

## 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-Suárez<sup>1</sup>, Wilmer Alexander Martínez-Martínez<sup>2</sup>

Segunda entrega: Primer *draft* del reporte  
06/02/2025

### 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).

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 geoprocесamientos 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

---

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

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

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.

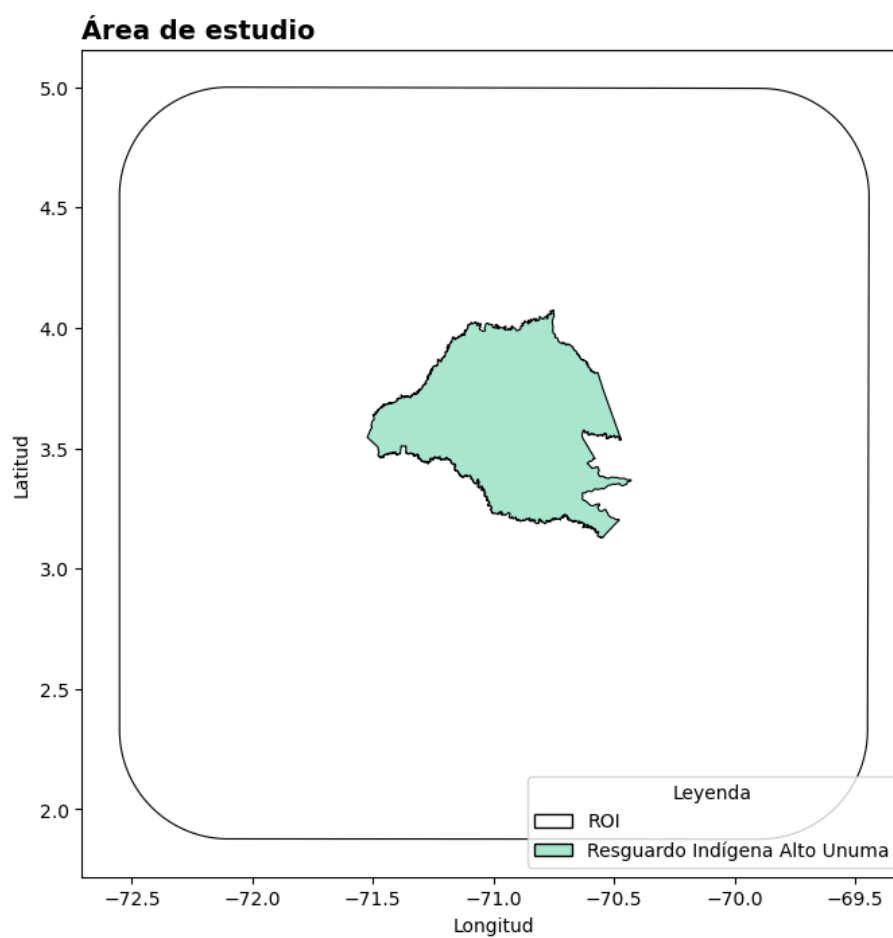
### **Objetivo específico**

1. Implementar algoritmos y bibliotecas especializadas en Python, para el procesamiento, análisis y modelado de datos espaciales relacionados con patrones de deforestación y características del paisaje.
2. Analizar datos geoespaciales, incluyendo datos ráster, variables socioeconómicas, factores de infraestructura, figuras de tenencia de la tierra, entre otros, para identificar patrones históricos de deforestación en la región.
3. Validar la selección de la región de referencia utilizando análisis de similitud basado en comparativas espaciales, asegurando que cumpla con los lineamientos técnicos de estándares internacionales (p. ej., Verra y BioCarbon 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.

La cobertura del suelo es principalmente de bosque denso alto (aproximadamente en un 80%) seguido del bosque de galería y ripario, y el bosque fragmentado (ambos con un 1%). El contexto geomorfológico está conformado en su mayoría por lomerios (principalmente lomas y colinas) en un 80% y vallecitos en un 7%. El clima es principalmente cálido semihúmedo y la precipitación oscila entre 2.500 a 3.000 mm de lluvia anual (CO2CERO S.A.S y Amazon Carbon Bonds S.A.S, 2020).

## Fuentes de datos

### Datos tipo vector

#### 1. Base de datos vectorial básica

La base de datos vectorial básica. Escala 1:100.000 del año 2022 (IGAC, 2022), fue el principal insumo con el que se construyen las variables de densidad de vías y densidad de drenajes dobles, pertenecientes a la categoría de Conexiones de transporte e infraestructura humana en la **Tabla 1**. Estos datos se encuentran en el *Feature Dataset* de Transporte\_Terrestre y Superficies\_Agua, respectivamente.

#### 2. División política de códigos de cabeceras municipales de centros poblados

La Codificación de la División Político Administrativa de Colombia - DIVIPOLA es una nomenclatura estandarizada, diseñada por el DANE para la identificación de entidades territoriales (departamentos, distritos y municipios), áreas no municipalizadas y centros poblados, mediante la asignación de un código numérico único a cada una de estas unidades territoriales (DANE, 2024). Con base en la ubicación de los códigos de los centros poblados, se construye el análisis de asentamientos humanos para el área de estudio y la región de interés. Para ello, se utiliza como base la metodología de Molina-González *et. al.* (2018), quienes mencionan que se hace la inclusión de esta variable (centros poblados) en análisis de fragmentación de paisaje teniendo en cuenta que este tipo de elementos se ha asociado a procesos de transformación del paisaje, al implicar cambios substanciales del uso del suelo. En su caso, utilizan la estimación de los valores de resistencia, en donde se asume una relación lineal de carácter inverso entre la distancia (euclidiana) a los centros y la resistencia al flujo de organismos.

### **3. Humedales de Colombia**

En el presente análisis resulta indispensable 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).

### **4. Resolución 1277 de 2014**

Dentro del análisis existen políticas y regulaciones que se deben tener en cuenta como limitaciones al uso de la tierra y que por tanto, no serían equiparables en una comparación con el área del proyecto. Uno de esos ejemplos es la Reserva Forestal de la Amazonía establecida en la Ley 2da de 1959, en los departamentos de Amazonas, Cauca, Guainía, Putumayo y Vaupés. Por ello, se tiene en cuenta su delimitación adoptada en la Resolución 1277 de 2014 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014) con el objetivo de ser excluidas en la delimitación final de la región de referencia.

### **5. 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).

### **6. Otros aspectos de titularidad**

Como se mencionó anteriormente para el caso de la Reserva de Ley 2da del 59, 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**

### **1. Bosque No Bosque de IDEAM**

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), a través del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono (SMByC), genera insumos basados en imágenes obtenidas a partir del sensor Landsat o la plataforma Landsat para el análisis de la cobertura boscosa del país. Este monitoreo se realiza anualmente y constituye una herramienta clave para evaluar los cambios en la cobertura forestal a nivel nacional (IDEAM, 2021). En el presente estudio se utilizaron imágenes correspondientes a los años 2010 y 2020 con el propósito de analizar la transformación del paisaje en un periodo de diez años. El análisis de cambio de cobertura es fundamental en el marco de REDD+, ya que permite estimar el impacto del proyecto en función de la línea base calculada, así como mejorar la modelación de la región de referencia (GCF Task Force, 2020).

### **2. DEM**

Para la obtención del Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en inglés), se utilizó la plataforma Google Earth Engine (GEE) mediante el Code Editor, seleccionando el insumo de elevación proveniente del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) en su versión CGIAR-CSI SRTM 90m V4 (Jarvis *et al.*, 2008). A través de esta herramienta, se definió una Región de Interés (ROI) acorde a los límites del área de estudio y se procedió a la descarga del DEM desde la plataforma.

El SRTM es una misión conjunta de la NASA, la Agencia Nacional de Inteligencia-Geoespacial de EE.UU. (NGA) y la Agencia Espacial Italiana, cuyo objetivo fue generar un modelo de elevación de alta resolución para gran parte del mundo. Su versión CGIAR-CSI SRTM 90m V4 ha sido procesada para reducir errores y mejorar su calidad, convirtiéndose en una de las fuentes más utilizadas para estudios topográficos y de modelación ambiental (Jarvis *et al.*, 2008).

El uso de este DEM es fundamental en el contexto de proyectos REDD+, ya que variables como la pendiente y la altitud pueden influir significativamente en la modelación de la región de referencia. La pendiente, por ejemplo, puede afectar la accesibilidad y la susceptibilidad a la deforestación, mientras que la altitud influye en la distribución de los ecosistemas y en las condiciones climáticas locales. Estos factores son clave para estimar con mayor precisión las dinámicas de cambio de cobertura y la línea base de emisiones asociadas al proyecto.

## **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.

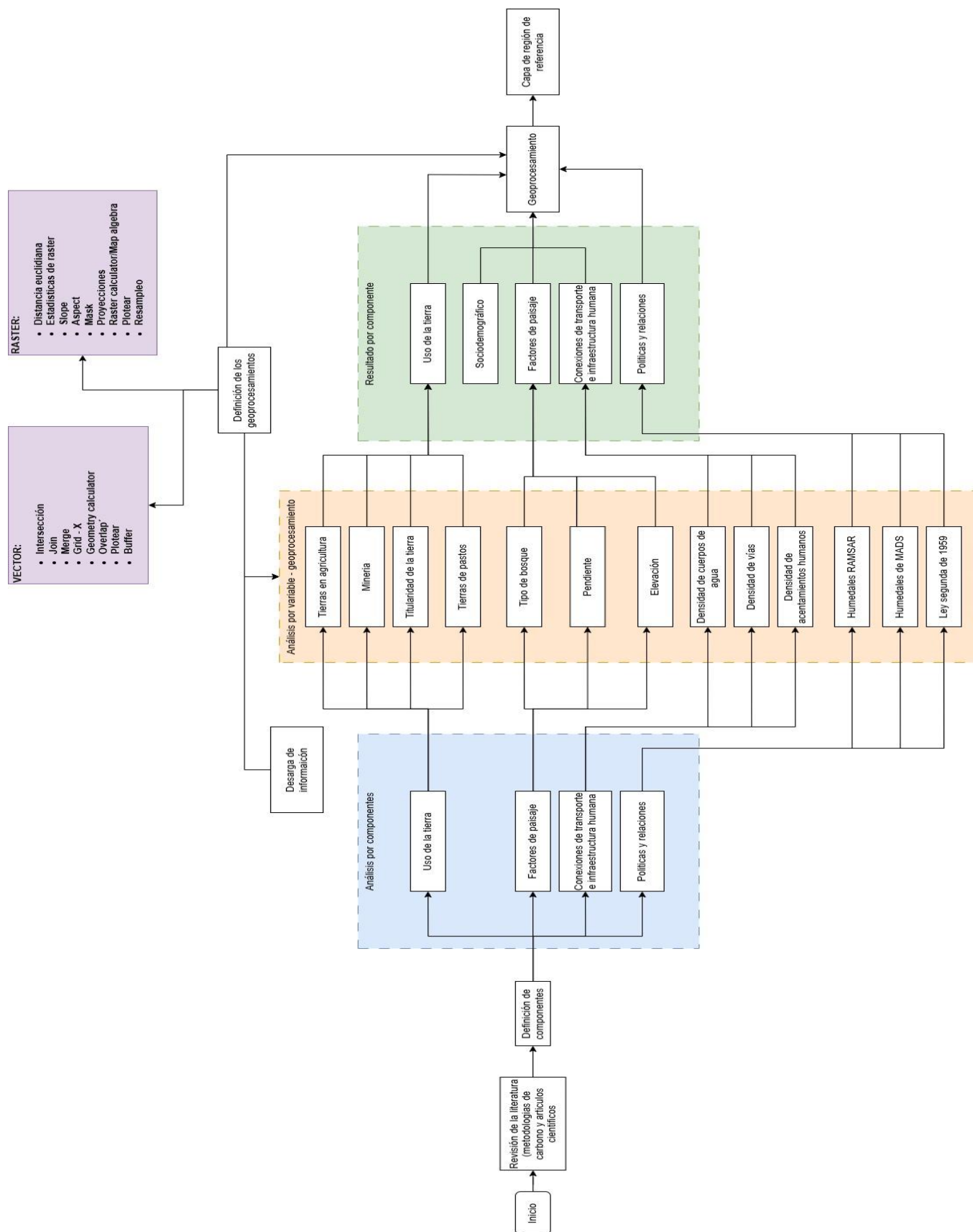
Una vez seleccionadas y agrupadas las variables por componentes (ver **Tabla 1**), estas serán analizadas de manera individual para obtener un resultado específico para cada uno. Posteriormente, se realizarán procesos de geoprocésamiento utilizando herramientas de programación en Python, dado que se requiere la manipulación y análisis de archivos raster y vector. En esta fase, se emplearán diversas librerías de Python especializadas en geoprocésamiento, como GDAL, Rasterio y GeoPandas, para garantizar una correcta delimitación de la región de referencia.

Las relaciones entre variables geoespaciales 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 permanentes. 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas.  Se evaluará la proporción de tierras en las categorías 2.3 Pastos	± 20%	Nacional	shapefile	(Instituto de Hidrología, Meteorología y 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	+20%	Nacional	raster	(IDEAM, 2021)

		bosques y el estado de los mismos desde el año fijado como línea base hasta el inicio del proyecto.				
	Pendiente	Se analizará que la región de referencia tenga una similitud en pendiente a la del área del proyecto	+ 20%	Nacional	raster	(Jarvis <i>et al.</i> , 2008)
	Elevación	Se analizará el que la elevación en la región de referencia tenga una similitud a la del área del proyecto	+ 20%	Nacional	raster	(Jarvis <i>et al.</i> , 2008)
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 asentamientos humanos	Análisis de similitud de asentamientos con área de proyecto y análisis de driver de deforestación	+ 20%	Municipal	GDB	(DANE, 2024)
Políticas y regulaciones	Humedales	Zonas donde no se puede desarrollar el análisis de la región de referencia por su característica	No debe haber	Nacional	shapefile	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022)
	Ley 2 del 59				shapefile	(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)



**Figura 2.** Flujo de trabajo



## 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](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](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](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.

**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>

**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.colombiainmapas.gov.co/?e=-82.66306750976614,-1.472155764324179,-65.83201282227061,11.52294072264956,4686&b=igac&u=0&t=23&servicio=205>

**Jarvis, A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara.** (2008). SRTM con relleno de orificios para el globo terráqueo, versión 4, disponible en la base de datos de SRTM de 90 m de CGIAR-CSI: <https://srtm.csi.cgiar.org>.

**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.colombiainmapas.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](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>

**IDEAM.** (2021). **Monitoreo de la deforestación en Colombia.** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. <https://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/bosques>

**GCF Task Force.** (2020). **Guía para el desarrollo de estrategias REDD+ en jurisdicciones subnacionales.** Governors' Climate and Forests Task Force. <https://www.gcftaskforce.org>