



PROGRAMACIÓN SIG - 2027945

Título: Construcción de región de referencia para un proyecto REDD+ en el Resguardo Indígena Alto Unuma - Vichada

Presentado por: María Fernanda López-Suárez¹, Wilmer Alexander Martínez-Martínez²

Entrega final
02/03/2025

Resumen

El código desarrollado permite determinar la región de referencia del proyecto REDD+ Unuma, integrando 11 variables que fueron analizadas a nivel general y normalizadas a formato ráster para realizar un proceso álgebra de mapas. Para ello, se utilizaron diversas librerías como *rasterio*, *geopandas*, *GDAL*, *numpy*, entre otras. Además, se ajustaron parámetros clave para optimizar el procesamiento, incluyendo la resolución espacial, con el fin de mejorar el rendimiento computacional. También se analizaron estadísticas descriptivas para evaluar la tendencia de los resultados, lo que permitió un análisis más integral, no solo desde una perspectiva geográfica, sino también en un contexto más amplio. Los resultados obtenidos demuestran que el uso de herramientas de programación facilita significativamente la operatividad y el manejo de datos espaciales en proyectos REDD+.

1. Introducción

REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación forestal) es un mecanismo internacional que busca mitigar el cambio climático compensando a los países en vías de desarrollo por sus esfuerzos en la conservación de los bosques. Su implementación implica la reducción de la deforestación y degradación forestal, así como el fortalecimiento de las reservas de carbono en los ecosistemas forestales (Mbow et al., 2012). Un componente esencial en estos proyectos es la construcción de un escenario de línea base, el cual permite modelar la deforestación esperada en ausencia de intervención y, con ello, cuantificar las emisiones evitadas (Bos et al., 2017).

¹ malopezsu@unal.edu.co. Especialización en Análisis Espacial, Universidad Nacional de Colombia.

² wiamartinezma@unal.edu.co. Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia.

Para la construcción del escenario de línea base, es necesario definir un área de referencia, dentro de la cual se analizan los patrones históricos de cambio en la cobertura forestal. La selección de esta área debe basarse en criterios espaciales que aseguren su representatividad respecto al área del proyecto, considerando similitudes en factores como agentes de deforestación, conectividad vial, características del paisaje y políticas de uso del suelo (Verra, 2020).

Este documento describe la implementación de un código que facilita el análisis geoespacial de variables ambientales para la construcción del área de referencia en el Resguardo Indígena Alto Unuma - Vichada, Colombia. Para ello, se emplean herramientas geomáticas que permiten:

- **Visualizar variables espaciales** clave, como cobertura del suelo, vías, cuerpos de agua, pendiente entre otras descritas más adelante.
- **Realizar geoprocesamientos entre estas variables** para delimitar un área de referencia adecuada para la proyección del escenario de línea base.
- **Automatizar procesos de análisis espacial**, facilitando la replicabilidad del método en otros proyectos REDD+.

A través de esta documentación, se explica la estructura del código, las fuentes de datos utilizadas y la lógica detrás de los procesos de análisis espacial aplicados. Esto proporciona una guía clara y detallada para su implementación en estudios de deforestación y proyectos REDD+, asegurando un enfoque metodológico riguroso en la construcción del escenario de línea base.

2. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un análisis de evaluación de aptitud espacial utilizando técnicas de programación SIG en Python para definir una región de referencia adecuada que permita construir el escenario de línea base de deforestación para un proyecto REDD+ en el Resguardo Indígena Alto Unuma, Vichada, Colombia.

Objetivo específico

1. Desarrollar e implementar algoritmos y bibliotecas especializadas en Python para el procesamiento y modelado de datos espaciales, con el fin de extraer y estructurar información clave sobre patrones de deforestación y características del paisaje.
2. Aplicar técnicas de análisis espacial sobre datos ráster, variables socioeconómicas, infraestructura y figuras de tenencia de la tierra, con el objetivo de caracterizar la dinámica de la deforestación y sus factores determinantes en la región.
3. Evaluar la idoneidad de la región de referencia mediante análisis de similitud espacial y comparativas con áreas equivalentes, garantizando el cumplimiento de estándares internacionales como Verified Carbon Standard.

3. Metodología

Área de estudio

El área de análisis se encuentra en el oriente de Colombia, entre la región Orinoquía y Amazonía, de las cuales forman parte los municipios de Puerto Gaitán y Cumaribo. El punto medio del área de investigación está ubicado en la latitud 3.61° N y la longitud 70.9 ° W. Esta zona abarca más de 673.000 hectáreas (**Fig. 1**)

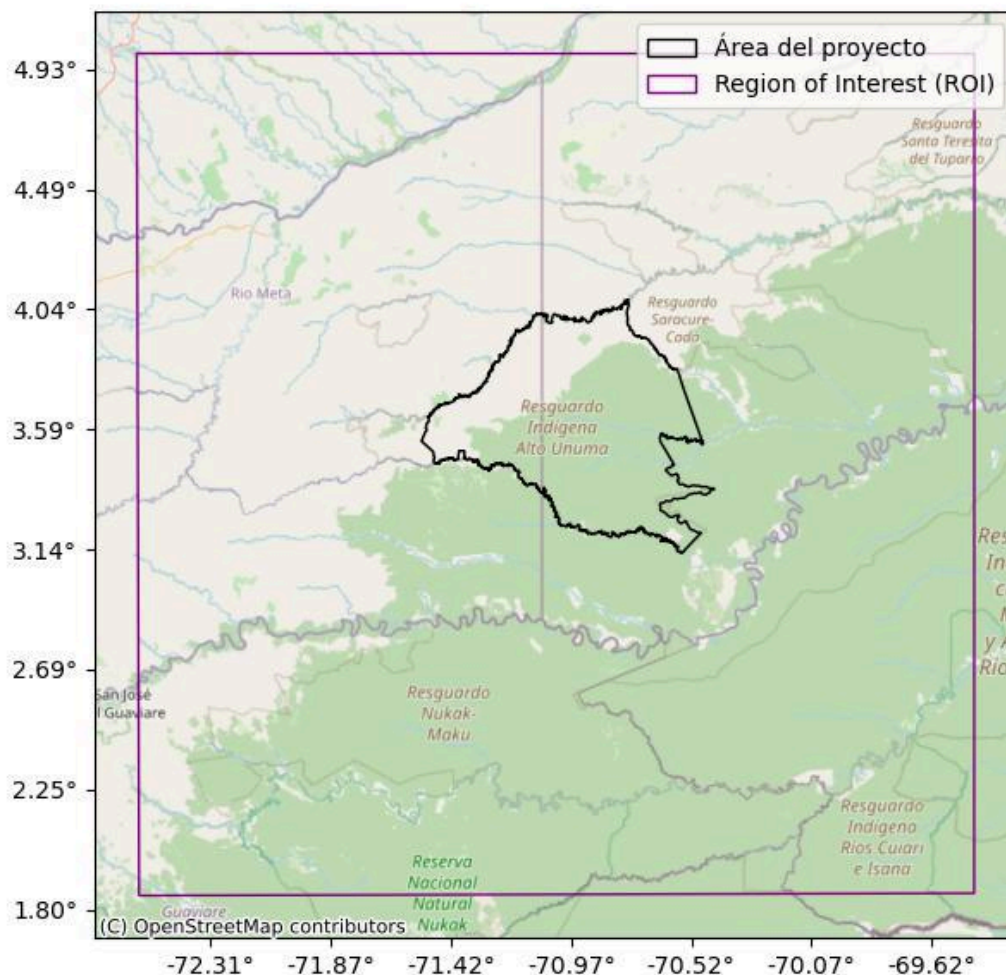


Figura 1. Área de estudio y ROI para delimitación de región de referencia.

Fuentes de datos

Datos tipo vector

Base de datos vectorial básica

La Base de Datos Vectorial Básica 1:100.000 (IGAC, 2022) fue la principal fuente para calcular la densidad de vías y densidad de drenajes dobles, dentro de la categoría de Conexiones de transporte e infraestructura humana (**Tabla 2**). Estos datos provienen de los Feature Datasets Transporte_Terrestre y Superficies_Agua. Además, con base en los

drenajes, se excluyeron las rondas hídricas de 30 metros, según el Decreto 2811 de 1974, Artículo 83, al ser bienes inalienables e imprescriptibles del Estado.

División política de códigos de cabeceras municipales de centros poblados

La Codificación DIVIPOLA (DANE, 2024) es un sistema estandarizado para identificar entidades territoriales en Colombia. A partir de los códigos de centros poblados, se analiza la presencia de asentamientos humanos en el área de estudio, siguiendo la metodología de Molina-González *et al.* (2018). Estos autores destacan que los centros poblados influyen en la fragmentación del paisaje, ya que su presencia implica cambios en el uso del suelo. Para ello, estiman valores de resistencia, asumiendo una relación inversa entre la distancia euclidiana a los centros y la resistencia al flujo de organismos.

Humedales de Colombia

En el presente análisis se debe conocer la proporción de humedales dentro del área del proyecto así como en la región de interés, dada su gran importancia ecológica ya que ofrecen una gran variedad de bienes y servicios a las comunidades aledañas a estos. Estos ecosistemas han ido desapareciendo debido a diversos factores de afectación, los cuales alteran sus características físicas, biológicas y químicas, afectando así la flora y la fauna presente en ellos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022).

Mapa de Cobertura de la tierra 100K Periodo 2020 límite administrativo

A través del mapa de cobertura de la tierra se identifican la similitud de los patrones de uso de la tierra tanto en el área del proyecto, como en la región de interés. Para este fin se utiliza el Mapa de Cobertura de la tierra 100K periodo 2020 generado por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2024).

Se tiene en cuenta, para este caso solamente el nivel 1 de coberturas según la metodología de Corine Land Cover, para facilidades del procesamiento. La leyenda de este mapa en nivel 1 son (véase **Tabla 1**):

Tabla 1. Coberturas según la Metodología adaptada de Corine Land Cover para el nivel 1

Cobertura Nivel 1	Color de leyenda	Cobertura Nivel 1	Color de leyenda
1. Territorios artificializados		4. Áreas húmedas	
2. Territorios agrícolas		5. Superficies de agua	
3. Bosques y áreas seminaturales			

Otros aspectos de titularidad

Se deben tener distintos aspectos normativos que limitan el uso de la tierra, entre ellos también se encuentran: las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (RUNAP, 2024); Reservas Campesinas (ANT, 2024a) y Resguardos Indígenas (ANT, 2024b).

Datos tipo ráster

Pérdida de bosque

Los cambios en la cobertura forestal afectan servicios ecosistémicos clave como la biodiversidad, el clima y el almacenamiento de carbono (Hansen et al., 2013). Antes de este estudio, la información global sobre la dinámica de los bosques era limitada. Aquí se utilizan los datos de Hansen et al. (2013), que mapean la cobertura arbórea, la pérdida y la ganancia de bosques con imágenes Landsat a 30 m de resolución. Con esta información, se analizó el cambio de cobertura entre 2013 y 2023, evaluando la transformación del paisaje y su impacto en REDD+, optimizando la línea base y la modelación de la región de referencia.

NASA SRTM Digital Elevation 30m

Para obtener el Modelo de Elevación Digital (DEM), se usó Google Earth Engine (GEE) y el insumo SRTMGL1_003 del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (Farr et al., 2007). Se definió una Región de Interés (ROI) y se descargó el DEM, procesado para mejorar su calidad.

Este DEM es clave en proyectos REDD+, ya que la pendiente y altitud afectan la deforestación y la distribución de ecosistemas. La pendiente influye en la accesibilidad y la susceptibilidad a cambios en la cobertura, mientras que la altitud impacta las condiciones climáticas, mejorando la estimación de la línea base de emisiones.

Métodos

La metodología se fundamenta en una revisión inicial de la literatura, donde se analizarán artículos científicos y metodologías de proyectos de carbono. El objetivo de esta etapa es comprender cómo se relacionan las variables de cada componente, identificando aquellas que son más relevantes en función de su peso, su relación con el área del proyecto y las dinámicas de la zona de estudio.

Una vez seleccionadas y agrupadas las variables por componentes (ver **Tabla 2**), estas serán analizadas de manera individual para obtener un resultado específico para cada uno. Las relaciones entre variables geospaciales pueden variar dependiendo del enfoque del análisis y de la metodología de carbono seleccionada. De manera preliminar, se ha considerado la metodología **VMD007** (Verra, 2020), la cual ya establece criterios predefinidos con las variables mencionadas previamente.

Tabla 1. Variables a tener en cuenta para la delimitación de la región de referencia

Componente	Nombre variable	Descripción	Proporción	Escala	Formato	Fuente
Uso de la tierra	Coberturas	Se evaluará la proporción de tierras en las categorías 2.1 Cultivos transitorios, 2.2 Cultivos	± 20%	Nacional	shapefile	(Instituto de Hidrología, Meteorología y

		<p>permanentes. 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas.</p> <p>Se evaluará la proporción de tierras en las categorías 2.3 Pastos</p>				Estudios Ambientales, 2024)
	Titularidad de la tierra (Áreas protegidas)	Se evaluará que el área de referencia no tome áreas protegidas	0%	Nacional	shapefile	(RUNAP, 2024)
	Titularidad de la tierra (Reservas campesinas)	Se evaluará que el área de referencia no tome reservas campesinas	0%	Nacional	shapefile	(ANT, 2024a)
	Titularidad de la tierra (Resguardos indígenas)	Se evaluará que el área de referencia contenga en su mayor proporción resguardos indígenas, para guardar similitud con el área del proyecto.	± 20%	Nacional	shapefile	(ANT, 2024b)
Factores de paisaje (Biofísico)	Presencia de bosque	Se analizarán los tipos de coberturas de los bosques y el estado de los mismos desde el año fijado como línea base hasta el inicio del proyecto.	±20%	Nacional	raster	(IDEAM, 2021)
	Pendiente	Se analizará que la región de referencia tenga una similitud en pendiente a la del área del proyecto	± 20%	Nacional	raster	(Farr et al., 2007)
Conexiones de transporte e infraestructura humana	Densidad de cuerpos de agua	Análisis de similitud de cuerpos de agua con área de proyecto y análisis de driver de deforestación	± 20%	Municipal	GDB	(IGAC, 2022)
	Densidad de vías	Análisis de similitud de vías con área de proyecto y análisis de driver de deforestación	± 20%	Municipal	GDB	(IGAC, 2022)
	Densidad de	Análisis de	± 20%	Municipal	GDB	(DANE, 2024)

	asentamientos humanos	similitud de asentamientos con área de proyecto y análisis de driver de deforestación				
Políticas y regulaciones	Densidad de humedales	Análisis de similitud de densidad de humedales con área de proyecto	± 20%	Nacional	shapefile	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022)
	Rondas hídricas	Análisis de similitud de rondas hídricas.	± 20%	Municipal	GDB	(IGAC, 2022)

Operaciones vector

Joins

En el análisis general del área de estudio se recopiló información sobre la población de cada uno de los municipios que se encuentran en el ROI. Para realizar un ejercicio de unión (*join*) se utilizaron datos tabulares (en formato csv) y datos geográficos de los municipios. Para ello se creó una llave que permitiera la unión tanto del shapefile de municipios como de los datos tabulares. En el caso particular se utilizó una llave de tipo *string* denominada "MpNombre", referente a los nombres de los municipios, garantizando que cada entidad geográfica estuviera correctamente asociada con su valor de población correspondiente.

Esto se logró utilizando la función `merge()` de Pandas, que permite realizar uniones similares a las de bases de datos. Se empleó el método "left join" (`how="left"`), asegurando que todos los municipios del conjunto de datos geográficos se conservarán, incluso si algunos no tenían datos de población.

Buffers

El método de buffer geoespacial se utilizó para delimitar zonas de exclusión alrededor de los drenajes, garantizando que las rondas hídricas de 30 metros fueron correctamente identificadas y excluidas del análisis posterior. Para ello, se generó un buffer de 30 metros utilizando la función `geometry.buffer(30)`, creando un área perimetral uniforme alrededor de los cuerpos de agua. Esta nueva geometría se almacenó en un GeoDataFrame (`buffer_gdf`), asegurando la compatibilidad con el sistema de referencia espacial original. Posteriormente, se calculó el área total de las rondas hídricas en metros cuadrados y hectáreas, proporcionando una medida cuantitativa del territorio protegido.

Método general para densidades

Para el análisis de densidad, se utilizó una cuadrícula de 10x10 km como unidad espacial de agregación. Este método permitió calcular la densidad de elementos lineales y polígonos, como drenajes y vías, dentro de cada celda. Primero, se generó una malla regular sobre el área de estudio y se realizó una intersección espacial con la capa de elementos lineales o polígonos, manteniendo sólo aquellas porciones que coincidían con la cuadrícula. Luego, se

calculó la longitud total de las vías, el área de los drenajes o el área de humedales dentro de cada celda, permitiendo obtener su densidad en relación con la superficie de la celda (m/km^2 o m^2/km^2 , según el caso).

Método general para clasificación por mayor presencia

El método de clasificación por mayor presencia se utilizó para analizar la distribución espacial de variables categóricas, como las coberturas del suelo y la proximidad a asentamientos humanos. Este procedimiento consistió en calcular el área ocupada por cada categoría dentro del área de estudio, permitiendo determinar la proporción relativa de cada clase en función del total del territorio. Para ello, se procesó una capa geoespacial donde se verificó la estructura de los datos y se homogeneizó la tipificación de las categorías, asegurando su correcta interpretación. Luego, se calculó el área en hectáreas de cada polígono, y se realizó una agregación por categoría, obteniendo la extensión total de cada una y su respectiva participación porcentual dentro del área total.

Método para la definición de proximidad a asentamientos humanos

Para la determinación de la proximidad de los asentamientos humanos se utiliza la metodología propuesta por Molina-González et. al (2018), donde menciona que para los centros poblados se realiza primero un procesamiento de distancia euclidiana y posteriormente una clasificación por intervalos geométricos. Entonces así se logra identificar cual es la categoría que mayor tiene presencia en el área del proyecto.

Métodos de clasificación por Natural breaks

El método de Natural Breaks (Jenks Optimization) se utilizó inicialmente para segmentar variables continuas en clases representativas, optimizando la distribución de los valores dentro de cada categoría. Este método es particularmente útil cuando los datos presentan agrupaciones naturales, ya que minimiza la varianza dentro de cada clase y maximiza la diferencia entre ellas.

Métodos de clasificación por desviación estándar y media

El método de clasificación basado en media y desviación estándar se seleccionó como el enfoque más adecuado para segmentar las densidades en general dentro del área del proyecto y región de referencia. A diferencia de Natural Breaks, que identifica grupos de datos con alta variabilidad interna, este método permite una distribución más homogénea y estandarizada de los valores de densidad, facilitando la comparación con otras variables geoespaciales. Al utilizar la media como referencia central y definir umbrales a partir de la desviación estándar, se logró una clasificación objetiva que refleja la variabilidad natural de la densidad en términos estadísticos.

Operaciones ráster

Reclassify

El método de reclasificación raster se utilizó para reasignar valores de píxeles según rangos específicos, permitiendo la segmentación y análisis de áreas con características similares. Para ello, se cargó el dataset en formato raster mediante la función `rasterio.open()`, asegurando la compatibilidad con su sistema de referencia espacial original. Posteriormente, se aplicó la reclasificación utilizando `numpy.where()`, definiendo reglas específicas para transformar los valores del ráster en nuevas categorías de análisis. Esta operación generó un nuevo conjunto de datos con valores ajustados a los criterios establecidos, almacenado en un archivo raster con `rasterio.write()`. Finalmente, la reclasificación permitió la identificación y delimitación de áreas de interés, optimizando el procesamiento y la extracción de información espacial relevante.

Slope

El método de cálculo de pendiente se utilizó para derivar la inclinación del terreno a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE), permitiendo analizar la topografía del área de estudio. Para ello, se empleó la biblioteca `os` junto con herramientas de procesamiento de datos raster en Python. Primero, se verificó la existencia del archivo de entrada y se definió la ruta de salida para almacenar el resultado. Luego, utilizando `os.system()`, se ejecutó el comando de GDAL (`gdaldem slope`) para calcular la pendiente en grados, asegurando la compatibilidad con el sistema de referencia espacial original. Finalmente, el raster generado fue almacenado en un nuevo archivo, proporcionando información cuantitativa sobre la variabilidad topográfica del territorio analizado.

Transform

El método de transformación raster se utilizó para extraer y analizar las características espaciales del dataset, facilitando la comprensión de su estructura y relación con el sistema de coordenadas. Para ello, se empleó la función `transform` de la biblioteca `rasterio`, la cual permitió obtener la matriz de transformación afín del ráster, describiendo la ubicación, resolución y orientación de los píxeles en el espacio geográfico. Esta información fue utilizada para calcular la extensión espacial del ráster, determinar la resolución de los píxeles y establecer la correspondencia entre las coordenadas del sistema de referencia y los índices de las celdas. Finalmente, la transformación permitió garantizar la correcta georreferenciación del dataset, optimizando su uso en análisis espaciales posteriores.

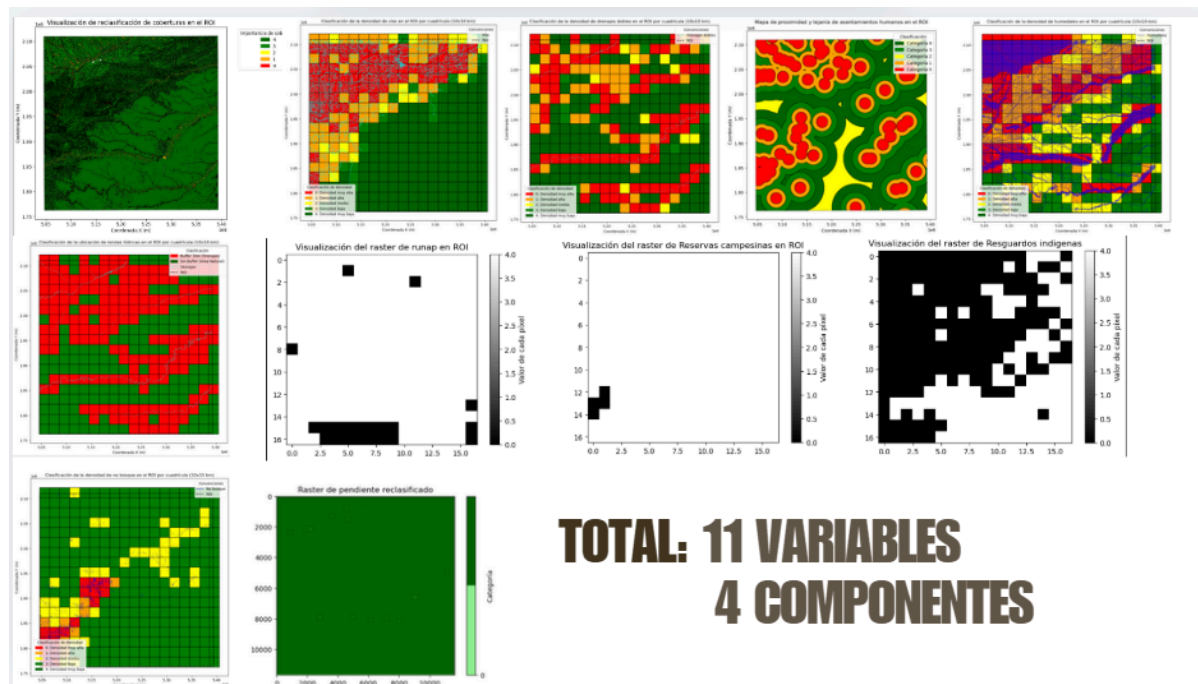
Algebra de mapas

El método de álgebra de mapas se utilizó para combinar múltiples datasets raster mediante operaciones matemáticas, permitiendo la integración y análisis conjunto de diversas variables espaciales. Para ello, se cargaron los rásteres de entrada utilizando `rasterio.open()` y se extrajeron sus valores en forma de matrices con `read()`, asegurando la compatibilidad en términos de resolución y extensión espacial. Posteriormente, se aplicó la operación de suma utilizando `numpy.add()`, permitiendo obtener un raster final que representa la combinación ponderada de todas las variables consideradas en el análisis. Este nuevo raster fue almacenado en un archivo de salida con `rasterio.write()`, garantizando su usabilidad en estudios posteriores. Finalmente, el

álgebra de mapas permitió sintetizar múltiples factores en una única capa espacial, facilitando la interpretación de patrones y tendencias en el territorio analizado.

4. Resultados y discusión

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la suma de las 11 variables (Fig. 2) tenidas en cuenta (Fig. 3):



**TOTAL: 11 VARIABLES
4 COMPONENTES**

Figura 2. Variables tenidas en cuenta para el análisis de la región de referencia.

Como se puede observar en la **Figura 3**, el resultado se obtiene de la suma de todas las variables escaladas (categorías de 0 a 4). Según el histograma (**Figura 4**) obtenido para el resultado se puede observar que no se presenta una distribución normal. Eso pese a que se encontraban variables similares dentro del ROI, como bosque, pendiente densidad de vías, entre otras. Sin embargo, se puede notar que la presencia de asentamientos humanos, densidad de drenajes y resguardos indígenas juegan un papel importante en la definición final de la similitud.

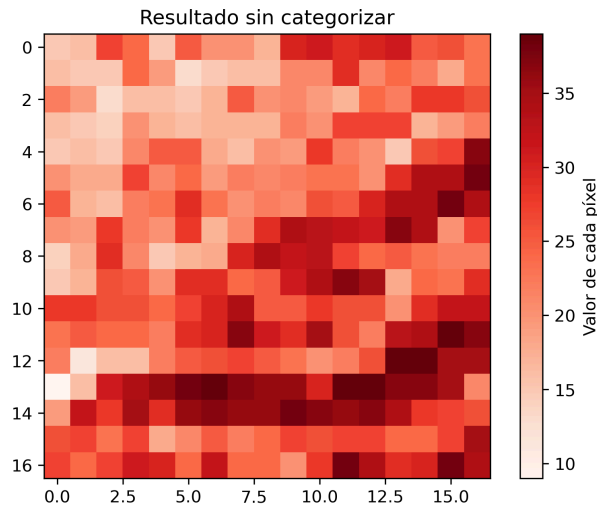


Figura 2. Resultados de la suma de variables a analizar.

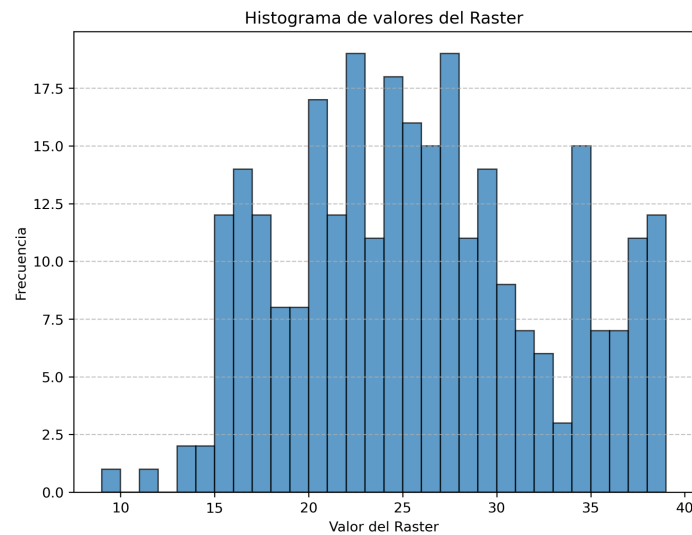


Figura 4. Área de estudio y ROI para delimitación de región de referencia.

Hasta este momento puede resultar complejo identificar una región de referencia. Por ello, se procede nuevamente a categorizar teniendo en cuenta que la mayor suma es 39 y el número mínimo es 9, así se construyen 5 categorías como se puede observar en la **Figura 5a**. Finalmente se seleccionan las 3 categorías con mayor similitud que permitan reflejar la delimitación aproximada de una región de referencia.



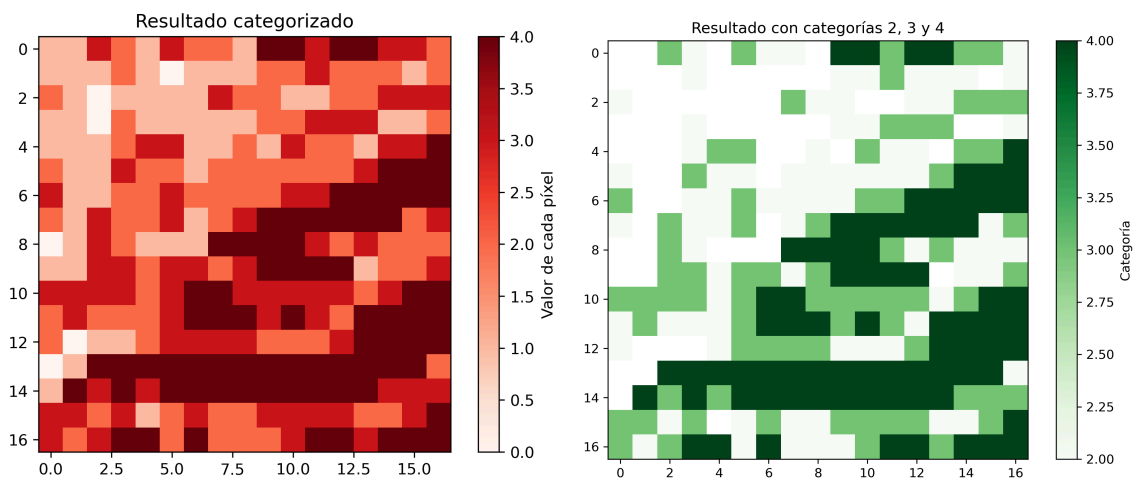


Figura 5. a. Categorización de resultados obtenidos de la suma de las variables. **b.** Resultado seleccionando las 3 categorías con mayor similitud.

5. Conclusiones

El uso de Python para el manejo de datos espaciales, tanto ráster como vectoriales, permite explorar la información de manera más eficiente. Esto facilita la ejecución de geoprocementos con bibliotecas especializadas y posibilita un análisis progresivo de los resultados mientras se ejecuta el código, optimizando así el flujo de trabajo.

En los resultados obtenidos, se observa que el flujo del script culminó con la suma de los rásteres, pero antes de ello se aplicaron herramientas como histogramas y estadísticas utilizando NumPy y Pandas. Esto resalta la importancia de la programación en SIG con Python, ya que permite integrar diversas herramientas que enriquecen el análisis. De este modo, no sólo se abordan aspectos geográficos, sino también otros componentes fundamentales en el análisis de datos.

Adicionalmente, se evidencia que la resolución espacial juega un papel clave en el procesamiento. Se identificó que el uso de resoluciones más altas genera una mayor demanda de recursos computacionales. Sin embargo, la capacidad de programar esta variable de forma independiente permite realizar análisis rápidos con resoluciones elevadas cuando se dispone de los recursos adecuados, o ajustar el tamaño de píxel para optimizar el rendimiento. Esto facilita el desarrollo de herramientas adaptativas según la capacidad de cada equipo, una flexibilidad que en muchos software SIG tradicionales no está disponible, lo que puede generar inconvenientes en máquinas con limitaciones de hardware.

6. Bibliografía

Agencia Nacional de Tierras. (2024a). Zonas de Reserva Campesina Constituida. 30 de diciembre de 2024. Disponible en:

https://data-agenciadetierras.opendata.arcgis.com/datasets/0eca5beb8afe43708622fdd7646cd577_0/explore?location=5.108786%2C-74.538800%2C4.80

Agencia Nacional de Tierras. (2024b). Resguardo Indígena Formalizado. 30 de diciembre de 2024. Disponible en:
https://data-agenciadetierras.opendata.arcgis.com/datasets/8944116ccfd34a7189c4bc44b8e19186_0/explore?location=4.009580%2C-72.738300%2C3.99

Balmford, A., Brancalion, P. H. S., Coomes, D., Filewod, B., Groom, B., Guizar-Coutiño, A., Jones, J. P. G., Keshav, S., Kontoleon, A., Madhavapeddy, A., Malhi, Y., Sills, E. O., Strassburg, B. B. N., Venmans, F., West, T. A. P., Wheeler, C., & Swinfield, T. (2023). Credit credibility threatens forests. *Science*, 380(6644), 466–467. <https://doi.org/10.1126/science.adh3426>

BioCarbon Standard. (2024). DOCUMENTO METODOLÓGICO SECTOR AFOLU. Cuantificación de la Reducción de Emisiones de GEI Proyectos REDD+ BCR0002. Versión 4.0. 27 de mayo de 2024. 58 p. <http://www.biocarbonstandard.com>

Blum, M., & Lövbrand, E. (2019). The return of carbon offsetting? The discursive legitimization of new market arrangements in the Paris climate regime. *Earth System Governance*, 2, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.esg.2019.100028>

Bos, A. B., Duchelle, A. E., Angelsen, A., Avitabile, V., Sy, V. de, Herold, M., Joseph, S., Sassi, C. de, Sills, E. O., Sunderlin, W. D., & Wunder, S. (2017). Comparing methods for assessing the effectiveness of subnational REDD+ initiatives. *Environmental Research Letters*, 12(7), 074007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7032>

Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE. (2024). Código de la división Político Administrativa del país, Actualización a corte 30 diciembre 2024. Disponible en:
https://www.datos.gov.co/Mapas-Nacionales/DIVIPOLA-C-digos-cabeceras-Centros-poblados/xaxy-8nri/about_data

Díaz, J. M. & Ruiz-Nieto, O. (2023). Diagnóstico de proyectos REDD+ en la Amazonia colombiana. Bogotá, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.

Farr, T. G., et al. (2007), The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:[10.1029/2005RG000183](https://doi.org/10.1029/2005RG000183).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. (2020). *From reference levels to results reporting: REDD+ under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. 2020 update. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1635en>

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850–853. doi:10.1126/science.1244693

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2024). Cobertura de la tierra 100K Periodo 2020 límite administrativo. Disponible en: <https://e436.short.gy/CobTie2020>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC. (2022). Base de datos vectorial básica. Colombia. Escala 1:100.000. Año 2022. Disponible en: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-82.66306750976614,-1.472155764324179,-65.83201282227061,11.52294072264956,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=205>

Mbow, C., Skole, D., Dieng, M., Justice, C., Kwesha, D., Mane, L., Gamri, M., Vordzogbe, V. y Virji, H. (2012). Challenges and Prospects for REDD+ in Africa: Desk Review of REDD+ Implementation in Africa. GLP Report No. 5. GLP-IPO, Copenhagen.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). Resolución 1277 de 2014. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1277-de-2014/>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). Humedales de Colombia. Disponible en: <https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351392,-7.914089216137852,-57.41648547852286,17.909127410706898,4686&b=igac&u=0&t=2&servicio=817>

Molina-González, E., Cortés-Gutiérrez, D., Vanegas-Reyes, D. y Ciontescu-Camargo, N. (2018). METODOLOGÍA HOMOLOGADA PARA REALIZAR ESTUDIOS DE FRAGMENTACIÓN, MOTORES DE FRAGMENTACIÓN Y CONECTIVIDAD ECOLÓGICA DEL PAISAJE AMAZÓNICO COLOMBIANO, EN TRES DIFERENTES ÁMBITOS DE ALCANCE GEOGRÁFICO: REGIONAL, SUBREGIONAL Y LOCAL. Proyecto Conservación de Bosques y Sostenibilidad en el corazón de la Amazonía. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá D.C.

Registro Único Nacional de Áreas Protegidas - RUNAP. (2024). Mapa de áreas protegidas de Colombia. Disponible en: <https://runap.parquesnacionales.gov.co/cifras>

Rifai, S. W., West, T. A. P., & Putz, F. E. (2015). "Carbon Cowboys" could inflate REDD+ payments through positive measurement bias. *Carbon Management*, 6(3–4), 151–158. <https://doi.org/10.1080/17583004.2015.1097008>

Thompson, M. C., Baruah, M., & Carr, E. R. (2011). Seeing REDD+ as a project of environmental governance. *Environmental Science & Policy*, 14(2), 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.11.006>

Verra. (2020). VMD0007 Estimation of baseline carbon stock changes and greenhouse gas emissions from unplanned deforestation and unplanned wetland degradation (BL-UP), v3.3. 08 September 2020. 49 p.

<https://verra.org/methodologies/vmd0007-estimation-of-baseline-carbon-stock-changes-and-greenhouse-gas-emissions-from-unplanned-deforestation-bl-up-v3-3/>

West, T. A. P. (2018). National and subnational forest conservation policies: What works, what doesn't. In *Transforming REDD+: Lessons and new directions* Center for International Forestry Research.
https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BAngelsen180109.pdf

West, T. A. P., Börner, J., Sills, E. O., & Kontoleon, A. (2020). Overstated carbon emission reductions from voluntary REDD+ projects in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(39), 24188–24194.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2004334117>

West, T. A. P., Wunder, S., Sills, E. O., Börner, J., Rifai, S. W., Neidermeier, A. N., Frey, G. P., & Kontoleon, A. (2023). Action needed to make carbon offsets from forest conservation work for climate change mitigation. *Science*, 381(6660), 873–877.
<https://doi.org/10.1126/science.ade3535>

Wunder, S., Duchelle, A. E., Sassi, C. de, Sills, E. O., Simonet, G., & Sunderlin, W. D. (2020). REDD+ in Theory and Practice: How Lessons From Local Projects Can Inform Jurisdictional Approaches. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3.
<https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00011>