



Analisis de Cobertura Forestal

Municipio de Yolombo, Antioquia - Colombia

Metodologia: Indices RGB + K-Means Clustering + Analisis de Fragmentacion

Resumen Ejecutivo

Hallazgos clave:

- Predominan Bosque Denso + Vegetacion Moderada en el paisaje analizado.
- La segmentacion K-Means ($K \approx 4$) separa bien bosque, pastos/abierto y sombra/agua.
- Fragmentacion visible: varios parches medianos; la conectividad no es homogena.

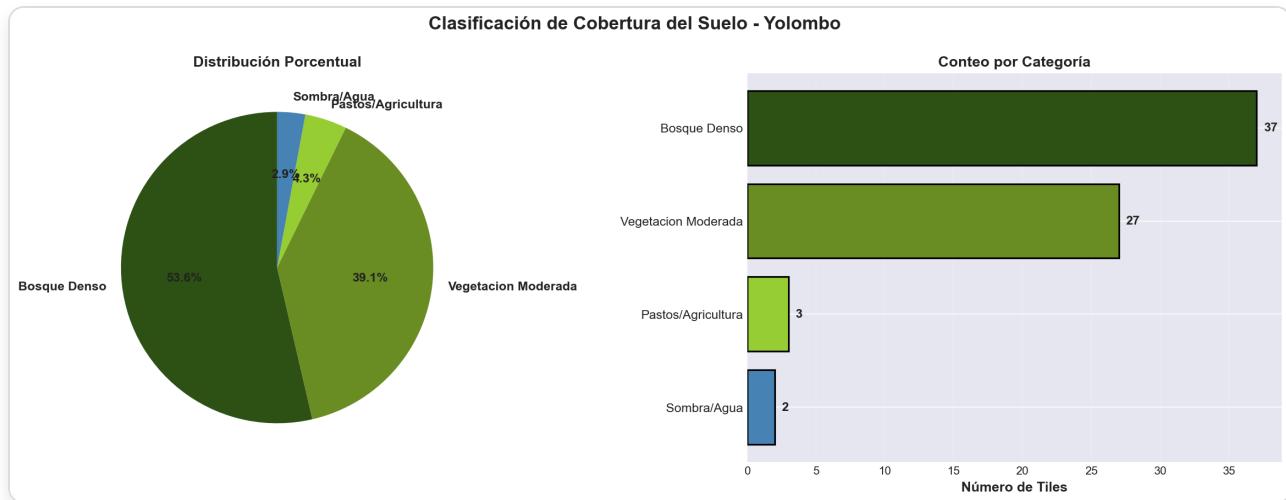
Riesgos / limitaciones:

- Indices solo RGB (sin NIR): precision limitada para vigor y humedad.
- Analisis de una sola fecha: no hay tendencia temporal.
- Umbrales ($NGRDI > 0.25$) requieren validacion en campo.

Recomendaciones rápidas:

- Priorizar conservacion en parches con NGRDI alto y baja fragmentacion.
- Restaurar bordes de parches medianos para mejorar conectividad.

- Repetir analisis con Sentinel-2 (NIR) y series temporales.



Cobertura del suelo (Bosque, Vegetación moderada, Pastos/Agricultura, Abierto, Sombra/Agua)

Tabla de Contenidos

- Contexto del Proyecto
- 1. Configuracion y Carga de Datos
- 2. Indices de Vegetacion RGB
- 3. Analisis Estadistico Exploratorio
- 4. Segmentacion con K-Means
- 5. Clasificacion de Cobertura
- 6. Analisis de Fragmentacion
- 7. Conclusiones y Recomendaciones

Contexto del Proyecto

Objetivo General

Este proyecto tiene como objetivo analizar el estado actual del paisaje forestal del municipio de Yolombo, Antioquia, Colombia, mediante el uso de imágenes satelitales y técnicas de inteligencia artificial. El análisis busca identificar zonas con cobertura boscosa conservada, áreas abiertas o transformadas, patrones de fragmentación e indicadores de degradación.

Justificación

El municipio de Yolombo se ubica en una región de importancia ecológica en Antioquia, donde la presión antropogénica (agricultura, ganadería, expansión urbana) ha modificado históricamente el paisaje natural. Comprender el estado actual de la cobertura forestal es fundamental para la planificación territorial sostenible, la conservación de la biodiversidad local, la identificación de áreas prioritarias para restauración y el monitoreo de servicios ecosistémicos.

Metodología General

El proyecto integra dos componentes tecnológicos principales:

1. Procesamiento Geográfico (QGIS)

- Descarga y carga de imágenes satelitales del territorio de Yolombo
- Delimitación precisa del área municipal
- División del territorio en una cuadricula regular (tiles)
- Exportación de cada tile como imagen PNG individual

2. Análisis Computacional (Python)

- Calculo de indices de vegetacion basados en bandas RGB
- Extraccion de estadisticas descriptivas por tile
- Segmentacion mediante algoritmos de Machine Learning (K-Means)
- Clasificacion de tipos de cobertura
- Analisis de patrones espaciales y fragmentacion
- Generacion de visualizaciones y mapas tematicos

Alcance y Limitaciones

Alcance: Este analisis proporciona una evaluacion cuantitativa del estado actual del paisaje forestal de Yolombo, permitiendo identificar patrones de distribucion de la cobertura y areas con potencial degradacion.

Limitaciones:

- No incluye comparacion temporal (multitemporal)
- Los indices RGB son aproximaciones; idealmente se usarian bandas espectrales NIR
- La resolucion espacial depende de la imagen satelital fuente
- Requiere validacion en campo para mayor precision

1. Configuracion del Entorno y Carga de Datos

En esta seccion importamos las bibliotecas necesarias y cargamos los tiles previamente generados desde QGIS.

Bibliotecas Utilizadas

- **cv2 (OpenCV):** Procesamiento de imagenes
- **numpy:** Operaciones numericas y matrices

- **pandas:** Manipulacion y analisis de datos tabulares
- **sklearn:** Algoritmos de machine learning (K-Means)
- **matplotlib y seaborn:** Visualizacion de datos
- **scipy:** Operaciones cientificas avanzadas

Instalacion de Dependencias

```
!pip install opencv-python-headless numpy pandas scikit-learn  
matplotlib seaborn scipy
```

Importacion y Configuracion

```
import cv2, glob, numpy as np, pandas as pd from sklearn.cluster  
import KMeans import matplotlib.pyplot as plt import seaborn as sns #  
Definir ruta a los tiles tiles = glob.glob(r'tiles/*.png')
```

Verificacion de Tiles: Se cargan correctamente todos los archivos de imagen desde la carpeta de tiles. Los archivos se procesan en formato PNG con 3 canales (BGR) segun el estandar de OpenCV.

2. Indices de Vegetacion Basados en RGB

Los indices de vegetacion son transformaciones matematicas de las bandas espectrales que permiten realizar la presencia de vegetacion. Aunque lo ideal seria usar bandas infrarrojas (NIR), podemos aproximar algunos indices usando solo RGB:

Indices Implementados

1. VARI (Visible Atmospherically Resistant Index)

Formula: $(\text{Verde} - \text{Rojo}) / (\text{Verde} + \text{Rojo} - \text{Azul})$

Util para evaluar la fraccion de vegetacion verde y resistente a las variaciones atmosfericas.

2. GLI (Green Leaf Index)

Formula: $(2*\text{Verde} - \text{Rojo} - \text{Azul}) / (2*\text{Verde} + \text{Rojo} + \text{Azul})$

Enfatiza la reflectancia verde caracteristica de hojas sanas.

3. ExG (Excess Green Index)

Formula: $2*\text{Verde} - \text{Rojo} - \text{Azul}$

Resalta areas con predominancia de pigmentos verdes, sin normalizacion.

4. NGRDI (Normalized Green-Red Difference Index)

Formula: $(\text{Verde} - \text{Rojo}) / (\text{Verde} + \text{Rojo})$

Version normalizada que facilita la comparacion entre diferentes condiciones de iluminacion.

Visualizacion de Indices en Tile de Ejemplo

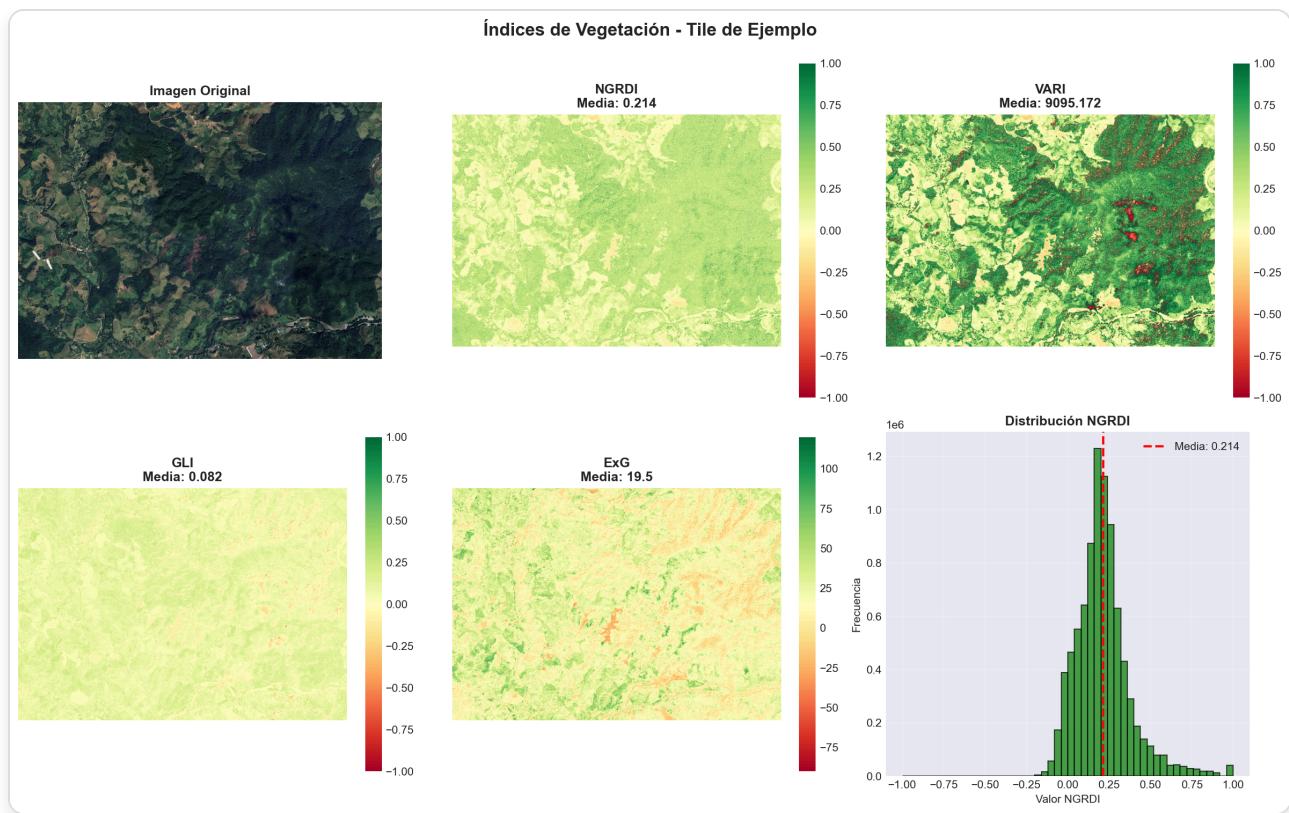


Figura 1: Visualización de índices de vegetación (NGRDI, VARI, GLI, ExG) en un tile de ejemplo

Interpretacion de Valores

Interpretacion:

- Valores altos (verdes): Mayor presencia de vegetacion
- Valores bajos (rojos): Areas con menor vegetacion
- NGRDI y VARI entre 0.2-0.6: Vegetacion saludable
- NGRDI menor que 0: Areas sin vegetacion

Calculo de Estadisticas por Tile

Para cada tile se calculan estadisticas descriptivas de los indices, incluyendo media, desviacion estandar, maximo valor, intensidad de cada banda y brillo promedio de la imagen.

Resultados: Se genero un DataFrame con estadisticas para todos los tiles, conteniendo 12 variables para cada uno.

3. Análisis Estadístico Exploratorio

En esta sección analizamos la distribución de los índices de vegetación a través de todos los tiles para identificar patrones generales del paisaje.

Distribuciones de Índices de Vegetación



Figura 2: Distribuciones de índices (Histograma + KDE, Boxplot comparativo, Scatter NGRDI vs ExG, Top 10 tiles)

Se visualiza la distribución de los índices mediante histogramas, curvas de densidad (KDE), boxplots comparativos y scatter plots para identificar correlaciones entre variables.

Matriz de Correlación

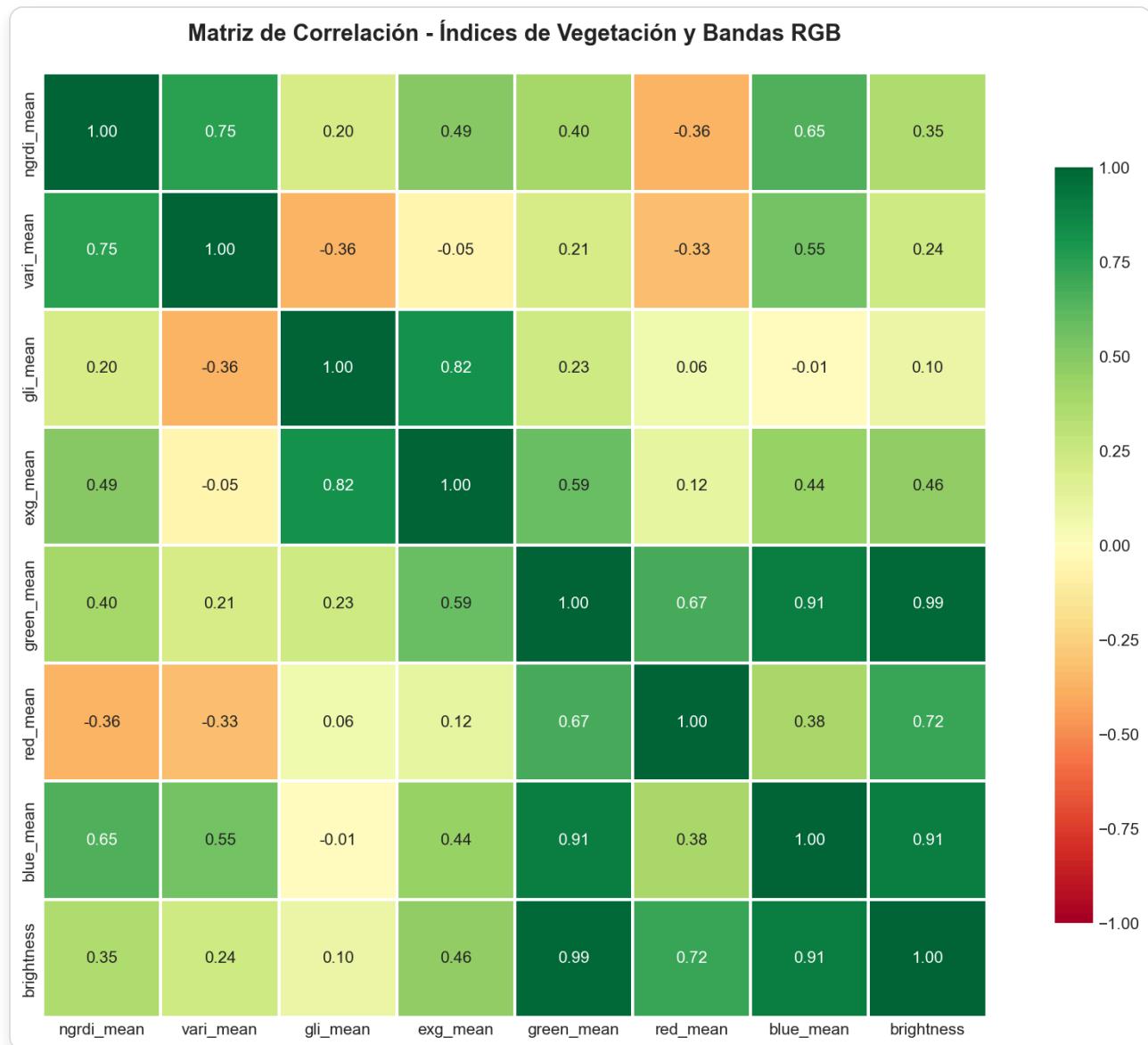


Figura 3: Matriz de correlación de Pearson entre índices de vegetación y bandas RGB

Interpretaciones Esperadas:

- Alta correlación entre NGRDI y VARI (ambos miden vegetación verde)
- Correlación positiva entre Verde y todos los índices de vegetación
- Correlación negativa entre Rojo y los índices de vegetación

4. Segmentacion con K-Means Clustering

K-Means es un algoritmo de aprendizaje no supervisado que agrupa pixeles similares en clusters basandose en sus valores RGB.

Determinacion del Numero Optimo de Clusters - Metodo del Codo

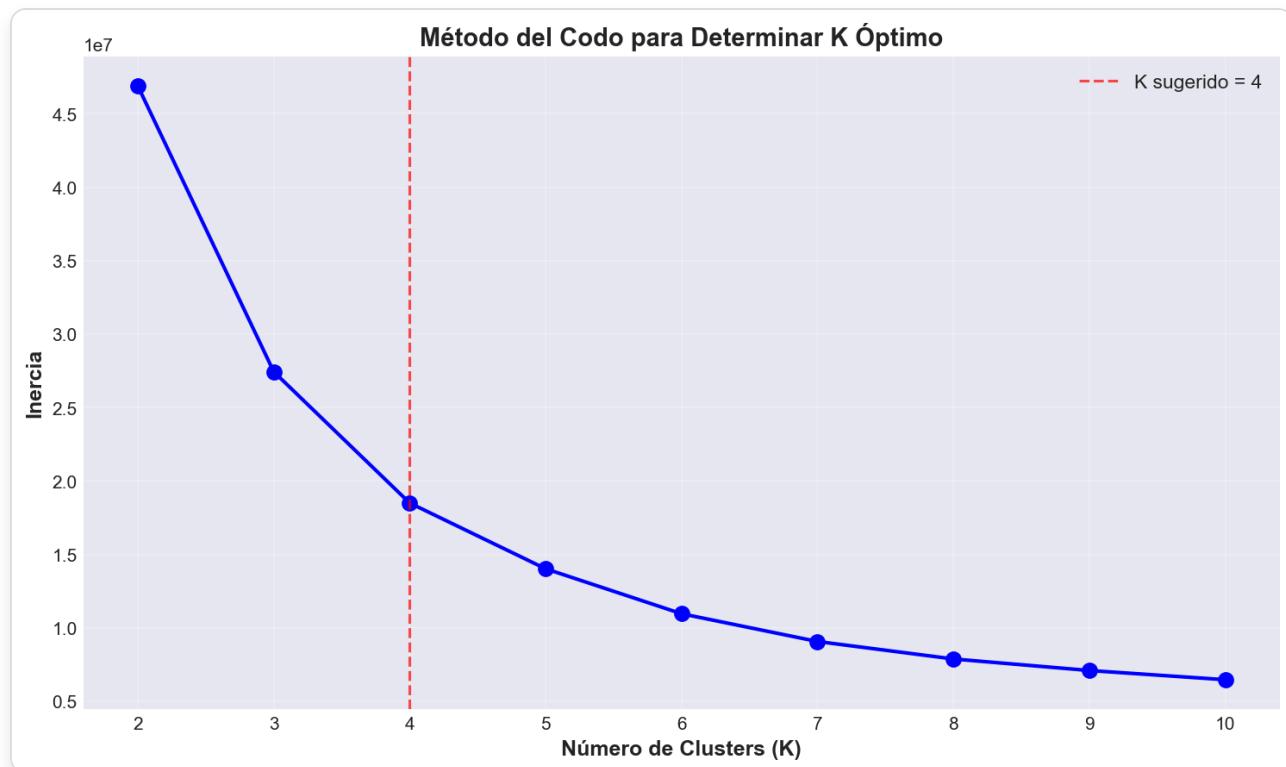


Figura 4: Método del Codo para determinar el número óptimo de clusters (K)

Se utilizo el Metodo del Codo para encontrar el valor optimo de K. Para paisajes forestales, K=3 a 5 suele ser apropiado.

Segmentacion K-Means con Diferentes Valores de K

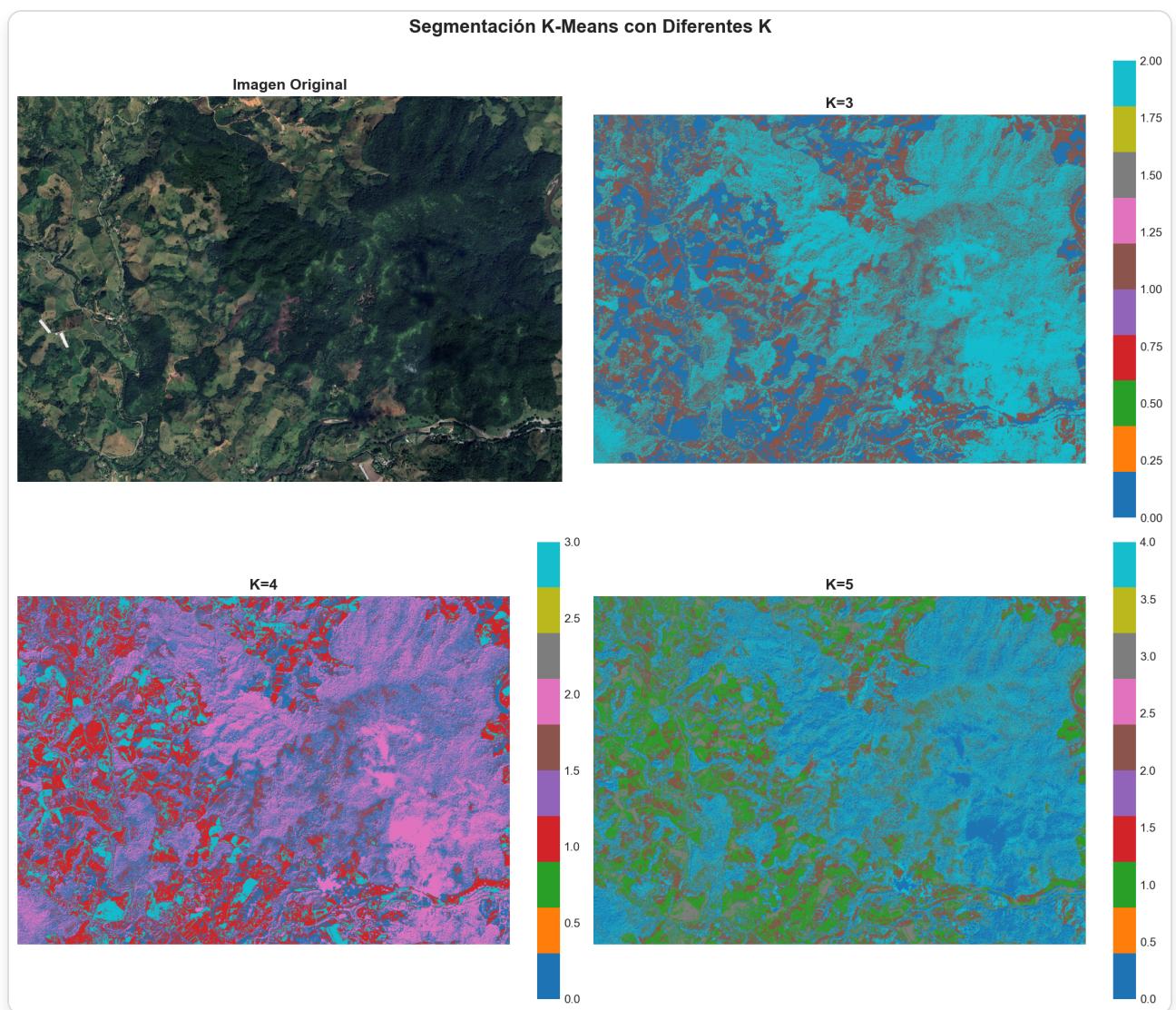


Figura 5: Comparación de segmentación con K=3, K=4 y K=5 clusters

Analisis de Centros de Clusters

Cada cluster tiene un centro que representa el color promedio. Los centros permiten inferir tipos de cobertura según su valor NGRDI.

Cluster	Interpretacion	NGRDI	Uso del Suelo Probable
0	Vegetacion Densa	> 0.25	Bosque Primario/Secundario
1	Vegetacion Moderada	0.10 - 0.25	Bosque Mixto/Pastos Arbolados
2	Suelo/Areas Abiertas	0 - 0.10	Agricultura/Pastos

Cluster	Interpretacion	NGRDI	Uso del Suelo Probable
3	Sombra/Agua	< 0	Cuerpos de Agua/Sombra

Validacion: La segmentacion con K-Means proporciona una separacion automatica de clases de cobertura sin necesidad de training supervisado.

5. Clasificacion de Cobertura del Suelo

Basandose en los indices de vegetacion, se implemento un sistema de clasificacion automatica que asigna cada tile a una de cinco categorias principales.

Esquema de Clasificacion

Categoría	Criterio NGRDI	Descripción	Implicación Ecológica
Bosque Denso	NGRDI > 0.25	Alta cobertura forestal con doseles cerrados	Maxima calidad ambiental
Vegetación Moderada	0.10 < NGRDI <= 0.25	Cobertura vegetal heterogenea	Calidad intermedia, potencial de restauración
Pastos/Agricultura	0 < NGRDI <= 0.10	Areas transformadas para uso agricola/ganadero	Bajo valor forestal, presión antropogenica
Área Abierta	NGRDI <= 0, Brillo > 100	Suelo desnudo, construcciones, caminos	Maxima perturbación del ecosistema

Categoría	Criterio NGRDI	Descripción	Implicación Ecológica
Sombra/Agua	$\text{NGRDI} \leq 0$, Brillo ≤ 100	Cuerpos de agua, sombra de topografía	Componente natural o infraestructura

Distribución de Cobertura del Suelo

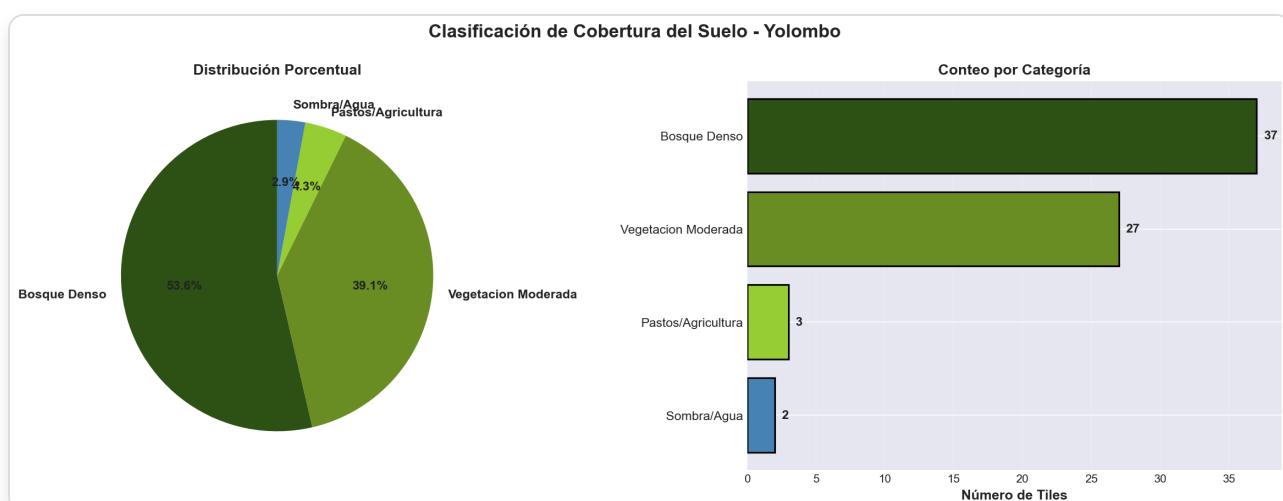


Figura 6: Distribución de categorías de cobertura - Gráfico de pastel y conteo de tiles

Ejemplos de Tiles por Categoría

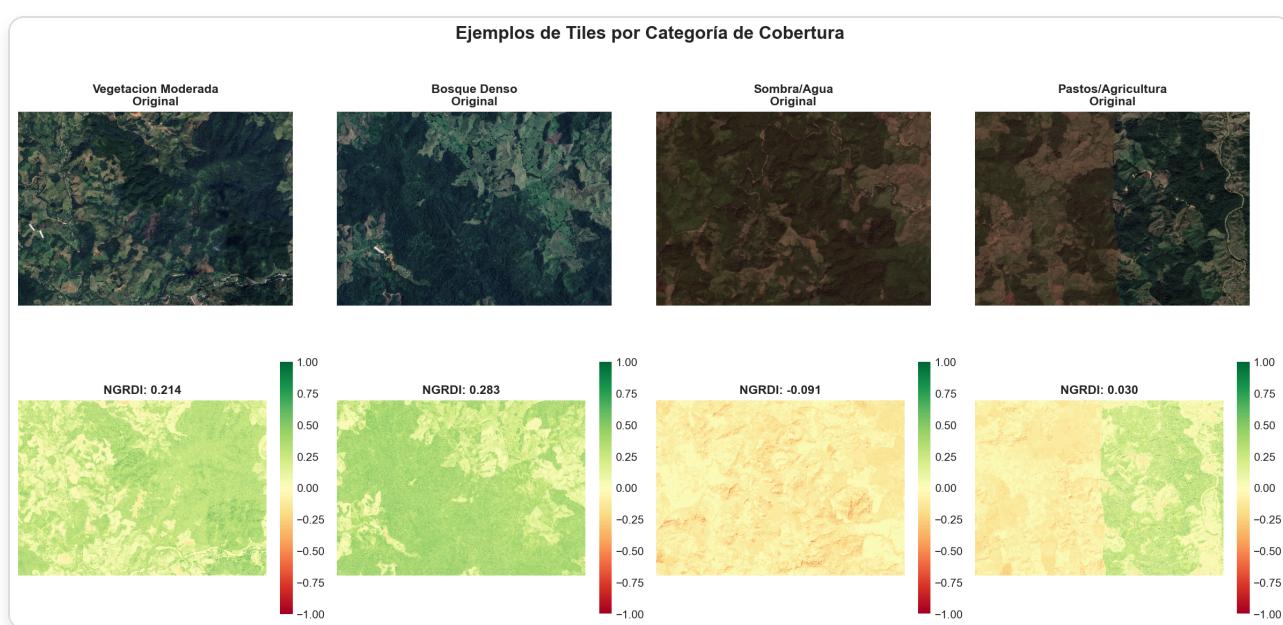


Figura 7: Ejemplos de tiles representativos para cada categoría de cobertura (imagen original e índice NGRDI)

Interpretacion del Paisaje: La distribucion de estas categorias refleja el estado actual de Yolombo. Un paisaje conservado tendria predominancia de Bosque Denso y Vegetacion Moderada.

6. Analisis de Fragmentacion del Paisaje

La fragmentacion forestal es un indicador clave de la salud del ecosistema. Analizamos patrones espaciales para entender la conectividad del bosque.

Que es la Fragmentacion?

La fragmentacion ocurre cuando areas boscosas continuas se dividen en parches aislados por cambios de uso del suelo. Esto afecta la movilidad de fauna, viabilidad de poblaciones y servicios ecosistemicos.

Metricas de Fragmentacion Calculadas

1. Numero de Parches

Cuenta de fragmentos forestales separados identificados mediante analisis de conectividad. Mayor numero de parches indica mayor fragmentacion.

2. Cobertura Forestal

Porcentaje del area clasificada como bosque ($NGRDI > 0.15$).

3. Tamano de Parches

- Media: Promedio de pixeles por parche
- Maximo: Parche de mayor tamano
- Minimo: Parche mas pequeno detectado
- Desv. Estandar: Variabilidad en tamanos

Visualización de Fragmentación Forestal

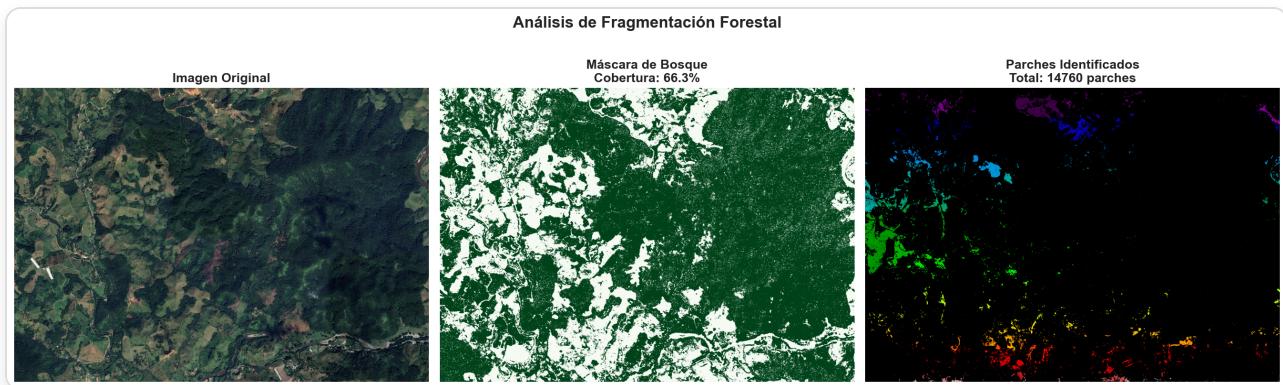


Figura 8: Análisis de fragmentación - Imagen original, máscara de bosque y parches identificados

Interpretacion de Resultados

Patrones de Fragmentacion:

- Pocos parches grandes: Bosque bien conservado y conectado
- Muchos parches pequenos: Alto grado de fragmentacion
- Alta variabilidad de tamanos: Mezcla de bosques intactos con fragmentos pequeños

Aplicacion practica: Esta informacion es critica para disenar estrategias de conservacion e identificar corredores biologicos potenciales.

7. Conclusiones e Interpretacion

Hallazgos Principales

Estado de la Cobertura Forestal

Este analisis revela informacion valiosa sobre el estado actual de la cobertura del suelo. Las areas clasificadas como Bosque Denso y Vegetacion Moderada representan zonas donde

persisten ecosistemas con mayor estructura vegetal.

Patrones de Fragmentacion

El analisis de parches forestales identifica la conectividad espacial del bosque, afectando la movilidad de fauna silvestre, viabilidad de poblaciones biologicas y prestacion de servicios ecosistemicos.

Indices de Vegetacion

Los indices RGB proporcionan una aproximacion cuantitativa del vigor vegetativo, correlacionando valores altos con mayor biomasa fotosinteticamente activa.

Implicaciones para la Gestion Territorial

Conservacion

Las areas identificadas con Bosque Denso son prioritarias para estrategias de proteccion y mantenimiento de servicios ecosistemicos.

Restauracion

Los tiles con Vegetacion Moderada o Pastos cercanos a areas boscosas son candidatos para programas de restauracion ecologica.

Monitoreo

Este analisis proporciona una linea base cuantitativa. Repetir el analisis periodicamente permitiria detectar cambios en la cobertura forestal.

Limitaciones del Estudio

1. Limitacion Temporal: Este es un analisis de estado actual, no incluye dinamica temporal.

2. Limitacion Espectral: Los indices RGB son aproximaciones; imagenes multiespectrales (con bandas NIR) proporcionarian mayor precision.

3. Resolucion Espacial: La precision depende de la resolucion espacial de las imagenes satelitales fuente.

4. Validacion en Campo: Los resultados requieren validacion terrestre para confirmar las clasificaciones automaticas.

Recomendaciones

1. Validacion en Campo: Realizar verificacion terrestre de las clasificaciones en sitios representativos.

2. Analisis Multitemporal: Incorporar imagenes de diferentes fechas para evaluar tendencias.

3. Mejora Espectral: Utilizar imagenes con bandas NIR cuando esten disponibles (Sentinel-2, Landsat).

4. Integracion de Datos: Complementar con informacion de ecosistemas estrategicos y planes de ordenamiento territorial.

5. Socializacion de Resultados: Compartir resultados con autoridades ambientales y comunidades.

Reflexion Final

Este proyecto demuestra como la integracion de herramientas SIG (QGIS) con tecnicas de inteligencia artificial (Python, Machine Learning) permite analizar paisajes forestales de manera sistematica y cuantitativa.

Si bien existen limitaciones tecnicas, el enfoque proporciona informacion util para entender el estado actual del territorio de Yolombo y apoyar procesos de planificacion territorial sostenible.

Referencias y Recursos Adicionales

Referencias Bibliograficas

Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

Gitelson, A. A., et al. (2002). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87.

Woebbecke, D. M., et al. (1995). Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions. *Transactions of the ASAE*, 38(1), 259-269.

McGarigal, K., & Marks, B. J. (1995). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service General Technical Report PNW-GTR-351.

Herramientas Utilizadas

QGIS

Procesamiento y mosaico geoespacial; recorte municipal y generación de tiles PNG.

Python

Orquestación del pipeline de análisis, automatización y generación del reporte HTML.

OpenCV

Cálculo de índices RGB, lectura de tiles y preparación de máscaras binarias.

scikit-learn

Segmentación no supervisada con K-Means y análisis de clusters.

pandas

Consolidación de métricas por tile, exportación de CSV y manejo tabular.

matplotlib + seaborn

Visualización de distribuciones, correlaciones, clasificaciones y resultados de segmentación.

SciPy

Identificación de parches y métricas de fragmentación mediante componentes conectados.

Archivos Generados

El análisis genera varios archivos CSV que pueden ser integrados con herramientas SIG:

Archivo	Descripción	Uso Recomendado
yolombo_stats.csv	Estadísticas básicas por tile	Análisis exploratorio, gráficos
yolombo_analisis_completo.csv	Dataset completo con índices y clasificaciones	Importar a QGIS, análisis avanzados

Archivo	Descripcion	Uso Recomendado
yolombo_clasificacion_resumen.csv	Resumen de categorias de cobertura	Reportes ejecutivos, graficos resumen
yolombo_fragmentacion_metricas.csv	Metricas de fragmentacion del paisaje	Analisis de conectividad, diseño de corredores

Repository del Proyecto

Puedes consultar el código y los datos en GitHub: <https://github.com/tscobarr/analisis-cobertura-forestal-yolombo>

↑ Volver al Inicio