




Generación de conocimiento e investigaciones

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

	<p>Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p>Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--


Introducción

Este documento presenta los lineamientos técnicos y metodológicos para la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) de proyectos REDD+ en Colombia, correspondientes a los periodos periodo 2018-2022 y 2023-2027. Su propósito es orientar a los usuarios en la aplicación de herramientas geoespaciales y procedimientos analíticos necesarios para calcular la línea base de emisiones.

La metodología descrita integra el uso de programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), tales como ArcGIS 10.X, ArcGIS Pro o, en opción de código abierto, QGIS, junto con herramientas de gestión tabular como Microsoft Excel u otras equivalentes. Se detallan los insumos requeridos para el análisis, incluyendo el mapa de zonificación del NREF nacional en formato ráster (.tif) correspondiente al periodo 2018-2022, y la tabla de anidación, que permite asociar valores de referencia a las distintas zonas homogéneas definidas en dicho mapa.

Asimismo, se especifica la necesidad de contar con archivos geoespaciales del proyecto REDD+ a evaluar, en formato ráster (.tif) y vectorial (.shp), que cumplan con los estándares mínimos de calidad y se encuentren en la proyección oficial de Colombia (Origen Nacional - CTM12). Estos elementos constituyen la base para el desarrollo del análisis espacial y el cálculo matemático requerido en la estimación de la reconstrucción Metodológica del NREF para el establecimiento de la Línea Base de Proyecto REDD+ (PMM), asegurando coherencia técnica y espacial en la aplicación de la metodología

Finalmente, se asegura la consistencia, replicabilidad y transparencia en la estimación de la línea base de proyectos REDD+ para los periodos 2018-2022 y

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--


2023-2027, a través de una rutina de control de calidad basada en el uso de los programas SIG ArcGIS y RStudio. Este procedimiento permite verificar que los resultados se ajusten al método establecido, que las operaciones espaciales se hayan ejecutado correctamente y que los valores de salida sean coherentes con los factores de conversión y las zonificaciones definidas para los periodos 2018-2022 y 2023-2027.

Objetivo

Establecer una metodología técnica y geoespacial para la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) de proyectos REDD+ durante los periodos 2018-2022 y 2023-2027, mediante el uso de herramientas SIG y análisis espacial. La metodología contempla la identificación y descripción de los insumos geográficos y tabulares necesarios, la aplicación de técnicas de geoprocésamiento para la delimitación y análisis de las áreas del proyecto, el establecimiento del procedimiento matemático para calcular la línea base de emisiones en cada zona homogénea, con base en la zonificación del NREF nacional y el establecimiento de mecanismos de control de calidad que garanticen la transparencia y replicabilidad del proceso.

Alcance

El alcance de este documento es proporcionar al usuario una guía clara, estructurada y técnicamente fundamentada para la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) en Colombia, durante el periodo 2018–2022 y 2023-2027. Para ello, se construye una metodología técnica y geoespacial que detalla paso a paso el proceso de cálculo, desde la identificación y organización de los insumos necesarios, hasta la aplicación de técnicas de geoprocésamiento y el desarrollo del procedimiento

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

matemático requerido que proporcionara la estimación de emisiones para los proyectos REDD+.

Siglas

- **NREF:** Nivel de referencia de emisiones forestales
- **REDD+:** Reducción de emisiones por deforestación y degradación
- **PMM:** Potencial Máximo de Mitigación
- **t CO₂ eq:** toneladas de dióxido de carbono equivalente en toneladas
- **GEI:** Gases de efecto invernadero

Marco Normativo


La Resolución 1447 de 2018, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), establece los lineamientos técnicos para la implementación de los proyectos REDD+ (Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de los bosques) en Colombia, en concordancia con los compromisos climáticos del país ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

En los artículos 40 y 41 establece los lineamientos del potencial máximo de mitigación de GEI por proyectos REDD+ como objeto de contabilidad nacional y la línea base para proyectos REDD+, correspondientemente.

Descripción metodológica del tema a desarrollar

1. Insumos y estado de los datos para el cruce espacial del área del Proyecto REDD+ con la zonificación del NREF Nacional

A continuación, se presentan los insumos y el estado de los datos geoespaciales requeridos para realizar el cruce espacial del área del proyecto REDD+ con la

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

zonificación del NREF nacional. Estos insumos son fundamentales para garantizar la precisión y coherencia en el análisis espacial.

1.1 Mapa zonificación del NREF nacional periodos 2018-2022 y 2023-2027

El mapa nacional de zonificación es un ráster en formato (.tif) generado con una resolución espacial de 30 × 30 metros por píxel para la zona continental de Colombia. Su función principal es representar la distribución proporcional del aporte de las áreas boscosas al Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) a nivel nacional.

Cada celda del mapa ráster contiene un valor que indica la contribución relativa de la superficie que representa dentro del NREF nacional. Las áreas con mayor riesgo de deforestación reciben una asignación proporcionalmente mayor de emisiones, mientras que, aquellas con menor riesgo reciben una asignación menor, garantizando así una distribución equitativa del presupuesto de emisiones en función de la amenaza de deforestación y las características del territorio (Ilustración 1).

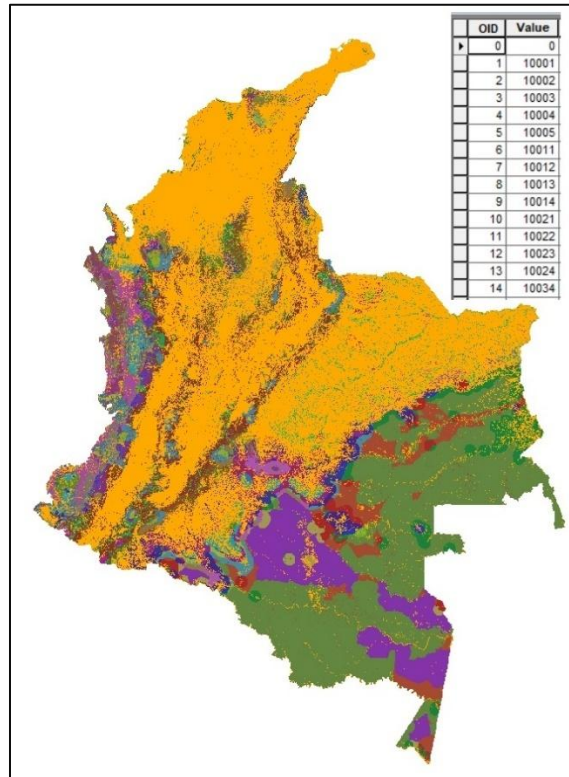


Ilustración 1. Mapa zonificación del NREF nacional con sus respectivas áreas homogéneas.

Fuente: Documento técnico interno del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono: "Procedimiento para la construcción de la zonificación para la anidación de proyectos REDD al NREF nacional" (2024).

La tabla de atributos del mapa ráster contiene áreas homogéneas identificadas mediante un código único de cinco dígitos (**Value** en la tabla de atributos del ráster). Cada dígito dentro del código representa una característica específica del área:

A continuación, se presenta una tabla detallada con la estructura de codificación y las variables correspondientes.

Posición	Variable	Código	Descripción
1	Región	1	Amazonía
	Región	2	Andes
	Región	3	Caribe
	Región	4	Orinoquía
	Región	5	Pacífico



Generación de conocimiento e investigaciones

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

2	Distancia a vías	0	Lejana
	Distancia a vías	1	Cercana
3	Pendiente	0	Baja
	Pendiente	1	Alta
4	Áreas de manejo	0	Otra
	Áreas de manejo	1	PNN
	Áreas de manejo	2	Resguardos
	Áreas de manejo	3	TCCN
5	Deforestación histórica	1	Muy baja
	Deforestación histórica	2	Baja
	Deforestación histórica	3	Media
	Deforestación histórica	4	Alta
	Deforestación histórica	5	Muy alta

Código: **5** - **1** - **1** - **0** - **4**

Posición: 1 2 3 4 5

Tabla 1. Consolida las categorías de zonificación y sus respectivos códigos. Fuente: Documento técnico interno del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono: "Procedimiento para la construcción de la zonificación para la anidación de proyectos REDD al NREF nacional" (2024).

- **Posición 1:** Región geográfica.
- **Posición 2:** Proximidad a vías.
- **Posición 3:** Pendiente del terreno.
- **Posición 4:** Tipo de manejo territorial.
- **Posición 5:** Historial de deforestación.

1.2 Tabla de Anidación



Generación de conocimiento e investigaciones

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular


Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

La tabla de anidación asocia cada código de zonificación con su correspondiente factor de emisión. Debido a que estos valores numéricos son extremadamente pequeños, incorporarlos directamente en un archivo espacial, ya sea vectorial o ráster, no es viable, ya que muchos programas SIG no permiten una representación precisa en punto flotante. Por ello, se almacenan en una tabla externa, en formato Excel, para evitar pérdidas de precisión numérica, optimizar el procesamiento y minimizar errores en el análisis. La relación entre el ráster de zonificación y la tabla de anidación se establece mediante un campo de código común que identifica cada zona (Tabla 2).

No.	Código Zona	Factor de conversión por zona
1	0	0
2	10001	1,81659E-09
3	10002	1,49728E-08
4	10003	1,01287E-07
5	10004	1,70578E-07
6	10005	9,53988E-07
7	10011	5,67297E-10
8	10012	6,75448E-09
9	10013	7,80638E-08
10	10014	2,73203E-08
11	10021	1,30463E-09
12	10022	9,14015E-09
13	10023	1,93701E-08
14	10024	8,30966E-08
15	10034	5,01496E-07
16	10101	2,73004E-09
17	10102	5,29312E-08
18	10103	2,6098E-07
19	10104	1,51566E-07
20	10105	1,354E-06

Tabla 2. Tabla de anidación con sus respectivos códigos de zona y factor de emisión correspondiente periodo 2018-2022. Fuente: Documento técnico interno del Sistema de Monitoreo de Bosques y Carbono: "Procedimiento para la construcción de la zonificación para la anidación de proyectos REDD al NREF nacional" (2024).

1.3. Área del proyecto REDD+

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

El archivo espacial del proyecto debe cumplir con los siguientes criterios:

- Tipo de geometría para el área del proyecto: Polígono.
- Formato: Vector
- Sin errores topológicos: Debe evitar duplicados, solapamientos o huecos.
- Proyección: Origen Nacional CTM12 (Coordenadas de Colombia).
- Representación única: Cada proyecto debe estar representado como un único polígono en la entidad espacial.
- Ausencia de valores nulos o "No data": Todos los pixeles deben contener un valor valido.
- Homogeneidad de valores: Cada píxel debe contener un único valor, de derivado de la rasterización de un solo polígono.

2. Geo procesos para la extracción del mapa nacional de zonificación del NREF en función del área del Proyecto REDD+ y la identificación de áreas homogéneas en ArcGIS.

El primer paso consiste en delimitar el ráster de zonificación a la extensión del proyecto REDD+. Este proceso se efectúa extrayendo únicamente la porción del ráster que coincide con el área definida por la máscara (es decir, el ráster que delimita el proyecto REDD+ de interés). Para garantizar la integridad del resultado, es fundamental configurar adecuadamente los parámetros del entorno, tales como el tamaño del píxel y el enmascaramiento (véase Ilustración 3). A continuación, se presenta el proceso para recortar el ráster de zonificación en función del área del proyecto REDD+ utilizando el software ArcGIS:

a. Carga de Datos:

- Agregar el ráster de zonificación nacional



- Importar el shapefile del proyecto.

b. Ejecución del Geo proceso en ArcGIS:

$$Zproj = ExtractByMask (Znacional, SHPproyecto REDD+)$$

Ecuación 1. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Zproj = Ráster extraído para el área del proyecto.

Znacional = Ráster de zonificación original.

SHP proyecto REDD + = Geometría del proyecto que define la máscara de extracción.

Posteriormente se modifica el entorno con los siguientes parámetros:

Cell Size = Resolución del ráster de zonificación (30m x 30m).

Snap Ráster = Ráster de zonificación nacional (para alineación de los pixeles)

Mask = Shapefile del proyecto.

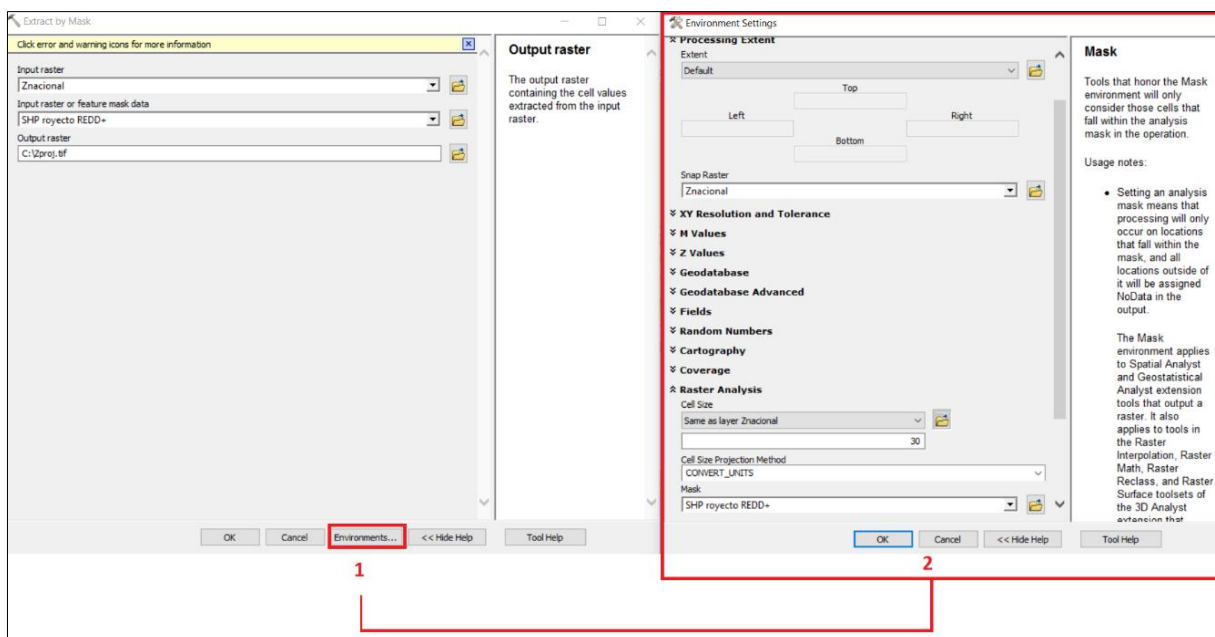


Ilustración 2. Definición de parámetros para realizar una extracción de un archivo ráster en función de otro archivo ráster. Fuente: Elaboración propia.

El resultado es un ráster (**Zprj**) recortado que conserva los valores originales de la zonificación dentro de los límites del Proyecto REDD+. Esta capa se utilizará en los siguientes pasos para la asociación de factores de emisión y la estimación de línea base (Figura 3).

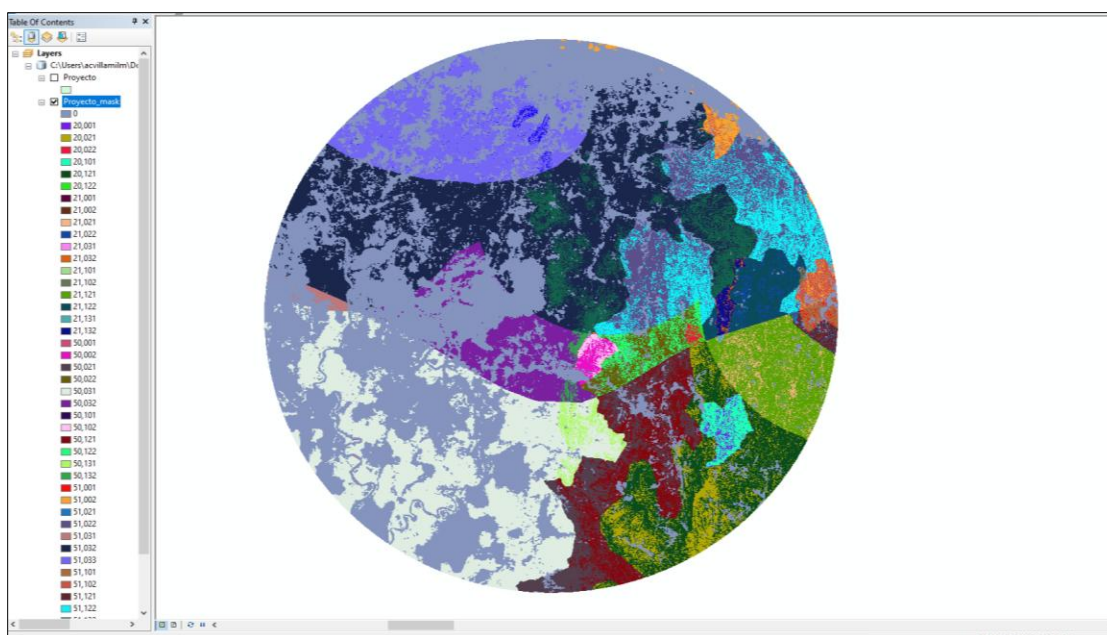



Ilustración 3. Mapa ráster resultado del geoprocesamiento de extracción con las categorías orinales de la zonificación nacional del NREF. Fuente: Elaboración propia.

Este archivo ráster contiene en su tabla de atributos tres columnas principales:

- **OBJECTID:** Identificador único generado por defecto en todos los archivos ráster, asignado automáticamente a cada zona.
- **VALUE:** Código que identifica cada área homogénea dentro del ráster.
- **COUNT:** Número de píxeles asociados a cada categoría.

Para calcular la superficie de cada área homogénea en hectáreas, es necesario crear una nueva columna denominada **Área_ha**, de tipo double precisión (Double), permitiendo almacenar los valores con decimales.

	<p>Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p>Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

El cálculo de la superficie en hectáreas se basa en la cantidad de píxeles por categoría (**COUNT**) y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Area_{ha} = COUNT_i \times F$$

Ecuación 2. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$Area_{ha}$ = Área en hectáreas de la categoría.

$COUNT_i$ = Número de píxeles de la categoría.

F = Factor de conversión a hectáreas, que en este caso corresponde a la resolución espacial del ráster del mapa de zonificación (30 m × 30 m).

La Ilustración 4 muestra que, hasta este punto, se cuenta con un archivo ráster en el que cada categoría está diferenciada mediante un código de cinco dígitos y cuenta con su respectiva superficie en hectáreas.

La sumatoria de estas superficies debería aproximarse al área del polígono vectorial del proyecto REDD+ que sirvió como insumo. Se dice que es una aproximación debido a que, al convertir un archivo vectorial a formato ráster, la geometría del polígono original se representa mediante píxeles, introduciendo cierto margen de error. Este margen de error se debe a que los bordes curvos del polígono no se alinean perfectamente con la cuadrícula de píxeles, lo que puede generar la adición o eliminación de pequeñas áreas. Como consecuencia, el área del polígono en formato vectorial no coincidirá exactamente con la del archivo rasterizado.

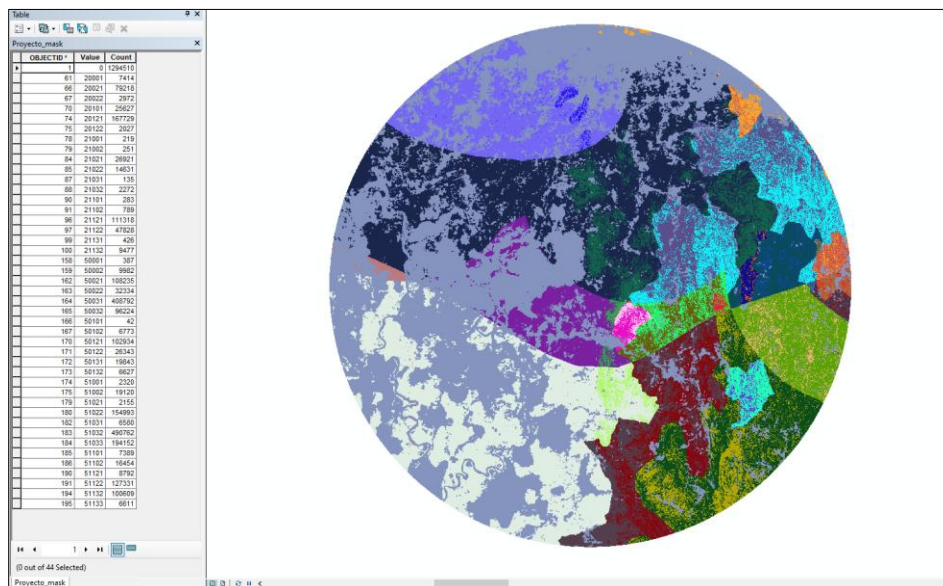


Ilustración 4. Mapa ráster del área del proyecto REDD+ con sus respectivas columnas que incluyen la cantidad de hectáreas por zona homogénea. Fuente: Elaboración propia.

Si bien existen varias alternativas para extraer el mapa de zonificación en función del área del proyecto REDD+, ArcGIS ofrece un método adicional que permite realizar este cálculo de manera eficiente. Este método emplea la herramienta **Spatial Analyst Tool** → **Zonal** → **Tabúlate Área**, la cual calcula el área de intersección entre dos capas (en este caso, un vector y un ráster). Como resultado, se genera una tabla que resume la cantidad de cada categoría del ráster dentro del área del proyecto en metros cuadrados, por lo que es necesario transformarlos en unidades de hectáreas.

En la Ilustración 5 se muestran los parámetros de entrada y salida requeridos para ejecutar este proceso y su respectivo resultado.

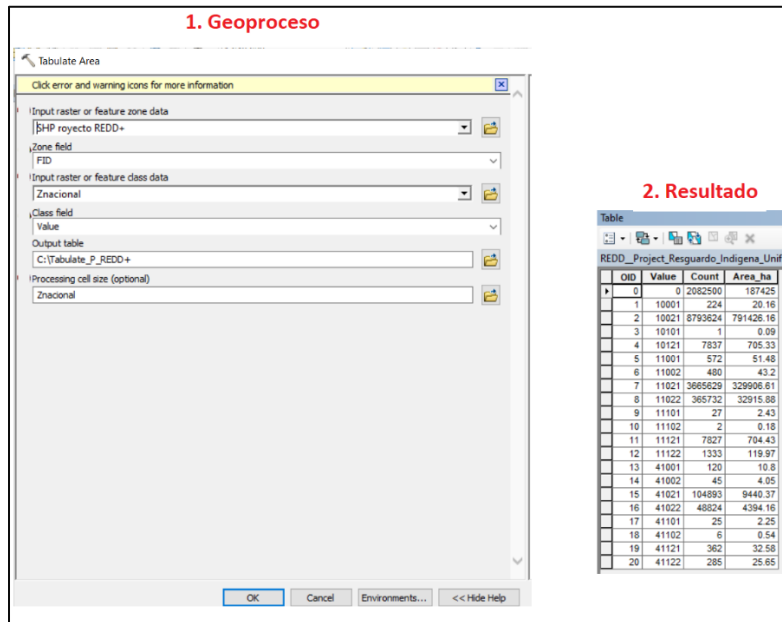



Ilustración 5. Parámetros de entrada requeridos para realizar una tabulación de área. Fuente: Elaboración propia.

Aunque este método es más sencillo en comparación con otros, es importante tener en cuenta que su resultado es una tabla y no una capa espacial. Para garantizar la trazabilidad del proceso y su integración en futuros análisis espaciales, lo ideal es transformar estos resultados en una capa geográfica.

2.1 Proceso de Identificación de los factores de conversión de las categorías de zonificación del NREF dentro del área del proyecto REDD+

Una vez obtenido el ráster de zonificación delimitado al área del proyecto, se procede a asignar el factor de emisión a cada categoría y calcular la proporción de emisión respecto al área de cada categoría. Este paso es fundamental, ya que el factor de emisión representa el porcentaje de emisiones nacionales correspondiente a cada unidad del NREF en una zona específica.

2.2 Exportación de datos a formato Excel

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

Es necesario exportar la tabla de atributos del ráster recortado a un archivo de Excel. Para ello, se puede utilizar la herramienta **Table To Excel**, disponible en ArcGIS dentro del conjunto de herramientas **Conversion Tools**.


3. Geo proceso necesario para la extracción de mapa nacional de zonificación nacional en función del área del proyecto REDD+ la identificación de áreas homogéneas en QGIS.

Al igual que en el proceso anterior, el primer paso consiste en delimitar el ráster de zonificación a la extensión del proyecto REDD+. Este proceso se realiza extrayendo únicamente la porción del ráster que coincide con el área definida por la máscara (en este caso, el ráster que delimita el proyecto REDD+ de interés). Para garantizar la integridad del resultado, es fundamental configurar adecuadamente los parámetros del entorno. Como tamaño del píxel y enmascaramiento.

A continuación, se presenta un ejemplo del proceso para recortar el ráster de zonificación en función del área del proyecto REDD+, aclarando que este geoproceto puede realizarse en cualquier plataforma SIG utilizando herramientas equivalentes. Es fundamental que, independientemente del software o herramienta que se emplee, el ráster resultante conserve la resolución original (30 m × 30 m) y mantenga íntegros los códigos del mapa de zonificación. Cabe destacar que, este proceso es replicable tanto en programas de código abierto como en software propietario. Herramientas como QGIS, GRASS GIS, SAGA GIS, entre otras, ofrecen funcionalidades equivalentes que permiten realizar el mismo procedimiento, ya que cada una de ellas dispone de opciones y parámetros configurables.

a. Carga de datos

- Se ingresa la capa ráster de zonificación nacional (Zon_Anida_CTM12.tif).
- Se importa la capa que actuará como máscara, la cual delimita el área del proyecto REDD+ (formato ráster).

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

b. Ejecución del proceso de corte

Se emplea una herramienta de recorte que permita extraer únicamente la porción del ráster que coincide con la extensión definida por la máscara. En esta herramienta se debe definir parámetros del entorno como son:

- Capa de Entrada: Ráster de zonificación nacional.
- Capa de Máscara: Entidad que delimita el proyecto REDD+.
- Mantener Resolución Original: Es obligatorio conservar la resolución del ráster original (30 m × 30 m) y, por consiguiente, preservar los códigos originales del mapa de zonificación.
- Ruta de Salida: Definir el directorio donde se almacenará el ráster recortado en formato (.tiff).

Este procedimiento se puede resumir mediante la siguiente expresión conceptual:

$$Raster_Proyecto = Recorte (Raster_Zonificacion, Capa_Máscara)$$

Ecuación 3. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Raster_Proyecto = Ráster resultante correspondiente al área del proyecto REDD+.

Raster_Zonificacion = Ráster original de zonificación.

Capa_Máscara = Entidad que define la extensión del proyecto.

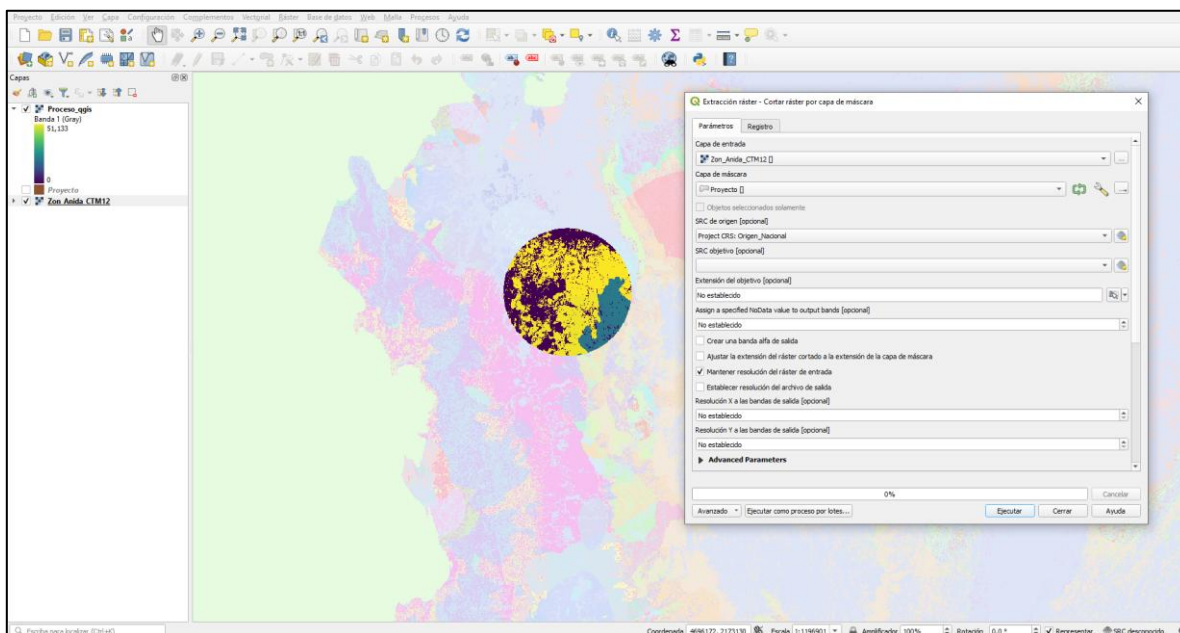



Ilustración 6. Definición de parámetros para realizar una extracción de un archivo ráster en función de otro archivo ráster. Fuente: Elaboración propia.

La Ilustración 6 ilustra uno de los múltiples procedimientos que ofrece el software QGIS para recortar un archivo ráster y ajustar los parámetros.

El resultado es un ráster (**Raster_Proyecto.tif**) recortado que conserva los valores de zonificación originales dentro de los límites del proyecto. Esta capa se utilizará en los siguientes pasos para la asociación de factores de emisión y la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyecto REDD+ (PMM) (Figura 3).

Este archivo ráster contiene en su tabla de atributos tres columnas principales:

- **OBJECTID:** Identificador único generado por defecto en todos los archivos ráster, asignado automáticamente a cada zona.
- **VALUE:** Código que identifica cada área homogénea dentro del ráster.
- **COUNT:** Número de píxeles asociados a cada categoría.

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

Para calcular la superficie de cada área homogénea en hectáreas, es necesario crear una nueva columna denominada **Area_ha**, de tipo double precisión (Double), permitiendo almacenar los valores con decimales.

El cálculo de la superficie en hectáreas se basa en la cantidad de píxeles por categoría (**COUNT**) y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$Area_{ha} = COUNT_i \times F$$

Ecuación 4. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$Area_{ha}$ = Área en hectáreas de la categoría.

$COUNT_i$ = Número de píxeles de la categoría.

F = Factor de conversión a hectáreas, que en este caso corresponde a la resolución espacial del ráster del mapa de zonificación (30 m × 30 m).

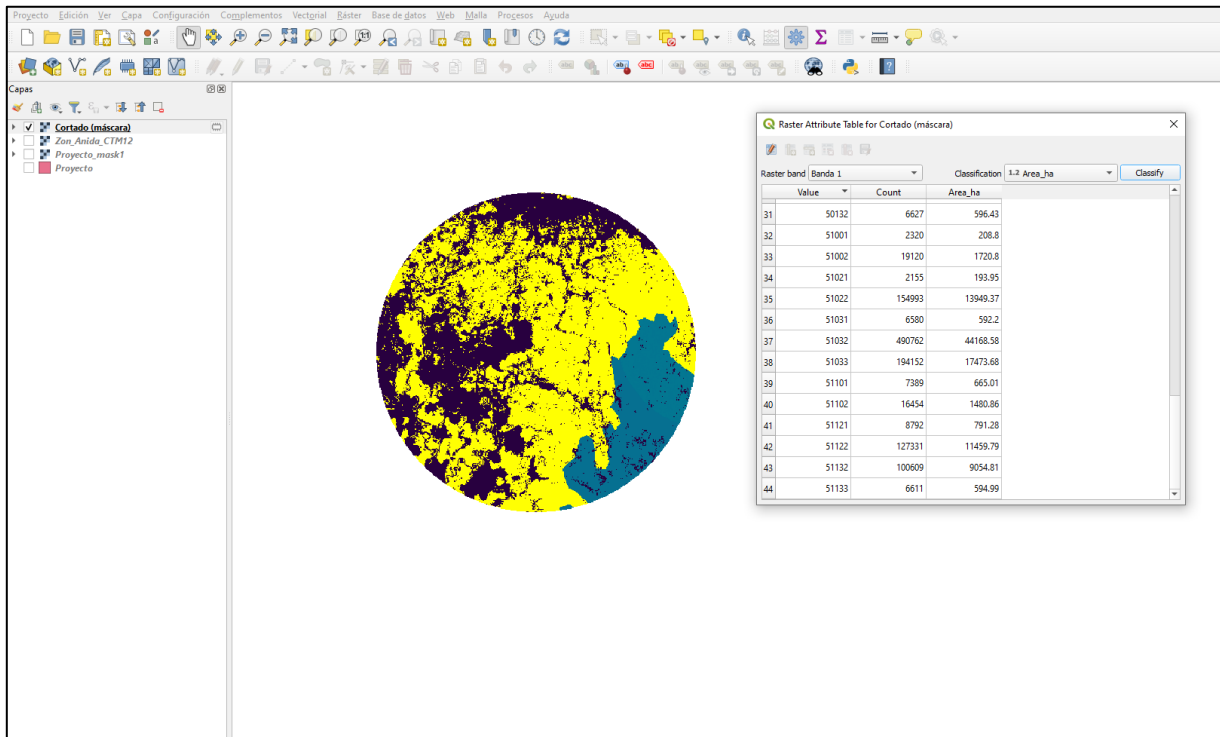



Ilustración 7. Capa ráster correspondiente al área del proyecto REDD con sus respectivos atributos necesarios para la vinculación con la tabla de anidación. Fuente: Elaboración propia.

3.1 Asignación del factor de emisión a las categorías de la zonificación

Una vez obtenido el ráster de zonificación delimitado al área del proyecto, se procede a asignar el factor de emisión a cada categoría y calcular la proporción de emisión respecto al área de cada categoría. Este paso es fundamental, ya que el factor de emisión representa el porcentaje de emisiones nacionales correspondiente a cada unidad del NREF en una zona específica.

3.2 Exportación de datos a formato Excel

Se debe exportar la tabla de atributos del ráster recortado a un archivo Excel. Este proceso puede realizarse de diversas maneras; la opción más común es exportar la tabla de atributos en formato DBF y, a continuación, abrirla en Excel seleccionando, en las opciones de importación, el tipo de archivo "DBase". No

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

obstante, los programas SIG ofrecen múltiples alternativas para exportar estos datos.

4. Procesamiento en Excel

Posteriormente, en cualquiera de los dos casos, se agregará una pestaña adicional en el archivo Excel que contenga la Tabla de Anidación, lo que facilitará la vinculación entre los códigos de zonificación presentes en ambos conjuntos de datos. Con esta organización, se optimiza la integración de la información necesaria para el análisis, garantizando que los factores de emisión y las áreas homogéneas se asocien correctamente mediante la clave primaria correspondiente.

La tabla exportada, que incluye atributos como **Value** (código de la categoría de zonificación) y **Área_ha** (extensión en hectáreas de cada categoría dentro del área del proyecto), se complementará con una nueva columna denominada **F_Conversión** (factor de conversión por zona). Los valores para esta columna se importarán desde la primera pestaña de la Tabla de Anidación, la cual contiene los factores de emisión correspondientes a cada área homogénea.

Para establecer la vinculación entre ambas pestañas, se utilizará la clave primaria correspondiente al campo Value (o código de zona) presente en la Tabla de Anidación. En Excel, dicha vinculación se realiza mediante la función **BUSCARV** de la siguiente forma:

$$= \text{BUSCARV}(\text{Value}; 'Tabla_Anidacion'!A:B; 2; \text{FALSO})$$

Ecuación 5. Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, se integran los factores de emisión al conjunto de datos provenientes del ráster recortado (Tabla 3).

Value	Area_ha	F_Conversion x Area_ha
0	116505.9	0



Generación de conocimiento e investigaciones


Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

Value	Area_ha	F_Conversion x Area_ha
20001	667.26	2.51225E-07
20021	7129.62	2.28215E-05
20022	267.48	1.22472E-06
20101	2306.43	1.10306E-06
20121	15095.61	4.91597E-05
20122	182.43	1.9969E-07
21001	19.71	1.874E-07
21002	22.59	1.23024E-06
21021	2422.89	1.42853E-05
21022	1316.79	2.55799E-05
21031	12.15	8.65545E-08
21032	204.48	5.42375E-06
21101	25.47	2.02786E-07
21102	71.01	2.19812E-06
21121	10018.62	3.55582E-05
21122	4304.52	4.01875E-05
21131	38.34	1.25112E-07
21132	852.93	1.20391E-05
50001	34.83	1.72211E-07
50002	898.38	2.91368E-05
50021	9741.15	3.23806E-05
50022	2910.06	0.000127978
50031	36791.28	0.000153263

Tabla 3. Tabla de atributos del archivo ráster con factores de emisión vinculados periodo 2018-2022. Fuente: Fuente: Elaboración propia.

Es importante aclarar que, aunque aquí se utiliza Excel por ser una de las herramientas más comunes, también pueden emplearse otras herramientas de gestión tabular, siempre y cuando permitan realizar el mismo proceso sin pérdida de datos.

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

4.1 Estimación de la proporción del proyecto frente al NREF

Para cada categoría dentro del área del proyecto, se calcula la proporción de emisión generando el producto entre el factor de conversión por la extensión en hectáreas:

$$P_i = F_i \times A_i$$

Ecuación 6 Fuente: Elaboración propia.

Donde:

P_i = Proporción de emisión de la categoría i .

A_i = Área en hectáreas de la categoría i .

Este valor indica la proporción de emisiones incluidas en el nivel de referencia de emisiones forestales. Su distribución abarca todas las áreas boscosas del país, asignando un mayor o menor peso según un evento de deforestación, determinado por las variables consideradas en la zonificación nacional.

4.2 Estimación de la línea base del Proyecto REDD+


Hasta este punto se han obtenido las proporciones de emisión para cada área homogénea dentro del proyecto. Para estimar la línea base del Proyecto REDD+, es necesario sumar todas estas proporciones, obteniendo una proporción total que, al multiplicarse por los valores anuales del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (NREF) (Tabla 2)ⁱ. En términos matemáticos:

$$\text{Línea base} = P_{\text{proyecto}} * NREF_t$$

Ecuación 7. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

Línea base = Línea base (toneladas de CO₂eq).

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

$P_{proyecto}$ = Suma de las proporciones.


$NREF_t$ = Nivel de Referencia de Emisiones Forestales nacional en un año específico.

Año	NREF Nacional (t CO2 eq)
2018	120,770,431.44
2019	127,011,963.18
2020	132,520,275.34
2021	137,130,393.50
2022	140,732,334.73
2023	113,366.329
2024	116,962.100
2025	120,322.455
2026	123,414.100
2027	126,208.916

Tabla 4. Estimación del NREF a nivel nacional en Colombia periodos 2018-2022 y 2023-2027.
Fuente: Elaboración propia.

El resultado (Tabla 5) de esta operación arroja las toneladas de dióxido de carbono equivalente en toneladas (t CO₂ eq) por año para el periodo del 2018-2022.

Año	NREF Nacional (t CO2 eq)	Potencial Máximo de Mitigación (t CO2 eq)
2018	120,770,431.44	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2019	127,011,963.18	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2020	132,520,275.34	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2021	137,130,393.50	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2022	140,732,334.73	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

Año	NREF Nacional (t CO2 eq)	Potencial Máximo de Mitigación (t CO2 eq)
2023	113,366.329	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2024	116,962.100	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2025	120,322.455	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2026	123,414.100	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)
2027	126,208.916	Línea base proyecto REDD+ (tCO2 e)

Tabla 5. Estimación del PMM para los periodos 2018-2022 2023-2027. Fuente: Elaboración propia.

5. Control de Calidad

Este proceso, además de ser un funcionar como control de calidad tiene el objetivo de automatizar el proceso de la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) verificando que los resultados se ajusten al método establecido, que las operaciones espaciales se hayan ejecutado correctamente y que los valores de salida sean coherentes con los factores de conversión y las zonificaciones definidas para los periodos 2018-2022 o 2023-2027.

5.1 Creación de repositorios

Antes de ejecutar el procedimiento técnico, es necesario organizar las carpetas de trabajo siguiendo una estructura específica. Esto permite replicar el proceso de forma exacta o, en caso de preferirse, adaptar las rutas en los scripts utilizados.

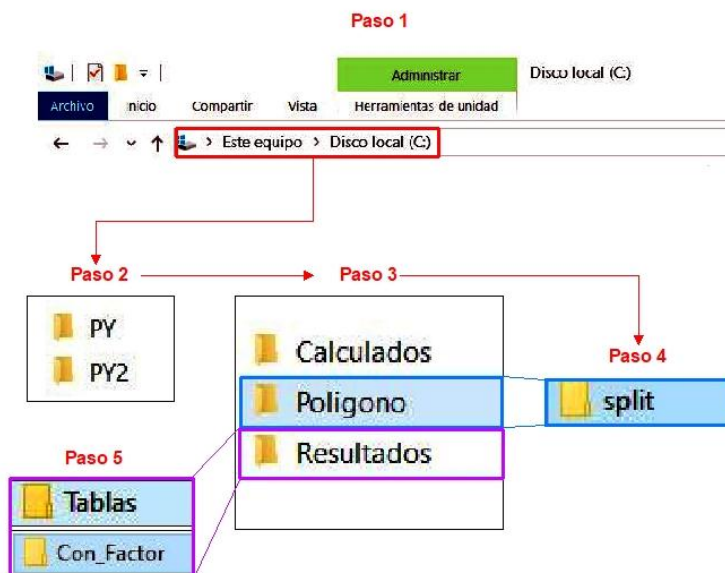


Ilustración 8. Estructura sugerida de carpetas para el control de calidad de los periodos 2018-2022 y 2023-2027. Fuente: Elaboración propia.


La ilustración 7 muestra el orden de creación de los repositorios. Dentro del disco local C:\, deben crearse dos carpetas principales:

- PY para el control de calidad correspondiente al periodo 2018-2022.
- PY2 para el periodo 2023-2027.

Cada una de estas carpetas debe contener tres subcarpetas con los siguientes nombres:

- Calculados
- Polígono
- Resultados

Dentro de la subcarpeta Polígono, debe crearse una carpeta adicional llamada Split, que será el único directorio donde se alojarán archivos antes de ejecutar

	<p>Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p>Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

los scripts. En esta carpeta se deben ubicar los shapefiles correspondientes a las iniciativas REDD+ a las que se les aplicará la estimación.

Finalmente, al interior de la subcarpeta Resultados, deben crearse dos subcarpetas adicionales llamadas: Tablas y Con_Factor, en estas carpetas se alojarán las tablas de Excel con los valores de las áreas homogéneas de la zonificación y, áreas y sus respectivos factores de emisión.

Nota: La estructura de carpetas descrita es una recomendación diseñada para facilitar la ejecución del proceso y asegurar su replicabilidad. No obstante, su creación no es obligatoria. La persona encargada del control de calidad puede definir libremente las ubicaciones y nombres de las carpetas, siempre que actualice las rutas correspondientes en los scripts de ArcGIS y RStudio utilizados.

5.2 Insumos necesarios

Para desarrollar el procedimiento técnico de control de calidad, es indispensable contar con los siguientes insumos. Se recomienda que las capas de zonificación de ambos periodos estén almacenadas en el disco local C:\, dentro de una carpeta denominada Zonificación. De esta manera, se facilita la estandarización de rutas y la ejecución automatizada de los scripts.


Los insumos requeridos son los siguientes:

- Capas ráster de zonificación

Archivos ráster que representan la zonificación para los periodos 2018–2022 y 2023–2027. Estas capas deben estar previamente procesadas y almacenadas en la carpeta C:\Zonificacion.

- Entidades poligonales de las iniciativas REDD+

Archivos en formato shapefile (.shp) que contienen los polígonos de las iniciativas REDD+. Estos deben estar ubicados en la subcarpeta Split dentro del directorio correspondiente (PY o PY2), según el periodo de análisis.

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

- Tablas de anidación con factores de conversión

Archivos en formato Excel o Tablas de anidación para los periodos denominados 2018 -2022.xlsx y 2023-2027.xlsx, que contienen los factores de conversión por zona requeridos para la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM). Estas tablas se utilizan en el procesamiento tabular en RStudio.

- Scripts de procesamiento en ArcGIS y RStudio

Códigos en Python (ArcPy) para la extracción espacial y cálculo de áreas por zona, así como scripts en R para la lectura de tablas, cálculo de proporciones y reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) por año. Estos scripts conforman el núcleo del procedimiento de control de calidad automatizado.

5.3 Programas necesarios

Para ejecutar el proceso de control de calidad, es indispensable contar con los siguientes programas y herramientas:


- ✓ ArcGIS Desktop 10.8 o ArcGIS Pro

Debe estar instalado con la extensión Spatial Analyst habilitada, ya que esta herramienta es requerida para realizar operaciones de extracción espacial y cálculo de áreas en las capas rásteres.

- ✓ RStudio

Se requiere tener instalado RStudio, junto con los siguientes paquetes de R, que permiten el manejo de datos tabulares, limpieza de nombres de columnas, y exportación de resultados:

- foreign
- writexl

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

- readxl
- dplyr
- janitor

Estos paquetes deben estar correctamente instalados y cargados antes de ejecutar los scripts de control de calidad.

5.4 Corte espacial del ráster de zonificación por iniciativa REDD+ (ArcGIS 10.8 y ArcGIS Pro)

El siguiente código tiene como objetivo automatizar el proceso de extracción por máscara (clip) de un ráster de zonificación utilizando múltiples shapefiles de polígonos correspondientes a iniciativas REDD+. Para cada polígono, el código recorta el ráster según su geometría y guarda los resultados en una carpeta denominada "Resultados". Como parte del proceso, también se realiza una limpieza en los nombres de archivo, eliminando caracteres especiales que puedan generar incompatibilidades y reemplazándolos por guiones bajos. Luego de recortar el ráster, se construye su tabla de atributos (en caso de que no exista) y se agrega un campo denominado "Area_ha", en el cual se calcula el área en hectáreas por clase ráster, multiplicando el número de celdas por el área de cada celda.

A continuación, se muestra dicho código para ambas versiones de ArcGIS.

- ArcGIS 10.8

```
import arcpy
import os
from arcpy.sa import *

polygon_folder = r"C:\PY\Poligono\split"
raster_input = r"C:\Zonificacion\Zon_2018-2022.tif"
output_folder = r"C:\PY\Resultados

if not os.path.exists(output_folder):
```



```
os.makedirs(output_folder)

arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

arcpy.env.workspace = polygon_folder
shapefiles = arcpy.ListFeatureClasses()

def clean_filename(name):
    name = name.decode('utf-8') if isinstance(name, str) else name
    name = name.encode('ascii', 'ignore').decode('ascii')
    name = name.replace(" ", "_")
    return name

for shp in shapefiles:
    shp_path = os.path.join(polygon_folder, shp)
    name = os.path.splitext(shp)[0]
    name = clean_filename(name)
    output_raster = os.path.join(output_folder, "{}_clip.tif".format(name))

    extracted_raster = ExtractByMask(raster_input, shp_path)
    extracted_raster.save(output_raster)

    arcpy.BuildRasterAttributeTable_management(output_raster,
"OVERWRITE")
    arcpy.AddField_management(output_raster, "Area_ha", "DOUBLE")
    cell_size = float(arcpy.GetRasterProperties_management(output_raster,
"CELLSIZEX").getOutput(0))
    area_factor = (cell_size ** 2) / 10000
    arcpy.CalculateField_management(output_raster, "Area_ha", "!COUNT! *
{}".format(area_factor), "PYTHON")

    print("Raster guardado: {} con cálculo de área".format(output_raster))
print("Proceso completado.")
```

- ArcGIS Pro



```
import arcpy
import os
from arcpy.sa import *

polygon_folder = r"C:\PY\Poligono\split"
raster_input = r"C:\Zonificacion\Zon_2018-2022.tif"
output_folder = r"C:\PY\Resultados"

if not os.path.exists(output_folder):
    os.makedirs(output_folder)

arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

arcpy.env.workspace = polygon_folder
shapefiles = arcpy.ListFeatureClasses()


def clean_filename(name):
    name = name.encode('ascii', 'ignore').decode('ascii')
    name = name.replace(" ", "_")
    return name

for shp in shapefiles:
    shp_path = os.path.join(polygon_folder, shp)
    name = os.path.splitext(shp)[0]
    name = clean_filename(name)
    output_raster = os.path.join(output_folder, f"{name}_clip.tif")

    extracted_raster = ExtractByMask(raster_input, shp_path)
    extracted_raster.save(output_raster)

    arcpy.management.BuildRasterAttributeTable(output_raster,
"OVERWRITE")
    arcpy.management.AddField(output_raster, "Area_ha", "DOUBLE")

    cell_size = float(arcpy.management.GetRasterProperties(output_raster,
"CELLSIZEX").getOutput(0))
    area_factor = (cell_size ** 2) / 10000
    arcpy.management.CalculateField(output_raster, "Area_ha", f"!COUNT! *
{area_factor}", "PYTHON3")
```

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

```
print(f"Raster guardado: {output_raster} con cálculo de área")
print("Proceso completado.")
```


5.5 Validación tabular, cálculo de proporciones NREF y Reconstrucción Metodológica del NREF para el establecimiento de la Línea Base de Proyecto REDD+ (PMM) por año (RStudio)

Este código en RStudio tiene como objetivo automatizar el procesamiento de tablas de atributos generadas a partir de capas ráster recortadas, calcular la línea base de misiones para diferentes años y compilar los resultados en archivos Excel organizados.

Primero, el script verifica e instala automáticamente los paquetes necesarios (`foreign`, `writexl`, `readxl`, `dplyr` y `janitor`) y luego los carga. A continuación, define tres rutas: la carpeta de entrada donde se encuentran los archivos `.dbf` generados por el procesamiento espacial, una carpeta de salida para guardar las tablas convertidas a Excel, y una subcarpeta adicional para guardar los archivos con columnas calculadas. También se define la ruta de un archivo de referencia (`Tabla_anidacion.xlsx`), que contiene factores de conversión por zona.

El código crea las carpetas necesarias si aún no existen. Luego, lee el archivo de referencia y lo prepara para el cruce posterior con los datos. También define los valores anuales de emisiones de CO₂ para los años 2018 a 2022, los cuales se utilizarán en los cálculos de la estimación de la línea base.

A continuación, el script recorre todos los archivos `.dbf` en la carpeta de entrada, los convierte a formato Excel y los guarda en la carpeta de salida. Después,

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

identifica todos los archivos Excel (excluyendo el de referencia) y comienza el procesamiento principal.

El proceso consiste en preparar y verificar las tablas generadas, asociarlas con información de referencia para cada zona, y calcular indicadores relacionados la estimación de la línea base a partir de la reconstrucción metodológica (PMM) para los quinquenios correspondientes. Luego, los resultados se integran en archivos Excel actualizados y se genera un resumen por iniciativa que puede ser consolidado en un solo documento final.

Finalmente, si se procesaron datos válidos, se genera un archivo Excel compilado que consolida los resultados de todas las iniciativas procesadas. El proceso concluye con un mensaje indicando que todo se ha ejecutado exitosamente.

- RStudio periodo 2018-2022

```

if (!requireNamespace("foreign", quietly = TRUE)) install.packages("foreign")
if (!requireNamespace("writexl", quietly = TRUE)) install.packages("writexl")
if (!requireNamespace("readxl", quietly = TRUE)) install.packages("readxl")
if (!requireNamespace("dplyr", quietly = TRUE)) install.packages("dplyr")
if (!requireNamespace("janitor", quietly = TRUE)) install.packages("janitor")

library(foreign)
library(writexl)
library(readxl)
library(dplyr)
library(janitor)

input_folder <- "C:/PY/Resultados"
output_folder <- "C:/PY/Resultados/Tablas"
final_output_folder <- "C:/PY/Resultados/Tablas/Con_Factor"
compilado_file <- file.path(final_output_folder, "Compilado.xlsx")
reference_file <- "C:/PY/Resultados/Tablas/Tabla_anidacion.xlsx"

dir.create(output_folder, showWarnings = FALSE, recursive = TRUE)
dir.create(final_output_folder, showWarnings = FALSE, recursive = TRUE)

```



Generación de conocimiento e investigaciones

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

```
reference_data <- read_excel(reference_file, sheet = "Anexo_1") %>%
  clean_names() %>%
  mutate(codigo_zona = as.numeric(codigo_zona))

emisiones_co2 <- c(
  "2018" = 120770431.44,
  "2019" = 127011963.18,
  "2020" = 132520275.34,
  "2021" = 137130393.50,
  "2022" = 140732334.73
)

dbf_files <- list.files(input_folder, pattern = "\\*.dbf$", full.names = TRUE)
for (dbf_file in dbf_files) {
  data <- read.dbf(dbf_file)
  file_name <- tools::file_path_sans_ext(basename(dbf_file))
  output_excel <- file.path(output_folder, paste0(file_name, ".xlsx"))
  write_xlsx(data, output_excel)
  cat(" Convertido:", dbf_file, "->", output_excel, "\n")
}

cat(" Conversión DBF a Excel completada.\n")

excel_files <- list.files(output_folder, pattern = "\\*.xlsx$", full.names = TRUE)
excel_files <- excel_files[!grepl("XX\\*.xlsx$", excel_files)]

compilado_data <- list()

for (excel_file in excel_files) {
  data <- read_excel(excel_file) %>% clean_names()

  if ("value" %in% colnames(data)) {
    data <- data %>% mutate(value = as.numeric(value))
    data_joined <- left_join(data, reference_data, by = c("value" =
"codigo_zona"))

    if ("area_ha" %in% colnames(data_joined) &
"factor_de_conversion_por_zona" %in% colnames(data_joined)) {
      data_joined <- data_joined %>% mutate(Proporcion_NREF = area_ha *
factor_de_conversion_por_zona)
```



Generación de conocimiento e investigaciones

Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular

Código: GCI-G003
Versión: 01
Fecha: 25/03/2026

```
sum_proporcion <- sum(data_joined$Proporcion_NREF, na.rm = TRUE)
data_joined <- data_joined %>% mutate(Sumatoria_Proporcion_NREF =
sum_proporcion)

pmm_values <- list("Iniciativa" = basename(excel_file),
"Sumatoria_Proporcion_NREF" = sum_proporcion)
for (year in names(emisiones_co2)) {
  column_name <- paste0("PMM_", year)
  data_joined[[column_name]] <- sum_proporcion *
emisiones_co2[[year]]
  pmm_values[[column_name]] <- sum_proporcion *
emisiones_co2[[year]]
}


compilado_data <- append(compilado_data, list(pmm_values))

cat(" Se agregaron las columnas de PMM en:", basename(excel_file), "\n")
} else {
  cat(" No se pudo calcular 'Proporcion NREF' en:", basename(excel_file),
"porque faltan columnas.\n")
}

output_excel <- file.path(final_output_folder, basename(excel_file))
write_xlsx(data_joined, output_excel)
cat(" Archivo guardado en:", output_excel, "\n")
} else {
  cat(" Advertencia: El archivo", basename(excel_file), "no tiene la columna
'Value'.\n")
}
}

if (length(compilado_data) > 0) {
  compilado_df <- bind_rows(compilado_data)
  write_xlsx(compilado_df, compilado_file)
  cat(" Archivo compilado guardado en:", compilado_file, "\n")
}

cat(" Proceso completado.\n")
```

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

Para realizar la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyectos REDD+ (PMM) para el quinquenio 2023–2027, es necesario realizar los siguientes ajustes en el script:

- Actualizar la ruta de la carpeta de trabajo:

Reemplazar la ruta original de la carpeta PY por la nueva carpeta PY2, la cual debe contener los archivos correspondientes al nuevo periodo.

- Actualizar la capa de zonificación:

Sustituir la capa de zonificación utilizada para el periodo 2018–2022 por la correspondiente al nuevo periodo 2023–2027. Esta capa debe reflejar la zonificación vigente para ese quinquenio.

- Actualizar los valores del Nivel de Referencia (NREF):

Modificar los valores de emisiones de CO₂ anuales utilizados en la reconstrucción metodológica del NREF para el establecimiento de la línea base de proyecto REDD+, incorporando los nuevos valores de referencia definidos para los años 2023 a 2027.

Una vez realizados estos cambios, el flujo de procesamiento y los cálculos se ejecutarán de la misma manera, generando los resultados ajustados al nuevo periodo de análisis.

5.6 Resultados esperados

A continuación, en la Ilustración 9 se presenta la distribución espacial de dos proyectos dentro del territorio nacional.

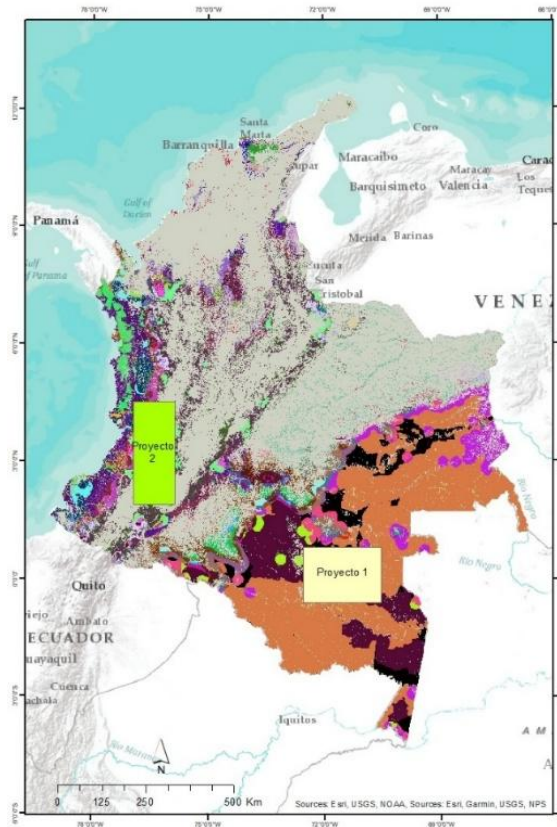


Ilustración 9. Distribución de proyectos REDD+. Fuente: Elaboración propia.

Una vez ejecutados los códigos descritos en los apartados anteriores, se espera obtener los siguientes productos:

Archivos ráster recortados por iniciativa, con atributos asociados de área en hectáreas (Ilustración 10).

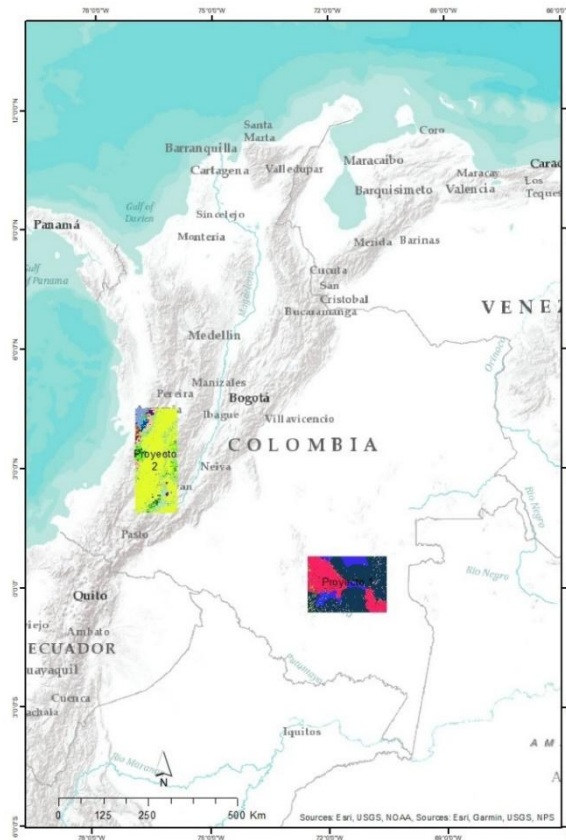


Ilustración 10. Capa de zonificación recortada en función del límite de los proyectos. Fuente: Elaboración propia.

Archivos Excel individuales y una tabla compilada que contienen los valores de la línea base (PMM) por año, listos para su revisión.





-  Con_Factor
-  Proyecto_1_clip.tif.vat
-  Proyecto_2_clip.tif.vat

Ilustración 11. Archivos Excel con las zonas homogéneas y sus respectivos valores.

Validación cruzada entre las zonas clasificadas y los factores de conversión aplicables al segundo periodo de interés.

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

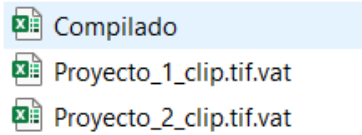


Ilustración 12. Validación del compilado. Fuente: Elaboración propia.


Iniciativa	Sumatoria_Proporcion_NREF	Línea base_2018	Línea base_2019	Línea base_2020	Línea base_2021	Línea base_2022
Proyecto_1_clip.tif.vat.xlsx	XXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Proyecto_2_clip.tif.vat.xlsx	XXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

Ilustración 13. Valores de la línea base por Proyecto REDD+. Fuente: Elaboración propia.

De este modo, será posible verificar los valores estimados de la línea base correspondientes a cada periodo, junto con su valor anual asociado.

6. Transparencia y replicabilidad

Este proceso ha sido minuciosamente documentado de forma lineal, para asegurar su eficiencia, transparencia y reproducibilidad, se ha automatizado mediante apoyo de herramientas de código abierto, tales como lenguaje de programación R, y software propietario específico tales como ArcGIS o de código abierto como Qgis. Esta dualidad tecnológica facilita una mayor flexibilidad para su implementación y adaptación según capacidades institucionales disponibles. El proceso automatizado no solo minimiza ampliamente el riesgo de errores humanos asociados a actividades manuales repetitivas, sino que también mejora su trazabilidad de paso a paso, facilitando auditorías internas y externas más eficaces y rigurosas. A su vez, refuerza más que antes la institucionalidad del sistema de cálculo del Reconstrucción Metodológica del NREF para el establecimiento de la Línea Base de Proyecto REDD+ (PMM), garantizando que cada versión de su procedimiento sea replicable y validable según los principios de integridad, transparencia y consistencia.

	<p align="center">Generación de conocimiento e investigaciones</p> <p align="center">Guía técnica y práctica para la reconstrucción metodológica del NREF en proyectos REDD+ (2018-2022 y 2023-2027) Establecimiento de línea base mediante herramientas SIG y gestión tabular</p>	<p>Código: GCI-G003 Versión: 01 Fecha: 25/03/2026</p>
---	--	--

Control de cambios

VERSIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
1	25/03/2026	Creación del documento
