde la flecha verde señala un área con evidencia del establecimiento de vegetación, indicando el proceso de regeneración natural. En contraste, la imagen de la izquierda, correspondiente al año 2016, muestra un claro en la misma zona, lo que permitió apreciar la evolución de la cobertura vegetal durante el periodo analizado. Estos cambios reflejan la dinámica natural del ecosistema y proporcionan información valiosa para la delimitación y caracterización de los rodales.

V. RESULTADOS

La delimitación de los rodales permitió identificar y analizar los cambios ocurridos en la cobertura vegetal, como se muestra en la **figura 16**, a través del tiempo, facilitando la comparación entre diferentes épocas. Estas diferencias fueron claramente visibles en las imágenes satelitales, lo cual contribuyeron a evaluar la dinámica de la vegetación y los procesos de regeneración presentes en el área de estudio.

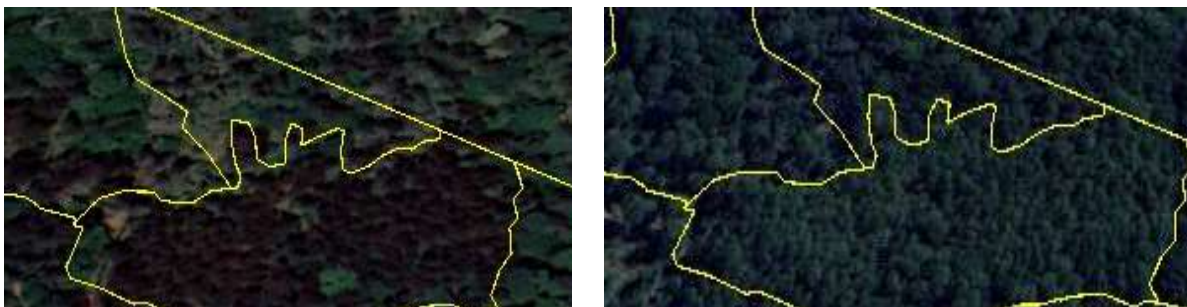


Figura 16 comparación de la limitación entre rodales en diferentes épocas.

El uso del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como herramienta para la rodalización proporcionó resultados satisfactorios en la delimitación de unidades homogéneas de vegetación. Este índice se obtuvo a partir del análisis de bandas espectrales de imágenes satelitales, lo que permitió mejorar los procesos de gestión y evaluación de los recursos forestales. Asimismo, facilitaron la identificación de cambios temporales dentro del predio mediante operaciones matemáticas realizadas entre dos o más bandas espectrales, cuyos resultados se reflejaron de manera clara en las variaciones de la cobertura vegetal. De esta forma, el NDVI constituyó la herramienta eficaz para el monitoreo, análisis y seguimiento de la dinámica de la vegetación a lo largo del tiempo (Flores *et al.*, 2020).

En la presente investigación se utilizaron imágenes satelitales de la misión Sentinel-2, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA) (Agencia Espacial Europea, 2025). Esta plataforma proporcionó información de libre acceso y cuenta con resolución espacial de 10 metros para las bandas del espectro visible (azul, verde y rojo) y del infrarrojo cercano (NIR), lo que permitió obtener un nivel de detalle adecuado para el análisis de la cobertura vegetal. Asimismo, posee resolución temporal de 10 días por satélite (Sentinel-2A o Sentinel-2B) y de aproximadamente 5 días cuando ambos satélites operan de manera conjunta, facilitando

el monitoreo continuo de los cambios en la vegetación y el seguimiento de los procesos de regeneración forestal.

El principal beneficio del uso de índices de vegetación radica en el aprovechamiento de las propiedades espectrales características de la vegetación, particularmente su elevada reflectancia en la región del infrarrojo cercano y su baja reflectancia en la banda del rojo visible, fenómeno asociado a la absorción de energía por la clorofila presente en los tejidos vegetales. Estas diferencias espectrales permitieron evaluar de manera eficiente el estado, vigor y distribución de la cobertura vegetal. En este contexto, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se consolidó como la herramienta eficaz para el análisis y monitoreo de las condiciones de la vegetación y de la cobertura terrestre, ya que se obtuvieron a partir de la respuesta espectral de la vegetación frente a la radiación electromagnética registrada por sensores remotos.

$$NDVI = \frac{(Banda\ 8 - Banda\ 4)}{(Banda\ 8 + Banda\ 4)}$$

El resultado de la aplicación de esta ecuación, se utilizaron las bandas B08 (infrarrojo cercano) y B04 (rojo visible) de las imágenes satelitales Sentinel-2, se presenta en la **figura 17**. Para facilitar la interpretación visual de la cobertura vegetal, la imagen del NDVI se visualizó con nivel de transparencia que permitió apreciar simultáneamente la imagen satelital de referencia y los valores del índice de vegetación, favoreciendo la identificación de las variaciones en la densidad y estado de la vegetación dentro del área de estudio.

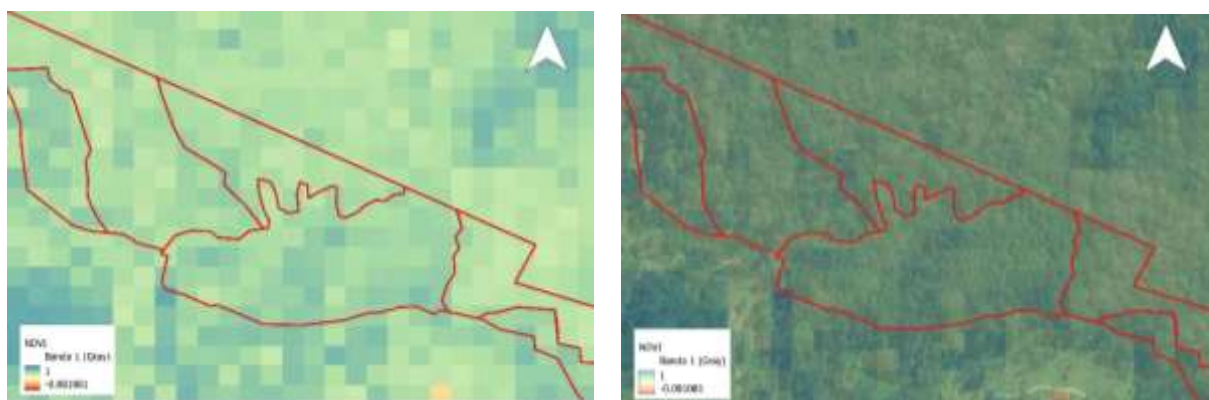


Figura 17 Resultado de la ecuación del NDVI, con ligera transparencia del predio.

Una vez identificados y delimitados los rodales, así como las áreas destinadas a otros usos del suelo, tales como agricultura y actividades complementarias, se procedió a integrar la información hidrológica correspondiente al predio. Para ello, se incorporaron las corrientes de agua permanentes e intermitentes obtenidos a partir de la cartografía topográfica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Asimismo, se añadieron las curvas de nivel provenientes de la carta topográfica F14D73, escala 1:50 000, Serie III con el propósito de complementar el análisis fisiográfico del área de estudio. El resultado final muestra el predio rodalizado junto con la red hidrográfica y la información topográfica, como lo muestra la **figura 18**, elementos que contribuyen a mejorar la interpretación de las condiciones físicas y ambientales presentes en el terreno.

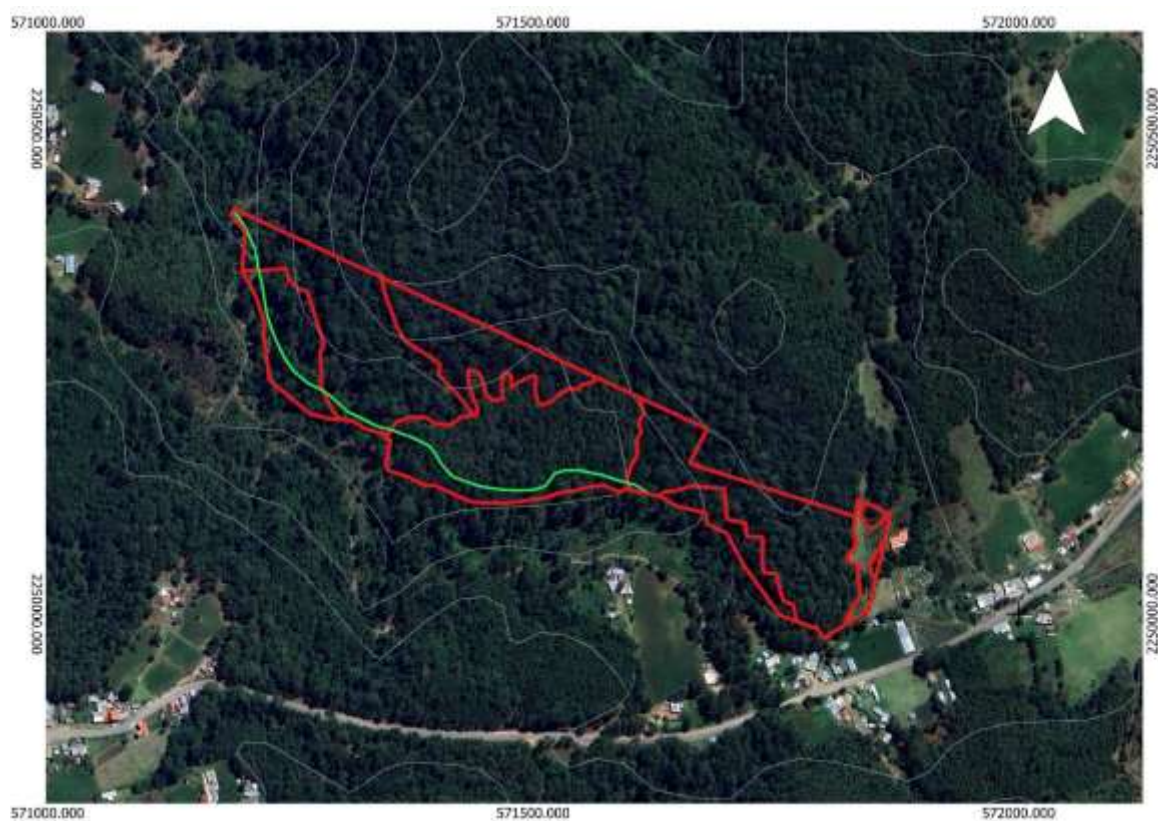


Figura 18 Curvas de nivel y corrientes de agua

Una vez concluido el proceso de zonificación forestal, es indispensable realizar su verificación en campo con el fin de validar la información generada mediante el análisis

cartográfico y geoespacial. Esta actividad puede desarrollarse de manera simultánea con el levantamiento del inventario forestal, permitiendo corroborar las características y delimitaciones establecidas previamente. El propósito de esta etapa es integrar y verificar todos los elementos requeridos para la determinación de los diferentes tipos de superficie establecidos en la normatividad vigente. En este sentido, la NOM-152-SEMARNAT-2023 establece los criterios, especificaciones y contenidos mínimos que deben considerarse en los Programas de Manejo Forestal Sustentable para el aprovechamiento de recursos forestales maderables en bosques, selvas y vegetación de zonas áridas, sirviendo como base para la clasificación y delimitación de las superficies forestales. Como lo muestra en la **figura 19**.



Figura 19 Zonificación forestal del predio Fracción 1 predio rustico cumbre de Muridores, San Bartolo Tutotepec, Hidalgo.

5.1. Validación de resultados

La verificación en campo tiene como finalidad identificar posibles discrepancias entre la cartografía generada y las condiciones reales presentes en el área de estudio, permitiendo realizar los ajustes necesarios para que la zonificación y delimitación de los rodales representen de manera precisa la situación del predio. En este proceso de validación contribuye a que las áreas de aprovechamiento estén sustentadas en criterios técnicos, ecológicos y operativos sólidos. Asimismo, durante esta etapa se deben registrar observaciones, recomendaciones y evidencias de campo que respalden las modificaciones requeridas, garantizando cartografía confiable para la planeación y el manejo forestal sustentable. La información obtenida resulta fundamental para el cumplimiento de los criterios establecidos en la NOM-152-SEMARNAT-2023 y para la correcta toma de decisiones en la gestión de los recursos forestales.

Asimismo, la herramienta utilizada facilita la captura de fotografías georreferenciadas, las cuales quedan asociadas a la ubicación específica mediante un ícono de referencia dentro del sistema. Estas evidencias fotográficas constituyen un apoyo importante para la validación de la información, el registro de observaciones de campo y la documentación de las características de la vegetación, los límites de los rodales y otros elementos relevantes para el manejo forestal. De esta manera, se fortalece la precisión de la zonificación y se mejora la toma de decisiones en las actividades de planificación y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.

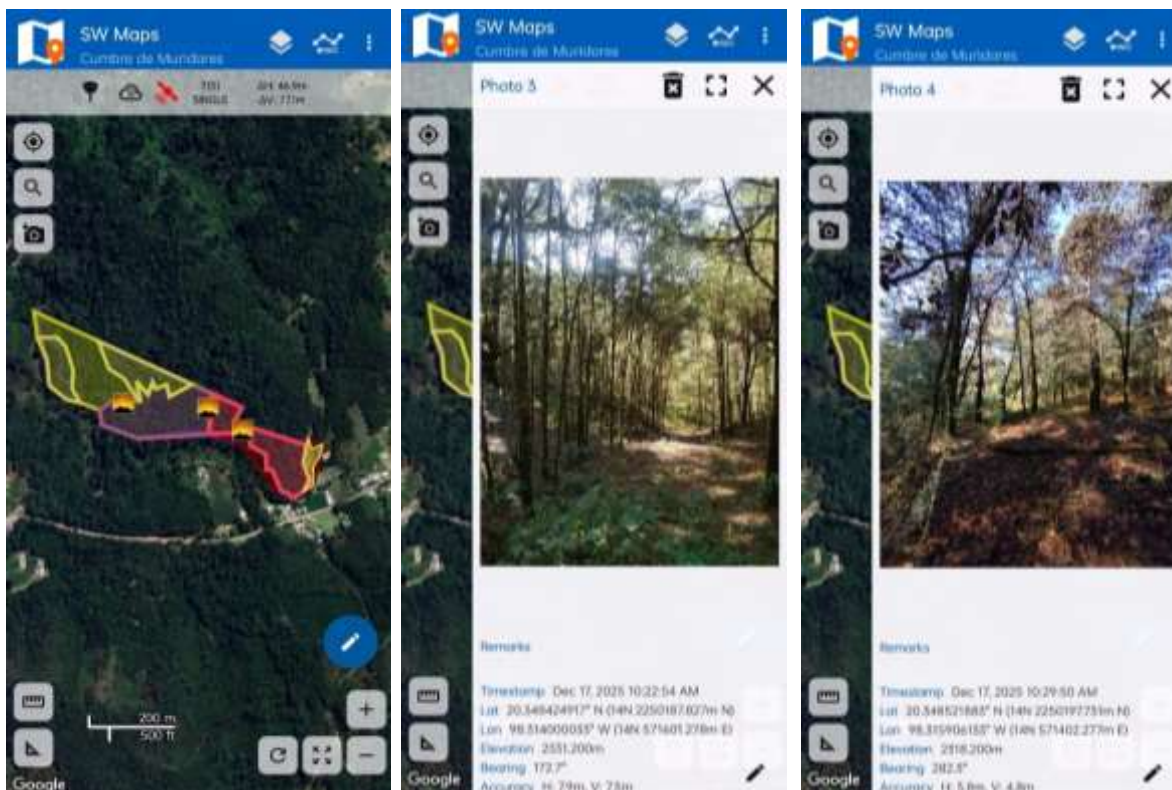


Figura 20 Resultado final del proyecto

Una vez obtenido el predio rodalizado mediante el análisis de imágenes satelitales, la información geoespacial fue incorporada en la aplicación SW Maps, como se observa en la **figura 20**. Posteriormente, mediante el uso de esta herramienta, se realizó el levantamiento de evidencia fotográfica georreferenciada en campo, con el propósito de documentar los límites de la vegetación conforme a la rodalización previamente establecida a partir del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

VI. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) constituye una herramienta eficaz para la delimitación de rodales y la elaboración de la zonificación forestal en el predio de estudio. La aplicación de esta metodología permitió identificar unidades relativamente homogéneas de vegetación, así como diferenciar áreas de aprovechamiento, conservación y otros usos del suelo, facilitando la caracterización espacial del área forestal.

Los resultados coinciden con lo reportado por García et al. (1999) en la zonificación ecológica del Cerro El Potosí, Nuevo León, donde el procesamiento digital de imágenes satelitales y la interpretación visual permitieron delimitar zonas núcleo, de amortiguamiento y de recuperación de hábitat. De manera similar, en el presente estudio la combinación del análisis espectral y la interpretación visual facilitó la identificación de cambios en la cobertura vegetal y la delimitación de rodales con características homogéneas.

Asimismo, los resultados obtenidos son consistentes con los hallazgos de Chávez González y González Guillén (2015), quienes señalan que la integración de herramientas geoespaciales y criterios estadísticos permite identificar áreas con diferente potencial de conservación y aprovechamiento. Aunque en este trabajo no se aplicaron modelos estadísticos complejos, la delimitación basada en el comportamiento espectral de la vegetación permitió reconocer áreas con distintos grados de cobertura y desarrollo forestal, proporcionando información útil para la toma de decisiones en el manejo forestal.

Por otra parte, la utilización del NDVI permitió detectar diferencias temporales en la vegetación observadas mediante la comparación de imágenes históricas. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Alonso (2012) y Zenteno Cruz et al. (2017), quienes destacan que el NDVI es una herramienta eficiente para monitorear cambios en la cobertura vegetal, evaluar procesos de regeneración natural y detectar modificaciones derivadas del aprovechamiento forestal o de perturbaciones ambientales.

De igual manera, los resultados respaldan lo señalado por López-Contreras et al. (2022), quienes indican que los índices de vegetación permiten analizar la dinámica de la vegetación mediante la combinación matemática de bandas espectrales. En el presente estudio, las bandas B04 (rojo) y B08 (infrarrojo cercano) de Sentinel-2 permitieron generar imágenes con suficiente contraste para diferenciar áreas con distinta densidad vegetal, facilitando la delimitación de rodales.

La precisión observada durante la validación visual mediante imágenes de alta resolución y la posterior corroboración en campo coincide con las recomendaciones establecidas por la NOM-152-SEMARNAT-2023, la cual señala que toda zonificación forestal debe verificarse mediante recorridos de campo para asegurar que la delimitación cartográfica corresponda a las condiciones reales del terreno. En este sentido, la integración de información satelital, cartográfica y de campo fortaleció la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Finalmente, los resultados también son comparables con los obtenidos por Borrás et al. (2017), quienes destacan que las imágenes Sentinel-2 representan una de las herramientas más precisas para el monitoreo ambiental debido a su resolución espacial de 10 m y su alta frecuencia temporal. Estas características permitieron obtener información actualizada y suficiente para la rodalización del predio estudiado, reduciendo tiempos y costos asociados a métodos tradicionales de delimitación. En conjunto, la evidencia obtenida confirma que el uso del NDVI derivado de imágenes Sentinel-2 constituye una metodología confiable para apoyar los procesos de zonificación y rodalización forestal, proporcionando resultados comparables con investigaciones previas desarrolladas en distintos ecosistemas forestales de México. Esto valida la aplicabilidad de la metodología empleada para la planificación y el manejo forestal sustentable del área de estudio.

VII. CONCLUSIONES

El uso de imágenes satelitales Sentinel-2 y el cálculo del NDVI permite realizar la zonificación forestal eficiente, facilitando la delimitación de rodales y la caracterización de la cobertura vegetal en el área de estudio.

El NDVI demostró ser una herramienta útil para evaluar el estado de la vegetación, permitiendo distinguir áreas con diferentes niveles de vigor y densidad, lo que resulta fundamental para la toma de decisiones en el manejo forestal, conservación y restauración de los ecosistemas. Asimismo, la validación en campo permitió confirmar la confiabilidad de los resultados obtenidos, evidenciando la correspondencia entre los valores del NDVI y las condiciones reales de la vegetación.

Finalmente, este estudio aporta una metodología aplicable y replicable en otras áreas forestales, contribuyendo al fortalecimiento de estrategias orientadas al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas forestales.

VII. LITERATURA CITADA

- Alonso, D. (2012). Los 6 Índices de Vegetación para completar el NDVI. Retrieved from <https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>
- Borrás, 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.
- Catuna, N. (1995). La percepción remota y el análisis del espacio geográfico. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 5(2), 83-106.
- Chávez González, H., & González Guillén, M. d. J. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(27), 8-23.
- CONAFOR. (2011). ZONIFICACIÓN FORESTAL. Retrieved from <https://snmf.cnf.gob.mx/zonificacion-forestal/>
- Flores, D. D. C., Benítez, E. A. C., Sánchez, Y. F., & Ávila, D. D. (2020). Variaciones espaciales y temporales en el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en Cuba. *Ecosistemas*, 29(1), 1885-1885.
- García, M. A., Treviño Garza, E. J., Cantú Ayala, C. M., & González Saldívar, F. N. (1999). Zonificación ecológica del cerro "El Potosí", Galeana, Nuevo León, México. *Investigaciones geográficas*(38), 31-40.
- Garza, L. A.-S. y. E. J. T. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*, 21, 77-91. Retrieved from <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21n1/v21n1a7.pdf>
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*, 8(1), 1-10.
- González Herreño, D., & Bueno Moreno, W. (2017). Implementación y evaluación de métodos convencionales y la transformada wavelet, para la fusión de imágenes satelitales RapidEye Y Sentinel 2a, caso de estudio: Departamento de Cundinamarca.
- González Murguía, R., Treviño Garza, E. J., Aguirre Calderón, O. A., Jiménez Pérez, J., Cantú Silva, I., & Foroughbakhch Pournavab, R. (2004). Rodalización mediante sistemas de información geográfica y sensores remotos. *Investigaciones geográficas*(53), 39-57.
- Hernández, C., José Manuel (2016). *Guía Metodológica para la Zonificación Forestal* (SERFOR Ed. 1a ed. Vol. 1). Lima Perú.
- Koch, B. (2013). La teledetección como apoyo a los inventarios forestales nacionales EFN. *Antología de conocimientos para la evaluación de los recursos forestales nacionales*, 1-17. Retrieved from https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/national_forest_assessment/images/PDFs/Spanish/KR2_ES_8_.pdf

- López-Contreras, C., Collantes-Chávez-Costa, A. L., & Barrasa-García, S. (2022). Indicadores visuales como predictores de la preferencia del paisaje costero en isla Cozumel, México. *CienciaUAT*, 17(1), 35-48.
- López Contreras, C., Collantes Chávez, A. L., & Barrasa García, S. (2022). Visual indicators as predictors of coastal landscape preference at Cozumel island, Mexico. *CienciaUAT*, 17(1), 35-48.
- Molina, J. M. G., Nicolau, M. P., & Grau, P. V. (2006). Manual de ordenación por rodales. Gestión multifuncional de los espacios forestales. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Miriam-Pique/publication/264536504_Manual_de_ordenacion_por_rodales_gestion_multifuncional_de_los_espacios_forestales/links/5f785b4a92851c14bca9f36f/Manual-de-ordenacion-por-rodales-gestion-multifuncional-de-los-espacios-forestales.pdf
- Muñoz, P., Andrés. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista chilena de historia natural*, 77(1), 139-156.
- Peláez, E. J. J. (2015). *Criterios para la conservación de la biodiversidad en los programas de manejo forestal* (E. J. G. Castillo Ed.).
- Prodan, M. (1997). *Mensura forestal*: Agroamerica.
- SEMARNAT. (2017). *Guía para la Elaboración de Estudios Técnicos Justificativos* (S. d. G. p. I. P. Ambiental Ed.).
- SEMARNAT. (2023). NORMA OFICIAL MEXICANA-NOM-152-SEMARNAT-2023. Retrieved from https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5696430
- Tristán, P., Wainschenker, R., & Doorn, J. H. (2008). Normalización de imágenes satelitales en el análisis Multi-Temporal. Paper presented at the X Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.
- Valenzuela-Núñez, L. M., Trucíos-Caciano, R., Ríos-Saucedo, J. C., Flores Hernández, A., & González-Barrios, J. L. (2011). Caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite (*Prosopis* sp) en el estado de Coahuila. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE), 87-96.
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia (Arica)*, 38(4), 99-107.
- Zenteno Cruz, G. A., Palacios Vélez, E., Tijerina Chávez, L., & Flores Magdaleno, H. (2017). Aplicación de tecnologías de percepción remota para la estimación del rendimiento en caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1575-1586.

