

MAPBIOMAS

AMAZONÍA

Venezuela - Apéndice

Colección 6

Versión 1.0



Institución:



Septiembre 2024

Equipo de Especialistas

Especialistas en mapeo

- Emanuel Valero
- José Sánchez
- Juan Carlos Amilibia
- Mayerlings Ramirez
- Mylene Gutiérrez
- Rebeca Parra
- Reinaldo Romero
- Rodrigo Lazo
- Sergio Zambrano

Responsable del proyecto RAISG-MapBiomás de la Amazonía venezolana

- Rodrigo Lazo (rlazo@provitaonline.org)
- Irene Zager (izager@provitaonline.org)

Institución:



Calle La Joya entre Av. Francisco de Miranda
y Av. Libertador. Edif. Unidad Técnica del Este,
Piso 10, Ofic. 29 y 30.

AP 47552, Caracas, Venezuela

Tef: (+58) 212 2637240 / 2656996 / 2670897

<http://www.provita.org.ve/>

Cómo citar:

Lazo, R., E. Valero, J. Sánchez, I. Zager. Documento de Bases Teóricas de Algoritmo (ATBD) RAISG- MapBiomás Amazonía Colección 6, Venezuela - Apéndice Colección 6 (2024).

Nota de precaución

Este documento se enfoca exclusivamente en el procesamiento de los estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro. Por lo tanto, todas las figuras presentadas cubren únicamente estas tres áreas geográficas.

Es importante señalar que, mediante la promulgación de la Ley Orgánica para la Defensa de la Guayana Esequiba (publicada en la Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela No. 6798 Extraordinario, del 3 de abril de 2024), el gobierno de Venezuela ha otorgado a la Guayana Esequiba la categoría de estado dentro de la división político-territorial del país. Este estado comprende la Zona en Reclamación, la cual está sujeta al Acuerdo de Ginebra del 1 de febrero de 1966. Por esta razón, el estado Guayana Esequiba se incluyó oficialmente en la Colección 6 de la Amazonía venezolana.

En el proyecto MapBiomias Amazonía, Provita A.C. es responsable del procesamiento de los estados Amazonas, Bolívar y Delta Amacuro. Por su parte, el estado Guayana Esequiba es responsabilidad de nuestro socio Amazon Environmental Research Institute (IPAM) con sede en Brasil, quien también procesa las regiones de Guyana, Surinam y Guayana Francesa, siguiendo la metodología de MapBiomias. Debido a esto, el estado Guayana Esequiba no se incluye en las figuras de este documento, aunque forma parte de la Amazonía Venezolana.

Índice

Nota de precaución	3
Lista de Tablas	5
Lista de Figuras	6
1. Características generales del país	7
2. Otras iniciativas nacionales de cartografía	9
3. Metodología de la colección 6 en la Amazonía venezolana	13
4. Paso 1: Generación del mosaico Landsat	15
4.1 Definición de los parámetros	17
4.2 Generación de los mosaicos	18
5. Clasificación	20
5.1 Leyenda	21
5.2 Subregiones de clasificación	25
5.3 Metodología general	27
5.4 Paso 2: Generación de muestras	27
5.4.1 Paso 2.0: Generación de píxeles estables	27
5.4.2 Paso 2.1: Cálculo de áreas de entrenamiento	28
5.4.3 Paso 2.2: Generación de muestras de entrenamiento	29
5.5 Paso 3: Clasificación preliminar	29
5.5.1 Paso 3.0: Clasificación	29
5.5.2 Paso 3.1: Gap Fill (Llenado de píxeles sin información)	30
6. Paso 4: Post-clasificación - Filtros	31
6.1 Filtro temporal	31
6.2 Filtro espacial	34
6.3 Integración	34
7. Referencias	35

Lista de Tablas

Tabla 1: Regiones operativas dentro de la Amazonía venezolana	8
Tabla 2: Resumen de los parámetros de las imágenes Landsat utilizadas en la construcción de los mosaicos para la Amazonía venezolana	18
Tabla 3: Clases de cobertura y uso de la tierra de la colección 6 mapeadas según la metodología del mapa general y los temas transversales.	20
Tabla 4: Formaciones vegetales presentes en la Amazonía venezolana reagrupadas según las categorías de la leyenda de la colección 6 de MapBiomás Amazonía.	23
Tabla 5. Subregiones de clasificación	25
Tabla 6: Parámetros utilizados en el clasificador Random Forest	27
Tabla 7: Parámetros para el orden de ejecución o prioridad de cada una de las 36 subregiones de la Amazonía venezolana	32
Tabla 8: Reglas de prioridad para la integración de clases.	35

Lista de Figuras

Figura 1: Límite de la Amazonía venezolana en el ámbito de la RAISG y su división por regiones operativas Límite RAISG (rojo), límites de estado (negro)	7
Figura 2: Mapa Guayana Venezolana (Huber, 1995)	9
Figura 3: Mapa de Vegetación de Venezuela (MARNR, 2003)	10
Figura 4: Mapa de Formaciones Vegetales de Venezuela (Huber y Oliveira, 2010)	10
Figura 5: Mapa de Ecosistema de Venezuela (MPPA, 2014)	11
Figura 6: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2019)	11
Figura 7: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2020)	12
Figura 8: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2021)	12
Figura 9: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2022)	13
Figura 10: Síntesis metodológica de la Colección 6 de MapBiomias Amazonía - Venezuela	14
Figura 11: Grilla de cartas MapBiomias para la Amazonía venezolana (44 cartas en total)	15
Figura 12: Grilla de cartas MapBiomias con las regiones operativas para la Amazonía venezolana	16
Figura 13: Salida y visualización del paso 1 en el editor de código de GEE.	18
Figura 14: Regiones de clasificación definidas para la Amazonía venezolana	20
Figura 15: Muestras estables de cuatro regiones de la Amazonía venezolana, con base en los datos de la colección 4 MapBiomias de cobertura y uso. Esquina superior izquierda: 90207, superior derecha 90227, inferior izquierda 90502, inferior derecha 91301	28
Figura 16: Detalle de la subregión 90217 donde se muestran los puntos de muestreo en cada clase de cobertura y uso.	29
Figura 17: Clasificación preliminar de cobertura y uso para la región 90205 de la Amazonía venezolana, año 2005 (izquierda) y 2010 (derecha).	30
Figura 18: Esquema de actuación del Gap Fill	30
Figura 19: Área donde se muestra un ejemplo del antes y después de la aplicación del Gap Fill para el año 2000, región 90203	31
Figura 20: Reglas de uso en el filtro temporal.	32
Figura 21: Representación del antes y después de la aplicación del filtro temporal para el año 2017	33
Figura 22: Ejemplo del antes y después de la aplicación del filtro espacial para el año 2018	34

1. Características generales del país

La Amazonía venezolana está ubicada al noreste de América del Sur, abarcando una extensión aproximada de 611,163 km², equivalente al 58% de la superficie del país. Está delimitada al norte y oeste por el río Orinoco, al sur por el límite internacional con Brasil y al este por Guyana y el océano Atlántico. Administrativamente está dividida en cuatro estados: Delta Amacuro en el noreste (abarcando el delta del río Orinoco), Guayana Esequiba en el este, Bolívar en el centro, y Amazonas en el suroeste, siendo la entidad política más austral del país (Figura 1). Dentro de esta región se ubican al menos 31 pueblos indígenas. No obstante, el área está caracterizada por una baja densidad poblacional, con un promedio regional de 4,7 habitantes por km² (INE 2018). El 90% de la población se concentra en unas pocas ciudades y pueblos a lo largo de la periferia norte y noroeste de la región, principalmente en el estado Bolívar, donde las actividades mineras y comerciales atraen a personas de otras regiones del país y del extranjero.

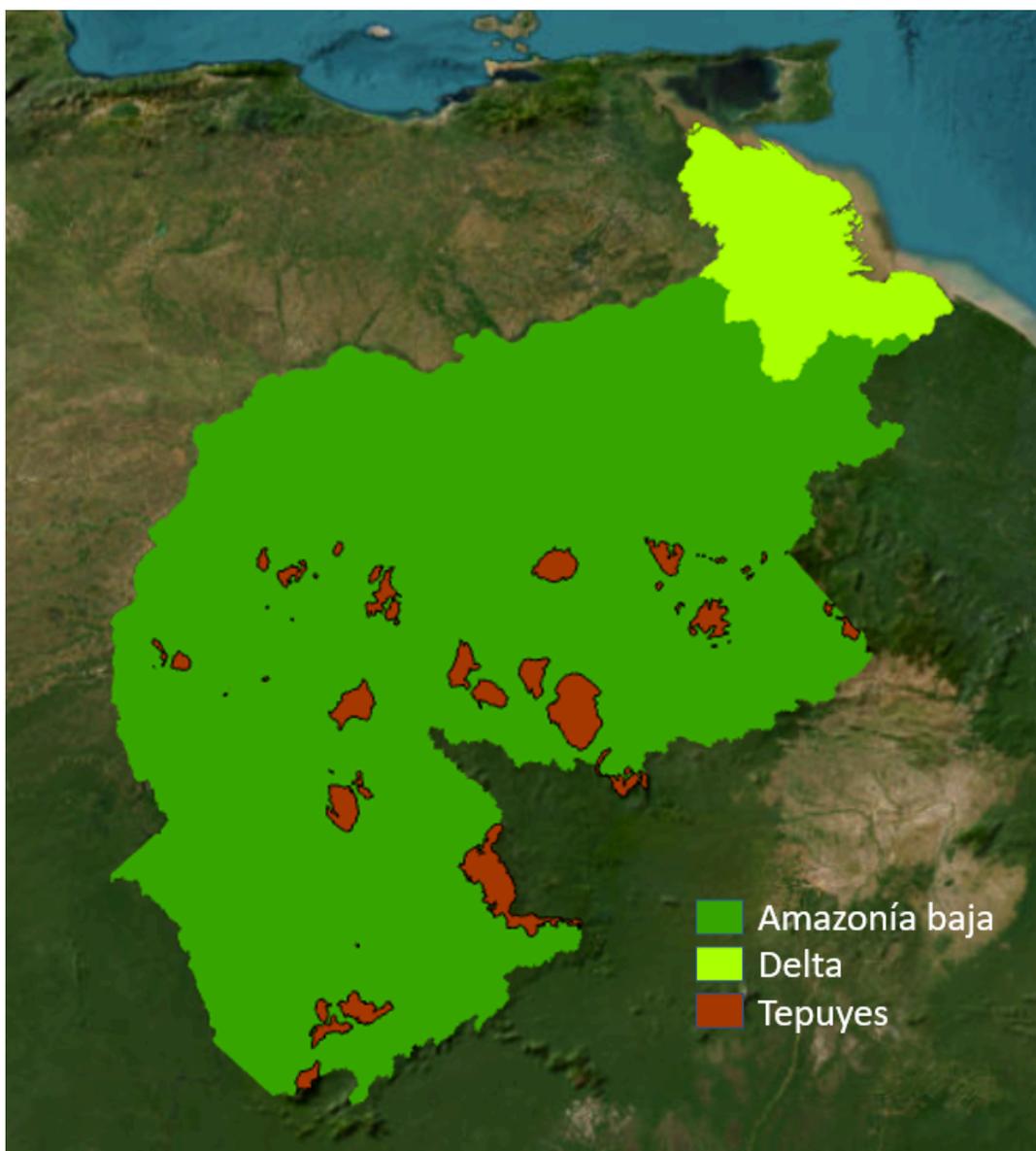


Figura 1: Límite de la Amazonía venezolana en el ámbito de la RAISG y su división por regiones operativas

Para los fines de los análisis de MapBiomos Amazonía, la totalidad de la Amazonía venezolana fue clasificada dentro del bioma “Amazonía”. Sin embargo, con el objetivo de facilitar el proceso de clasificación de la cobertura y uso del suelo y obtener mejores resultados, se tomó la decisión de subdividir el área de estudio en regiones operativas definidas por criterios fisiográficos, florísticos y fisonómicos, con base en los mapas de referencia disponibles (e.g., Huber 1995) y la interpretación de imágenes satelitales. De esta forma, se definieron tres regiones operativas: Amazonía baja, Delta y Tepuyes.

Tabla 1: Regiones operativas dentro de la Amazonía venezolana

Región	Descripción	Motivo de separación
Amazonía baja	<p>Esta región abarca el 90,5 % de la Amazonía venezolana, con una extensión de 553.379,4 km², y se extiende desde la costa atlántica en el delta del Orinoco y la frontera con Guyana, hasta los límites con Colombia y Brasil. Se caracteriza por una gran diversidad de bosques tropicales y montanos, que incluyen desde manglares y bosques inundables, hasta bosques de tierras bajas que presentan un patrón típico de mosaico estructurado horizontalmente. A medida que aumenta la altitud, los bosques de montaña muestran un patrón de distribución vertical más regular, organizado en cinturones altitudinales.</p> <p>En esta región también se encuentran formaciones de sabana, caracterizadas por un estrato herbáceo dominado por gramíneas. Por otro lado, las formaciones de herbazal están compuestas por hierbas distintas a las gramíneas. En estas zonas pueden observarse sabanas dominadas por gramíneas, que pueden estar acompañadas de un estrato leñoso (sabanas arboladas) o no (sabanas abiertas). Cuando las sabanas se combinan con palmas, se les denomina sabanas en planicies inundables con palmas, o morichales. Los herbazales sin gramíneas pueden ser abiertos o de tipo arbustivo.</p>	<p>Predomina desde las zonas bajas hasta llegar a las zonas pre-montañas y altas de la Amazonía venezolana, cubriendo diferentes zonas climáticas. Está constituida principalmente por formaciones arbóreas de grandes extensiones. Las sabanas se caracterizan por predominar formaciones herbáceas, con presencia de árboles y arbustos de escasa cobertura.</p>
Delta del Orinoco	<p>Esta región cubre una superficie aproximada de 37.576,3 km², lo que representa el 6,1 % de la Amazonía venezolana. El Delta del Orinoco se caracteriza por ser una vasta área de acumulación de sedimentos transportados por el río Orinoco, cuya cuenca abarca 1.100.000 km² y una longitud de 2.060 km, drenando el 94,6 % de las aguas superficiales del país. El Delta se divide en tres subregiones naturales: superior, media e inferior, basándose en la influencia relativa de los depósitos fluviales y/o marinos, así como en la intensidad de la acción de las mareas que regulan el drenaje superficial.</p>	<p>El delta de Orinoco se diferencia del resto de la región por presentar comunidades boscosas caracterizadas por suelos permanentemente saturados de agua, o al menos con un nivel freático muy cercano a la superficie, aun durante el final de la época de sequía. Estos bosques se combinan con comunidades de herbazales que ocupan extensiones importantes en las planicies cenagosas de toda la región deltaica.</p>
Tepuyes	<p>Los tepuyes son mesetas distintivas del Escudo Guayanés, con paredes verticales y cimas relativamente planas. Estas formaciones geológicas expuestas se encuentran entre las más antiguas del planeta y cubren aproximadamente 30.309,7 km², lo que equivale al 4,3 % del territorio de la Amazonía venezolana. La altitud de los tepuyes varía entre los 1.500 y casi 3.000 metros sobre el nivel del mar. Se caracterizan por una diversidad de formaciones vegetales que incluyen bosques ombrófilos submicrotéricos, también conocidos como bosques tepuyanos, herbazales y vegetación saxícola que se desarrolla sobre las superficies rocosas de los grandes tepuyes.</p>	<p>Presenta por su orografía, características propias de clima, substrato y de cobertura del suelo, generando un complejo biogeográfico diferente al resto de la Amazonía venezolana. Gran parte de la flora tepuyana es endémica. El rango de alturas corresponde a las características climáticas de la Amazonía alta.</p>

2. Otras iniciativas nacionales de cartografía

En Venezuela la cartografía vegetal con carácter científico se inicia en 1920, con la publicación del *Mapa Ecológico de Venezuela* por parte del botánico suizo Henri Pittier, a escala 1:2.000.000.

Posteriormente se presentan publicaciones en 1955 con el *Mapa Fitogeográfico preliminar de la República de Venezuela* de Francisco Tamayo, seguido en 1960 del tercer *Mapa de Vegetación* a escala 1:2.000.000, titulado *Mapa de la vegetación de la República de Venezuela*, de Kurt Hueck. Para 1968 el Ministerio de Agricultura y Cría publica el *Mapa ecológico según la clasificación de zonas de vida del mundo de L.R. Holdridge*. Con la utilización de las primeras imágenes de Landsat se produjo el *Mapa de la Vegetación actual de Venezuela*, publicado en 1982, a escala 1:250.000. En 1988, Otto Huber y Clara Alarcón publican el *Mapa de vegetación de Venezuela*, a escala 1:2.000.000

En los últimos 25 años, se han desarrollado pocas iniciativas cartográficas sobre la cobertura vegetal y el uso de la tierra a nivel nacional o regional que puedan servir como referencia para este proyecto. Entre las más destacadas se encuentran:

- En 1995 Otto Huber presenta el Mapa *Guayana Venezolana*, basado en su publicación de 1988, a escala 1: 2.000.000. Este mapa acompañó la serie de ocho volúmenes titulada *Flora of the Venezuelan Guayana* (Steyermark et al. 1995). (Figura 2).

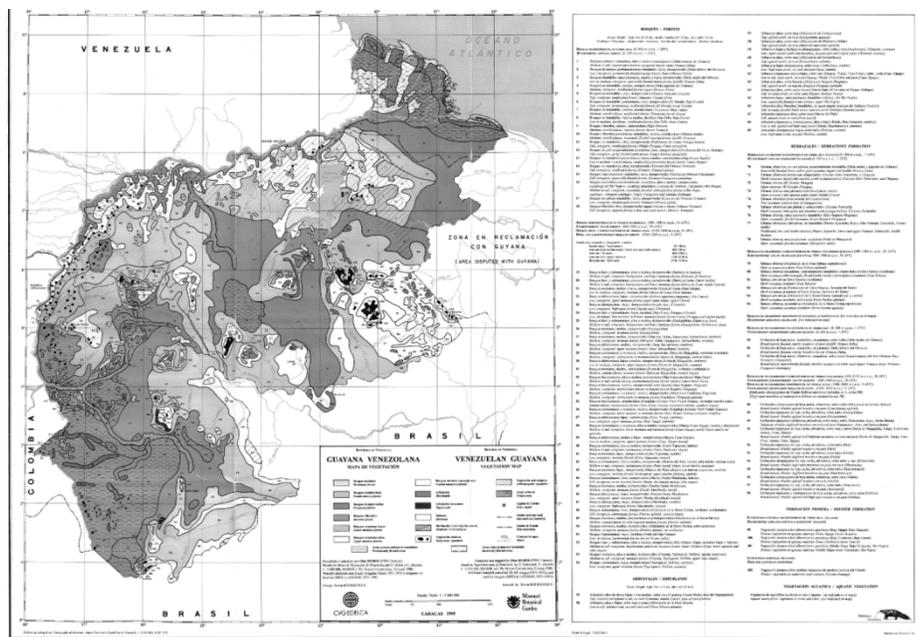


Figura 2: Mapa Guayana Venezolana (Huber, 1995)

- En el 2003 el Ministerio del Ambiente publica una actualización del mapa de Huber y Alarcón, bajo el título de *Mapa de Vegetación de Venezuela*, a escala 1:2.000.000 (Figura 3).

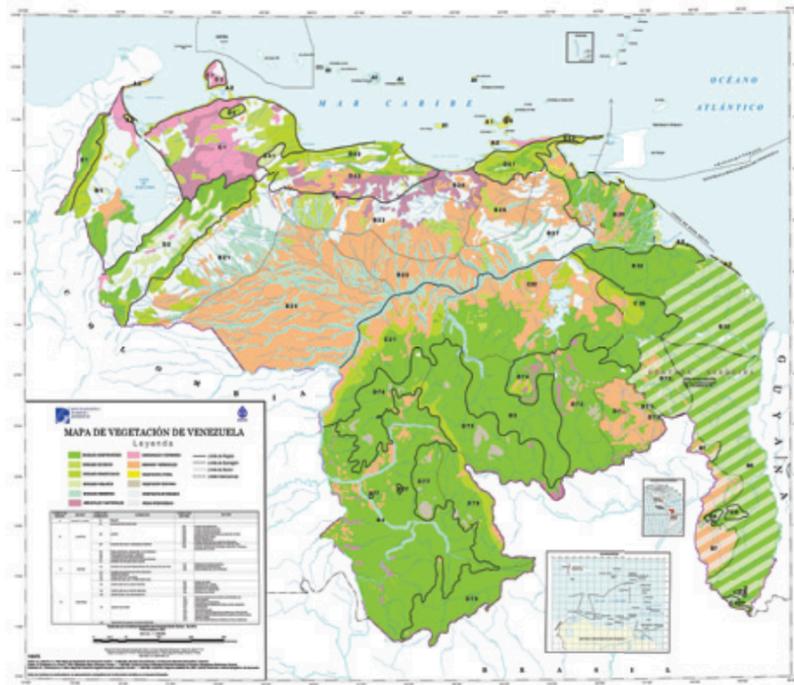


Figura 3: Mapa de Vegetación de Venezuela (MARNR, 2003)

- En el 2010, Provita publica el *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*, el cual contiene un mapa de *Formaciones Vegetales de Venezuela* elaborado por Huber y Oliveira (Figura 4).

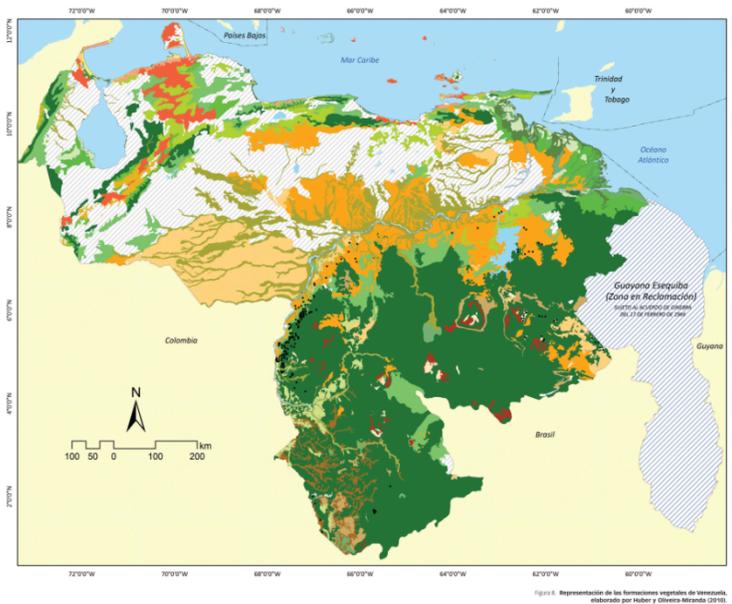


Figura 4: Mapa de Formaciones Vegetales de Venezuela (Huber y Oliveira, 2010)

- En el 2014, el Ministerio del Poder Popular para el Ambiente (MPPA) publicó el *Mapa de Ecosistemas de Venezuela* a Escala 1.2.000.000 (Figura 5).



Figura 5: Mapa de Ecosistema de Venezuela (MPPA, 2014)

- En 2019, RAISG presentó su colección de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan Amazonía, denominada MapBiomias Amazonía. Esta colección se elaboró mediante la clasificación de imágenes satelitales Landsat, abarcando el período de 2000 a 2017. El proyecto fue desarrollado en colaboración con los socios de RAISG y MapBiomias Brasil en los países amazónicos, utilizando una metodología estandarizada.

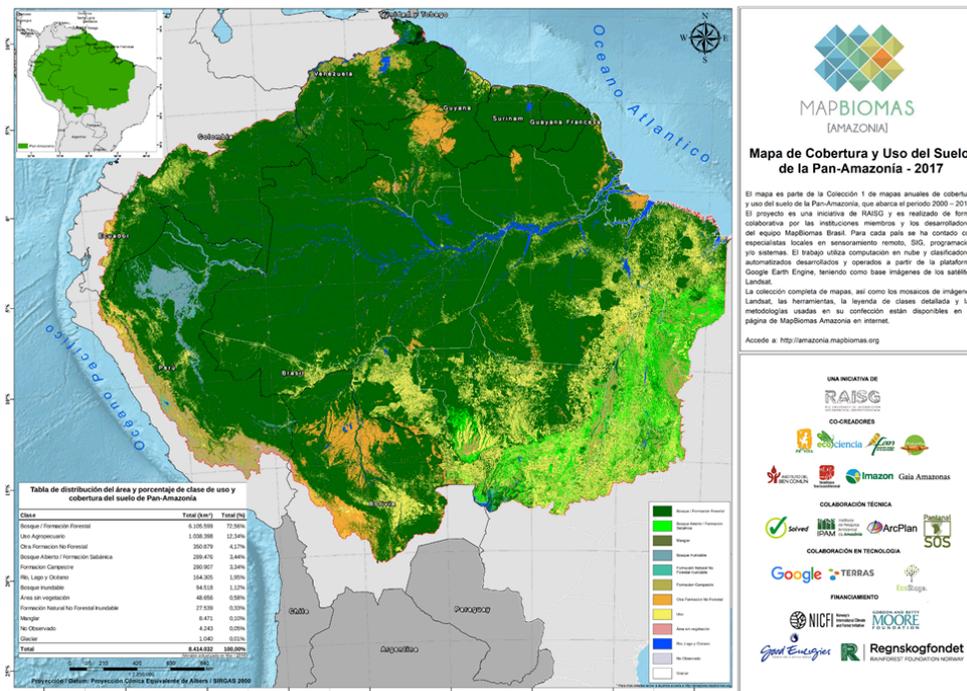


Figura 6: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2019)

- En 2020, RAISG lanzó la segunda versión, mejorada y ampliada, de su colección de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan Amazonía: MapBiomás Amazonía. Esta versión se generó mediante la clasificación de imágenes satelitales Landsat, cubriendo el período de 1985 a 2018. El proyecto fue desarrollado en colaboración con los socios de RAISG en los países amazónicos, siguiendo la misma metodología unificada de la colección anterior.

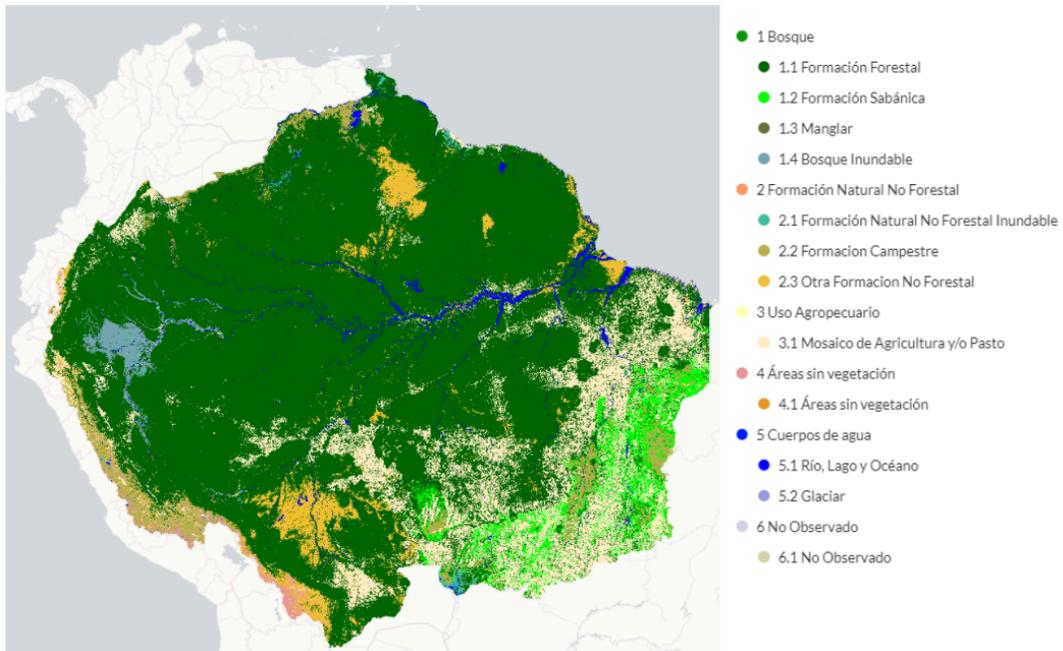


Figura 7: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2020)

- En 2021, RAISG presentó la tercera versión mejorada y actualizada de su colección de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan Amazonía: MapBiomás Amazonía. Esta colección, denominada Colección 3, abarca el período de 1985 a 2020. A partir de esta versión, se comenzó a emplear el clasificador Random Forest (Bosques Aleatorios) en la plataforma Google Earth Engine para mejorar la precisión de la clasificación de las imágenes.

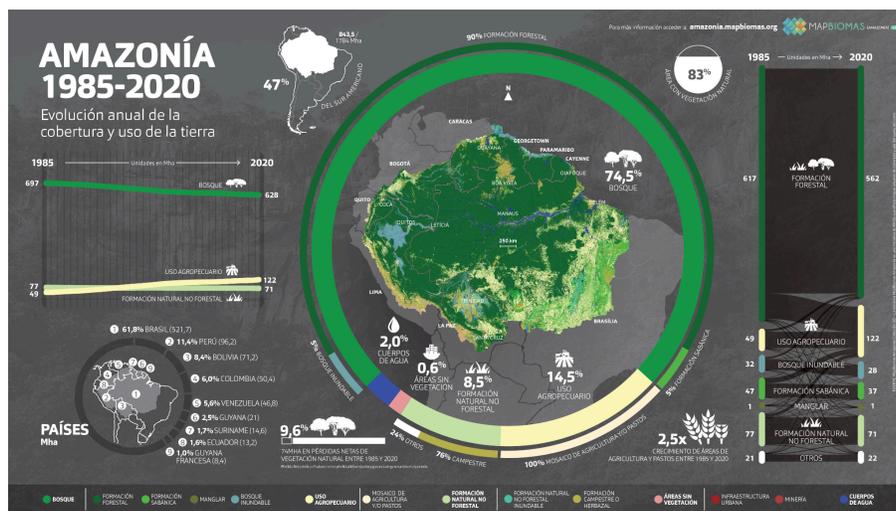


Figura 8: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2021)

- En 2022, RAISG presentó la Colección 4 de mapas anuales de cobertura y uso del suelo de la Pan Amazonía, denominada MapBiomás Amazonía. En esta versión, se identificaron 13 clases de coberturas naturales y de uso, abarcando el período de 1985 a 2021. Esta actualización mejoró la precisión en la clasificación de las imágenes satelitales, proporcionando una visión más detallada de los cambios en el territorio amazónico.

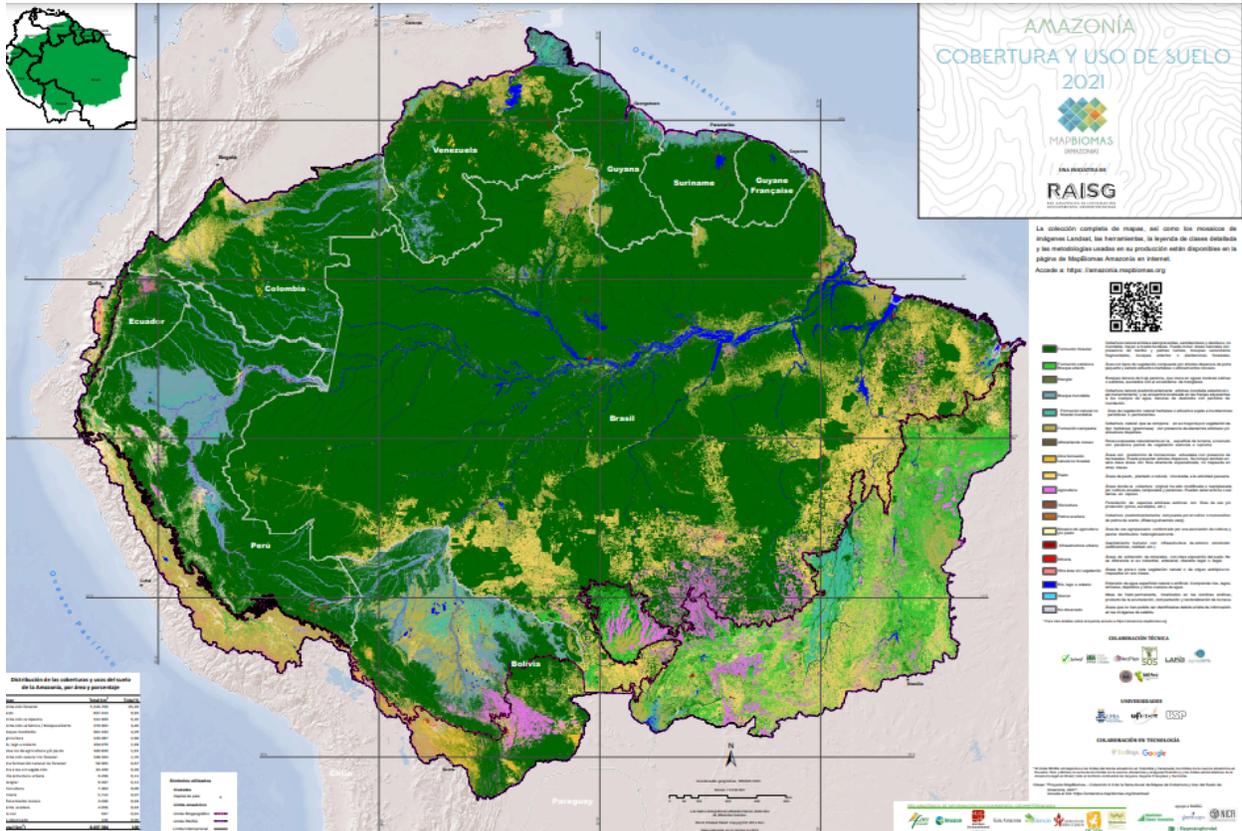


Figura 9: Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2022)

- En 2023, RAISG presentó la Colección 5, en la cual se identificaron 155 clases de cobertura y uso del suelo en la Amazonía venezolana, abarcando el período de 1985 a 2022. Esta versión representa un avance significativo en la caracterización detallada de los cambios en la región, ampliando considerablemente el número de clases y mejorando la comprensión del uso del suelo en la Amazonía.

3. Metodología de la colección 6 en la Amazonía venezolana

En el *ATBD General MapBiomás Amazonía 6.0*, en la sección 3 (Metodología), se describen los pasos generales seguidos por los países miembros de RAISG para generar la Colección 6 de MapBiomás Amazonía (Figura 10). En esta sección se detalla la implementación de la metodología aplicada a la Amazonía venezolana.

Con el objetivo de mejorar la calidad de los resultados, se utilizó una capa de píxeles estables (muestras) de mayor precisión y calidad. Para lograr esto, se incorporaron datos de referencia, como una capa de altura del dosel (Potapov et al., 2021), lo que permitió una definición más rigurosa de las coberturas. Además, para los años más recientes, se emplearon imágenes de alta resolución del programa NICFI (Iniciativa Internacional sobre Clima y Bosques de Noruega, por sus siglas en inglés), proporcionadas por la plataforma Planet, como referencia espacial.

El orden en la aplicación de los filtros se definió con el propósito de obtener la mejor precisión en las clasificaciones. En el caso de Venezuela, el orden predominante fue: gapfill > filtro temporal > filtro espacial. Adicionalmente, la aplicación de estos filtros se acompañó de una revisión exhaustiva de las estadísticas correspondientes, con el fin de evaluar los efectos y cambios que dichos filtros generaban a lo largo de toda la serie temporal.

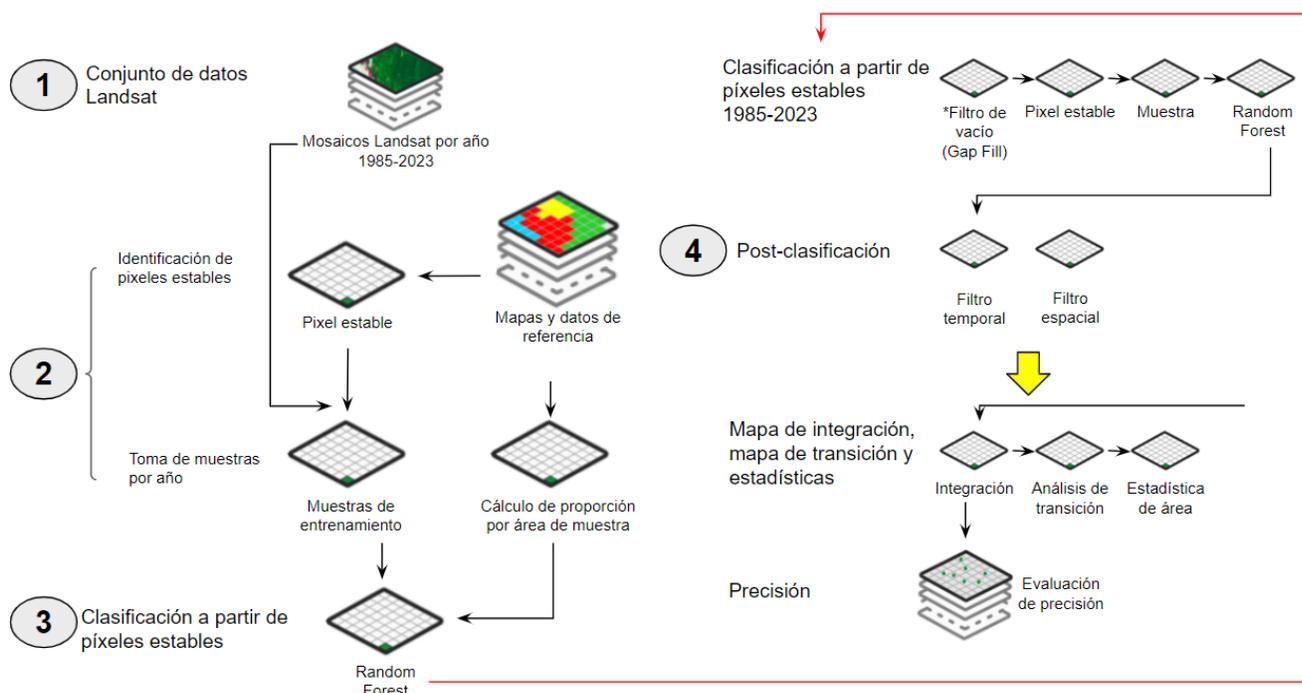


Figura 10: Síntesis metodológica de la Colección 6 de MapBiomias Amazonía - Venezuela.

4. Paso 1: Generación del mosaico Landsat

La extensión de la Amazonía venezolana está cubierta por 44 cartas de la cuadrícula del Mapa Mundial al Millón, a escala 1:250.000, utilizada para las clasificaciones de MapBiomias Amazonía (Figura 11). Cada una de estas cartas abarca un área de 1°30' de longitud por 1° de latitud. De las 44 cartas, 9 son compartidas con Colombia, 14 con Brasil y 5 con Guyana.

Para los análisis de cobertura y uso del suelo en la Amazonía venezolana, estas cartas fueron subdivididas de acuerdo con la presencia de tres regiones operativas (ver sección 1). Como resultado, la generación de mosaicos para MapBiomias en la Amazonía venezolana se realizó a nivel de 68 cartas/región (Figura 12). Dado que el período de análisis comprende 39 años, desde 1985 hasta 2023, fue necesario generar un total de 2.652 mosaicos Landsat (68 cartas/región x 39 años).

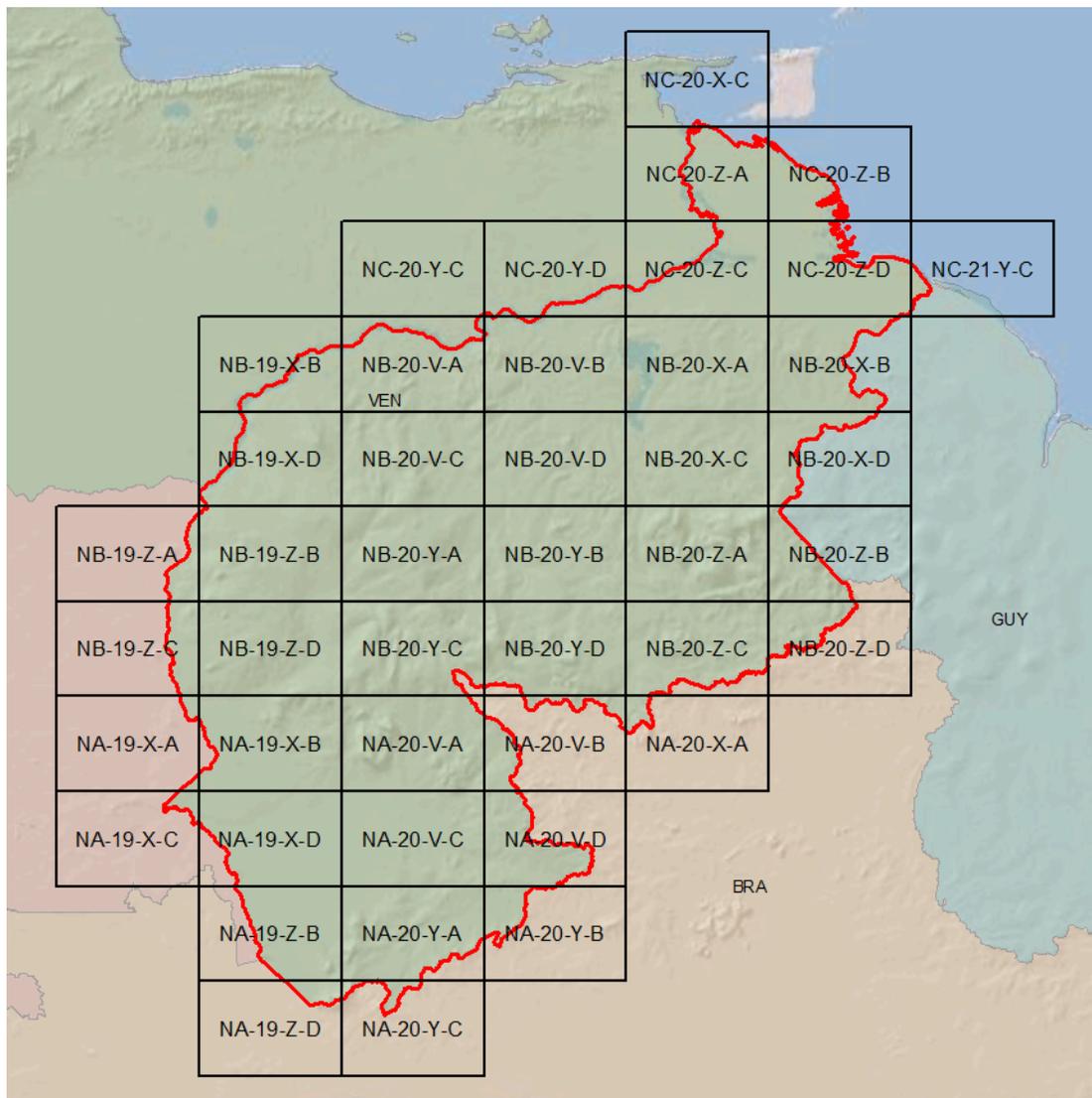


Figura 11: Grilla de cartas MapBiomas para la Amazonía venezolana (44 cartas en total)

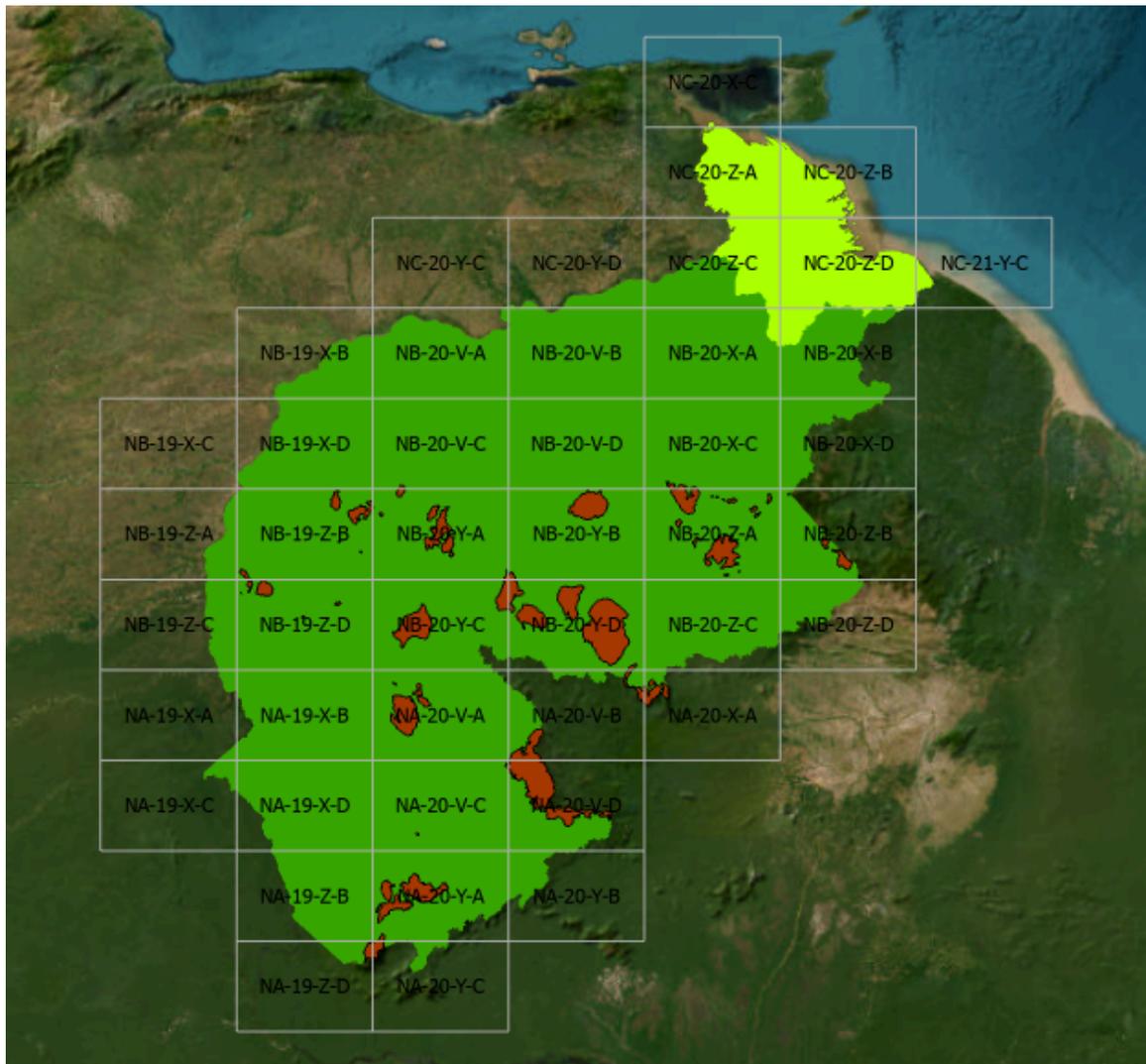


Figura 12: Grilla de cartas MapBiomas con las regiones operativas para la Amazonía venezolana (68 cartas/región en total)

Es importante destacar que la Amazonía venezolana se encuentra dentro de la zona de convergencia intertropical (ITCZ, por sus siglas en inglés). Como resultado, esta región presenta, en promedio, más del 70 % de nubosidad mensual y anual. Debido a esto, para obtener una cobertura adecuada de la región fue necesario utilizar ventanas temporales amplias para la selección de las imágenes, abarcando en muchos casos el año completo de imágenes disponibles.

En las cartas correspondientes a la región de la Amazonía Baja, generalmente se seleccionaron ventanas de 12 meses de imágenes Landsat (es decir, el año completo), con el objetivo de lograr una mejor cobertura espacial. Esto se debe a la baja disponibilidad de imágenes Landsat, la presencia de artefactos relacionados con sombras de nubes y la alta nubosidad que caracteriza las imágenes de esta región.

La región de los Tepuyes, debido a sus características orográficas, también presenta un alto índice de nubosidad durante todo el año, especialmente en las zonas de barlovento de las mesetas. Por esta razón, para las cartas de esta región también fue necesario trabajar con una ventana temporal que

abarca de enero a diciembre. Es importante señalar que la cobertura de vegetación en los tepuyes no muestra estacionalidad significativa, por lo que la decisión de ampliar la ventana temporal de selección de imágenes Landsat permitió una mejor cobertura de datos sin introducir ruido debido a variaciones estacionales.

En la región del Delta, se utilizó igualmente el año completo de imágenes (enero-diciembre), ya que esta zona es afectada por los vientos alisios provenientes del Atlántico, lo que provoca un alto porcentaje de nubosidad. Además, esta región presenta una considerable cantidad de vacíos de datos asociados a la falta de imágenes Landsat para los años anteriores a 1999.

Para la generación de los mosaicos de imágenes Landsat se siguieron los siguientes pasos:

4.1 Definición de los parámetros

Los parámetros a definir para cada carta/región son los siguientes:

- **Período (fecha de inicio, fecha final):** El período de imágenes a considerar. Para ello se define una fecha inicial y final. Se toman en cuenta los criterios de temporalidad anual definidos en los párrafos anteriores para cada región.
- **Sensor:** Dependiendo del año, se utilizan diferentes sensores, en función de la disponibilidad de imágenes. Estos sensores son: Landsat 5 (1985 a 2009), Landsat 7 (2001 al presente), Landsat 8 (2013 al 2023) y Landsat 9 (2022 al 2023)
- **Porcentaje máximo de cobertura de nubes de las imágenes:** De 10% hasta 100% dependiendo de la región y el período estudiado.

Los valores de estos parámetros se guardaron en una tabla de datos en Google Drive, que se utilizó posteriormente para la creación de los mosaicos finales.

En la construcción de cada mosaico por carta/región, se realizó una evaluación visual del resultado obtenido, considerando el número de imágenes que abarcaba la carta, la presencia de nubes, sombras, ruido y el efecto de bandeo (como en el caso del uso de Landsat 7). Si el mosaico no cumplía con los estándares de calidad, se ajustaba el porcentaje de nubes permitido o las fechas seleccionadas para las imágenes del satélite.

Si después de estos ajustes el mosaico seguía sin mejorar, se procedía a evaluar individualmente cada imagen Landsat de la colección. Aquellas que no cumplían con los criterios de calidad eran incluidas en una "blacklist" (lista negra), y se eliminaban de la colección de imágenes usadas para la construcción del mosaico. La tabla correspondiente contiene una columna titulada "Blacklist", donde se anotan los identificadores únicos de las imágenes Landsat que deben ser excluidas del proceso de construcción de mosaicos.

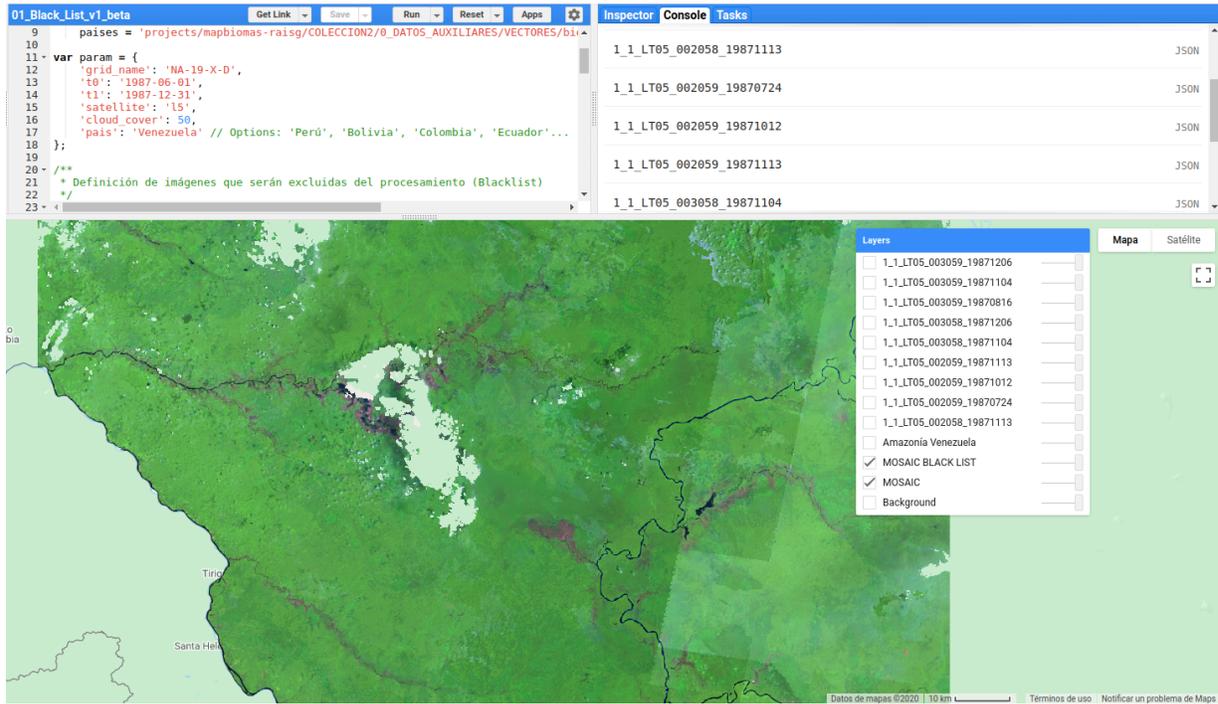


Figura 13: Salida y visualización del paso 1 en el editor de código de GEE.

En la tabla 2 se resumen por región los parámetros de las imágenes Landsat seleccionadas para generar los mosaicos para la Amazonía venezolana.

4.2 Generación de los mosaicos

En esta etapa se generaron los mosaicos Landsat correspondientes a los 39 años que comprende la serie 1985-2023, como un asset en Google Earth Engine. Se utilizaron los siguientes insumos:

- La tabla de parámetros construida en el paso anterior.
- Un paquete desarrollado en Python, que realiza todo el proceso de generación de mosaicos, de manera automática, a partir de la tabla de datos. Este paquete genera todos los mosaicos, e implementa una máscara para remover las nubes y almacena las imágenes resultantes.

Tabla 2: Resumen de los parámetros de las imágenes Landsat utilizadas en la construcción de los mosaicos para la Amazonía venezolana

Región	Sensor	Año	Período	% Nubes
Amazonía Baja	L5	1985-1999, 2004, 2008, 2009	enero a diciembre	20% a 100% moda: 80%
	L7	2001-2012, 2015		
	L5/L7	2000-2011		
	L8	2013-2021		
	L9	2022		
Tepuyes	L5	1985-1999, 2004,	enero a diciembre	20% a 100%

		2008		moda: 60%
	L7	2001-2003, 2008, 2010-2016, 2018		
	L5/L7	2000-2011, 2015		
	L8	2013-2021		
	L9	2022		
	L5	1985-1999		
	L7	2001-2012		
Delta	L5/L7	1999, 2000, 2003-2011	enero a diciembre	10% a 100% moda: 80%
	L8	2013-2021		
	L9	2022		

5. Clasificación

La clasificación se lleva a cabo en dos etapas, con el objetivo de simplificar el proceso y obtener resultados más precisos:

- Clasificación del mapa general, en la que se mapean las clases de la leyenda que presentan menor incertidumbre y variabilidad espectral (esta etapa es la que se describe en el presente documento).
- Clasificación de los temas transversales, donde se abordan las clases que muestran mayor variabilidad y confusión espectral con otras clases. La metodología específica de cada tema transversal se detalla en documentos independientes, como se menciona en la sección de apéndices del ATBD General MapBiomias Amazonia 6.0. En esta etapa, los temas transversales se mapean utilizando algoritmos de clasificación binaria, que distinguen entre la clase de interés y la clase "No observado".

En la Tabla 3 se detallan las clases que fueron clasificadas para la Amazonía venezolana, tanto en la metodología aplicada al mapa general como en los temas transversales. Estas clases representan diferentes tipos de coberturas y usos del suelo, alineadas con los criterios establecidos en la metodología de MapBiomias, lo que permite una representación precisa y consistente de las diversas características del territorio amazónico.

Tabla 3. Clases de cobertura y uso de la tierra de la colección 6 mapeadas según la metodología del mapa general y los temas transversales.

Clase	Metodología
Bosque	
Formación forestal	Mapa General
Formación sabánica / Bosque abierto	Mapa General
Manglar	Tema transversal
Bosque inundable	Tema transversal
Formación natural no forestal	
Formación natural no forestal inundable	Tema transversal
Formación campestre o herbazal	Mapa General
Afloramiento rocoso	Mapa General
Otra formación natural no forestal	Mapa General
Uso agropecuario	
Pasto	Mapa General
Agricultura	Mapa General y Tema Transversal
Silvicultura	Mapa General
Área sin vegetación	
Playa, duna o banco de arena	Mapa General
Infraestructura urbana	Tema transversal

Minería	Tema transversal
Otra área antrópicas sin vegetación	Mapa General
Cuerpo de agua	
Río, lago u océano	Mapa General
6. No observado	Mapa General

5.1 Leyenda

Venezuela utiliza un subconjunto de categorías de la leyenda definida por RAISG para MapBiomás Amazonía. A continuación, se presenta una descripción detallada de las clases de la leyenda utilizadas en el mapa de cobertura y uso del suelo, organizadas por las principales categorías. Este enfoque permite adaptar la clasificación a las características específicas de la Amazonía venezolana, manteniendo la coherencia con el sistema general de MapBiomás Amazonía.

Bosque natural:

- **Formación forestal (Id: 3):** Formación natural dominada por elementos arbóreos, generalmente con estratificación vertical y presencia de diversas formas de crecimiento de acuerdo al estrato: hierbas terrestres, epífitas vasculares y no vasculares, arbustos y lianas. Presenta al menos un estrato de copas continuo. Estas comunidades forestales incluyen especies perennifolias, semicaducifolias y caducifolias. Puede ubicarse en gran diversidad de paisajes tales como: planicies, altiplanicies, piedemontes, terrazas, colinas, lomeríos, montañas y valles.
- **Formación sabánica / Bosque abierto (Id: 4):** Formación dominada por gramíneas, además de otros componentes herbáceos. Generalmente presenta individuos arbóreos y/o arbustivos bajos y retorcidos con adaptaciones al fuego. La sabana arbolada interrumpe una matriz más o menos continua y dominante de plantas de porte herbáceo a menudo xeromórficas, conocida comúnmente como sabana.
- **Manglar (Id: 5):** Bosque restringido a zonas costeras y deltaicas estuarinas, compuesto por árboles halófitos. Se distribuye en zonas litorales, dispuesto en áreas de influencia de marea y en lagunas costeras salobres.
- **Bosque inundable (Id: 6):** Áreas de cobertura boscosa sujetas a fluctuaciones anuales del nivel de los ríos, inundadas estacionalmente o permanentemente dependiendo de su ubicación, con depresiones topográficas permanentemente saturadas.

Formación natural no forestal:

- **Formación natural no forestal inundable (Id: 11):** Formaciones en las que pueden dominar formas de crecimiento herbáceas y/o arbustivas. Estas comunidades están sujetas a un régimen de inundación permanente o estacional, intra e interanual. Topográficamente, estas comunidades se asocian a llanuras de inundación fluvial, depresiones, ambientes palustres, deltas y planicies aluviales afectadas por la sedimentación y cambios en los cursos de los ríos. Esta clase también abarca comunidades de vegetación acuática e incluso vegetación flotante, sabanas con palmas y herbazales de hoja ancha sobre pantano.
- **Formación campestre o herbazal (Id: 12):** Abarca gran variedad de formaciones predominantemente herbáceas. Son comunidades caracterizadas por un estrato herbáceo más o menos denso y continuo en el que dominan las gramíneas. En la Amazonía puede incluir:

sabanas abiertas, sabanas arboladas, sabanas arbustivas, sabanas con palmas y chaparrales, sabanas abiertas secundarias y otras comunidades herbáceas secundarias.

- **Otra formación natural no forestal (Id: 13):** Está integrada por vegetación propia de los tepuyes, arbustales y herbazales compuestos por formas de crecimiento particulares tales como: hierbas de hoja ancha, tubiformes, arrosietadas y fruticasas sobre roca, arena y turba. Estas comunidades presentan una alta diversidad y endemismo.
- **Afloramiento rocoso (Id: 29):** Rocas expuestas naturalmente en la superficie de la tierra o exposición de material litológico como producto de deslizamientos. En la Amazonía, ocasionalmente con cobertura parcial de vegetación saxícola (aquella que crece en pedregales, paredes de roca o derrubios de ladera) o rupícola (crece en huecos y grietas de las rocas), las cuales constituyen comunidades altamente especializadas que crecen sobre sustratos rocosos.

Agropecuaria y silvicultura:

- **Silvicultura (Id: 9):** Cultivo monoespecífico de árboles (en pie), de especies comerciales.
- **Pasto (Id: 15):** Área de potreros en la que cobertura vegetal natural ha sido alterada o reemplazada mediante el cultivo de gramíneas y leguminosas que sirven para la alimentación del ganado.
- **Agricultura (Id: 18):** Cultivo de plantas con el objeto de aprovechar diversos órganos, que pueden ser frutos, hojas, tallos, raíces, tubérculos, etc. Agrupa gran diversidad de sistemas de producción extensivos a intensivos, cultivos de secano, cultivos de regadío y conucos.
- **Mosaico de agricultura y/o pastos (Id: 21):** Áreas donde la cobertura original ha sido modificada, eliminada o reemplazada por otros tipos de cubiertas vegetales para uso antrópico. Áreas convertidas en cultivos agrícolas y pastos plantados o naturales, en actividad o descanso.

Área sin vegetación:

- **Playa, duna o banco de arena (Id: 23):** Áreas de acumulación en las planicies de inundación de ríos y límites de cuerpos de agua, Estas suelen tener una superficie de arena o grava y están expuestas a cambios estacionales en el nivel del agua. Se caracterizan por la ausencia o escasez de cobertura vegetal. Ejemplos son: playas fluviales.
- **Infraestructura urbana (Id:24):** Área de asentamiento humano con infraestructura de entorno construido con edificaciones y vialidad. También incorpora las periferias urbanas que están en constante expansión. En la Amazonía, incluye comunidades indígenas.
- **Otra área antrópicas sin vegetación (Id:25):** Zonas modificadas o creadas por la actividad humana en las que la vegetación ha sido eliminada o no se ha desarrollado. Estas áreas incluyen espacios con diversas infraestructuras como: patios industriales, puertos, aeropuertos, represas, aeródromos, principales vías terrestres y otras infraestructuras fuera de áreas urbanas.
- **Minería (Id:30):** Áreas de extracción de minerales, generalmente con remoción del suelo y exposición del material litológico. Incluye diversos tipos de minería industrial. En la Amazonía, generalmente se presentan explotaciones de minerales metálicos, principalmente oro. Incluye extracción de tipo artesanal, ribereña o ilegal que resulta en la pérdida de cobertura vegetal, así como en la remoción y erosión del suelo.

Cuerpo de agua y No observado:

- **Río, lago u océano (Id:33):** Extensión de agua superficial natural o artificial. Comprende ríos, lagos, embalses, depósitos y otros cuerpos de agua.
- **No observado (Id: 27):** Áreas que no han podido ser identificadas en sus clases por presencia de nubes, sombra de nubes, ruido atmosférico o calidad de la imagen de satélite.

La clasificación de cobertura y uso de la tierra de la Amazonía venezolana se desarrolló siguiendo la metodología de MapBiomias, utilizando el algoritmo Random Forest y una leyenda común para toda la región amazónica. En el caso de Venezuela, las principales referencias utilizadas para mapear la cobertura vegetal fueron:

- El mapa de Guayana Venezolana de Huber (1995).
- El mapa de Formaciones Vegetales de Venezuela, elaborado por Huber y Oliveira (2010).
- La Colección 5 de cobertura y uso de la tierra generada con la plataforma MapBiomias Amazonía (2022).

Las formaciones vegetales propuestas por Huber (1995) fueron reagrupadas de acuerdo con las categorías de la leyenda de MapBiomias Amazonía (ver Tabla 4). El mapa de formaciones vegetales se utilizó como referencia para delimitar las regiones de clasificación, mientras que la Colección 5 sirvió como base para generar la nueva colección.

Tabla 4: Formaciones vegetales presentes en la Amazonía venezolana reagrupadas según las categorías de la leyenda de la colección 6 de MapBiomias Amazonía.

MapBiomias CLASE (ID)	REGIÓN	FORMACIONES VEGETALES
Bosque/Formación Forestal (ID:3)	<ul style="list-style-type: none"> • Amazonía baja • Delta • Tepuyes 	<ul style="list-style-type: none"> - Bosque, no inundable, siempreverdes de tierras bajas - Bosque, no inundable, premontano siempreverdes de tierras bajas. - Bosque, no inundable, semidecuidos de tierras bajas. - Bosque, no inundable, decuidos de tierras bajas. - Bosque, no inundable, premontano semidecuidos de tierras bajas. - Bosque basi y submontano siempreverdes. - Bosques montanos siempreverdes. - Bosques altimontanos siempreverdes - Bosques basi y submontano, decuidos. - Bosques basi y submontano siempreverdes. - Bosques submontano a montano siempreverdes. - Bosques altimontanos siempreverdes. - Bosques montanos semidecuidos. - Bosques basimontano semidecuidos. - Bosques sobre bauxitas, basimontano siempreverdes. - Bosques submontano a montano siempreverdes. - Bosques submontano semidecuidos. - Bosques submontano a montano siempreverdes. - Bosques submontano siempreverdes. - Bosques montanos siempreverdes. - Bosques montanos semidecuidos o subsiempreverdes. - Bosques basimontano,decuidos.
Sabana arbolada (ID:4)	<ul style="list-style-type: none"> • Amazonía baja 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos leñosos más comunes en las sabanas son: el chaparro (<i>Curatella americana</i>), el alcornoque (<i>Bowdichia virgilioides</i>) y el manteco (<i>Byrsonima crassifolia</i>).
Manglar (ID:5)	<ul style="list-style-type: none"> • Delta 	

Bosque inundable (ID:6)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	
Silvicultura (ID:9)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja 	
Formación natural no forestal inundable (ID: 11)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbustales inundables permanente. - Arbustales ribereños. - Sabanas arbustivas y/o con palmas. - Sabanas abiertas con palmares ribereños. - Sabanas abiertas, inundable periódico. - Sabanas abiertas con palmas, inundable periódico. - Herbazales de hoja ancha, en pantanos sobre turba, inundable permanente. - Herbazales de hoja ancha, en pantanos, inundable permanente. - Herbazales de hoja ancha, arbustivo, anegadizo sobre arena blanca, inundable periódico. - Vegetación acuática
Formación campestre o herbazal (ID:12)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbustales - Sabanas arbustivas mixtas con chaparrales - Sabanas abiertas - Sabanas arboladas - Sabanas arbustivas con palmas y chaparrales - Sabanas arbolada y arbustiva, no inundable - Sabanas arbustivas - Sabanas abiertas secundarias
Otra formación natural no forestal (ID: 13)	<ul style="list-style-type: none"> ● Tepuyes 	<ul style="list-style-type: none"> - Arbustales sobre arena y rocas - Arbustales y herbazales sobre turba y roca, altotepuyano - Arbustales sobre roca y turba, altimontanos - Arbustales sobre roca y turba - Arbustales sobre bauxita - Arbustales sobre arena blanca - Arbustales sobre turba, altotepuyano - Herbazales de hoja ancha, arbustivo sobre turba - Herbazales - Vegetación pionera
Pasto (ID: 15)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	
Agricultura (ID: 18)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	
Mosaico de Agricultura y/o pasto (ID: 21)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	
Playa, duna o arena (ID: 23)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja 	

Infraestructura urbana (ID:24)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	- Zonas urbanas
Otra área antrópica sin vegetación (ID: 25)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja 	- Áreas industriales, puertos mineros e infraestructura ubicada en embalses
Afloramiento rocoso (ID: 29)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Tepuyes 	- Afloramientos rocosos
Minería (ID: 30)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja 	- Uso minero
Río, lago u océano (ID: 33)	<ul style="list-style-type: none"> ● Amazonía baja ● Delta 	

5.2 Subregiones de clasificación

Las tres (3) regiones de los mosaicos se subdividieron en 61 subregiones de clasificación, tomando en cuenta criterios biofísicos y de cuencas hidrográficas disponibles para la Amazonía venezolana (ver tabla 5). A cada subregión se les asignó un código único.

Tabla 5. Subregiones de clasificación

Regiones	Código de la Subregión	Descripción
Amazonía Baja (49)	90201, 90202, 90203, 90204 90205, 90206, 90207, 90208 90209, 90210, 90211, 90212 90213, 90214, 90215, 90216 90217, 90218, 90219, 90220 90221, 90222, 90223, 90224 90225, 90226, 90227,90228 90231, 90232, 90233,90234 90235, 90236, 90237,90238 90239, 90240, 90241,90242 90243, 90244, 90245,90246 90247, 90248, 90249,90250 90251	Corresponde al 90,5% de la Amazonía venezolana, con una extensión de 553.379,4 km ² . Se extiende desde la costa atlántica en el delta del Orinoco hasta la frontera con Colombia y Brasil. Se caracteriza por una variedad de bosques tropicales y montanos. Desde bosques de tierras bajas que muestran el patrón típico de un mosaico horizontalmente estructurado, hasta los bosques de montaña que presentan un patrón de distribución vertical más regular dispuesto en cinturones altitudinales. En esta región también están presentes las formaciones de "savana". Están dominados por un estrato herbáceo de composición de gramíneas mientras que las formaciones de "herbazal", por el contrario, están formados por hierbas diferentes a las gramíneas. En estas regiones pueden presentarse sabanas con gramíneas que está asociada con un estrato leñoso (sabanas arboladas) o no (sabanas abiertas) - cuando está acompañado por palmas, se denominan sabanas en planicies inundables con palmas o morichales y herbazales sin gramíneas que puede ser abiertas o arbustivas.
Delta (06)	91301 91302 91303 91304 91305 91306	Abarca una superficie aproximada de 37.576,3 km ² , equivalente al 6,1% de la Amazonía venezolana. El Delta representa una extensa superficie de acumulación de sedimentos transportados por el río Orinoco, el cual tiene una cuenca de 1.100.000 km ² y una longitud de 2.060 km por donde drenan el 94,6% de las aguas superficiales del país. El Delta se ha dividido en tres subregiones naturales (superior, medio e inferior), sobre la base de la mayor o menor

influencia de depósitos fluviales y /o marinos y a la mayor o menor acción de las mareas, en la regulación del drenaje superficial.

Tepuyes (06)	90501	Los tepuyes son mesetas características del escudo guayanés, con paredes verticales y cimas relativamente planas. Corresponden a las formaciones geológicas expuestas más antiguas del planeta y ocupan aproximadamente 20.208,6 km ² ; sólo el 3,3% del territorio de la amazonia venezolana. La altitud de estas formaciones varía entre los 1.500 msnm hasta casi los 3.000 msnm. Se caracterizan por una variedad de formaciones desde bosques ombrófilo submicrotérnico o bosques tepuyanos y herbazales, hasta vegetación saxícola localizada sobre las superficies rocosas de los grandes tepuyes.
	90502	
	90503	
	90504	
	90505	
	90506	

Las subregiones de clasificación se definieron con los siguientes objetivos:

- Ajustar los parámetros de la metodología a las características específicas de cada subregión, lo que permite obtener una clasificación más precisa y adaptada a las particularidades de cada área, mejorando así los resultados.
- Reducir los tiempos de procesamiento en cada uno de los pasos de la metodología, optimizando el manejo de datos y acelerando el proceso de clasificación.

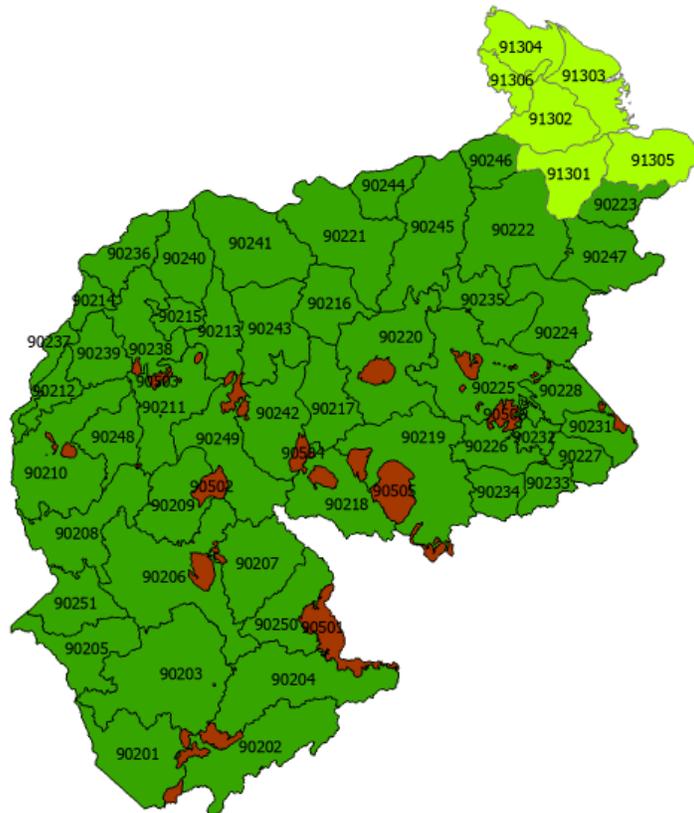


Figura 14: Regiones de clasificación definidas para la Amazonía venezolana

5.3 Metodología general

La clasificación de la Colección 6 se llevó a cabo utilizando el método de clasificación Random Forest. Como paso inicial, se realizó la recolección de muestras estables para cada una de las categorías de la leyenda a mapear, utilizando los productos de la Colección 5 de MapBiomias Amazonía (38 años). Para la Colección 6, las muestras de entrenamiento fueron generadas en lote para todas las subregiones (ver Tabla 7). El intérprete contribuyó con la inclusión de muestras complementarias para mejorar la precisión de las clasificaciones.

Posteriormente, se generó una clasificación preliminar para los 39 años cubiertos por la Colección 6 de MapBiomias Amazonía (1985-2023), utilizando como insumo principal las muestras de entrenamiento generadas (Tabla 6) y la información obtenida de los mosaicos Landsat. En la siguiente sección, se detallan los pasos específicos de la metodología general.

Tabla 6: Parámetros utilizados en el clasificador Random Forest

Región	Códigos	Número de muestras de entrenamiento exportadas		Número de árboles Random Forest
		Número de muestras (mínimo)	Número de muestras	
Amazonía baja	90201 a 90251	10.000	30.000	120
Delta	91301 a 91306	10.000	30.000	120
Tepuyes	90501 a 90506	10.000	30.000	120

5.4 Paso 2: Generación de muestras

5.4.1 Paso 2.0: Generación de píxeles estables

Una vez construidos los mosaicos de imágenes Landsat y definidas las clases a identificar dentro del área de estudio, se procedió a generar las primeras clasificaciones de cobertura, adaptando y probando los scripts metodológicos utilizados en colecciones anteriores por el equipo.

El proceso de clasificación comenzó con la generación de muestras estables para cada subregión. Estas muestras se emplean como datos de entrenamiento para identificar las diferentes clases de cobertura que serán clasificadas. Un píxel estable se define como aquel cuya clase de cobertura se repite consistentemente en todos los años de una serie temporal de imágenes. En Google Earth Engine (GEE), una muestra estable se genera a partir de los píxeles de cada clase que permanecen constantes en todos los años (1985-2022) de la Colección 5 de MapBiomias Amazonía. Por ejemplo, una muestra estable para la clase de formación forestal incluiría todos los píxeles que fueron clasificados como bosque en todos los años del período.

El paso 2.0 de la metodología general, para la generación de las muestras o píxeles estables, en el caso de la Amazonía venezolana fue diferente comparada con los demás países de la RAISG (como se explicó en la sección 3 de este documento). Con la finalidad de obtener un resultado más exacto y preciso se hizo lo siguiente:

- Se generó una primera imagen de muestras estables a partir de los datos 1985-2022 de la colección 5 de cobertura y uso.

- Se agregó el shapefile ‘bosque-mal-clasificado’ como polígono de exclusión para delimitar aquellas zonas que no serían consideradas como bosque dentro de los píxeles estables. Este asset se creó a partir de un archivo shapefile construido y trabajado localmente.
- Se hizo una corrección a todas las clases en la capa de píxeles estables a partir de la altura haciendo uso la capa de altura del dosel (Potapov et. al, 2021).

Los scripts se encuentran en la dirección de Google Earth Engine: [susers/Mosaico_Clasification/ma-biomas-venezuela/LANDSAT/AMAZONIA-6/](https://code.earthengine.google.com/susers/Mosaico_Clasification/ma-biomas-venezuela/LANDSAT/AMAZONIA-6/)

El script utilizado para generar las clases estables es el siguiente:

- [02-0-pxeles-estables.js](#).

Un ejemplo de los resultados obtenidos se observa en la figura 15.

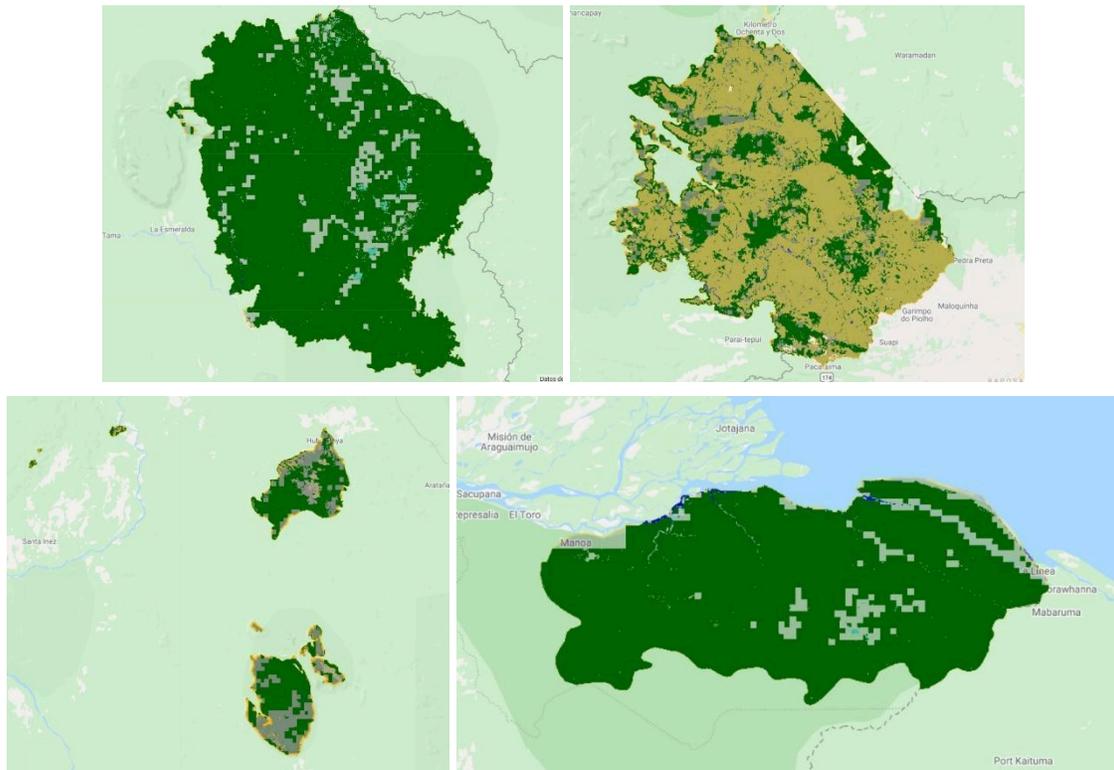


Figura 15: Muestras estables de cuatro regiones de la Amazonía venezolana. Esquina superior izquierda: 90207, superior derecha 90227, inferior izquierda 90502, inferior derecha 91301

5.4.2 Paso 2.1: Cálculo de áreas de entrenamiento

El paso 2.1 permitió generar una capa vectorial que contiene las áreas (en km²) de cada cobertura presente en la imagen de píxeles estables producida en el paso 2.0. Esta capa vectorial se utilizó para ponderar el número de muestras de entrenamiento que se generarán para cada una de las clases presentes en la leyenda, asegurando así una distribución adecuada de las muestras según la extensión de cada clase en el área de estudio.

El script utilizado para calcular el área de cada clase estable es el siguiente:

[02-1-areas-de-entrenamiento.js](#)

5.4.3 Paso 2.2: Generación de muestras de entrenamiento

En esta etapa del procesamiento se generan los puntos de entrenamiento correspondientes a cada clase estable de cobertura y/o uso del suelo. Estos puntos se generan aleatoriamente sobre la imagen de muestras estables obtenida del paso 2.0; siendo la muestra de entrenamiento proporcional al área que ocupa cada clase.

El script utilizado para generar los puntos de entrenamiento es el siguiente: [02-2-muestras-de-entrenamiento.js](#). Este script permite obtener los puntos (muestras tomadas de los mosaicos Landsat) de cada cobertura presente en la imagen de píxeles estables obtenida del paso 2.0.

En la figura 16 se muestra un ejemplo de los puntos de entrenamiento generados sobre la subregión 90217 de la Amazonía venezolana.

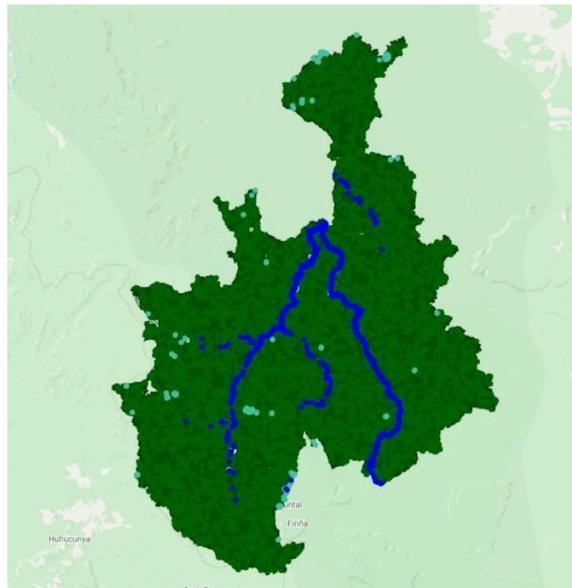


Figura 16: Detalle de la subregión 90217 donde se muestran los puntos de muestreo en cada clase de cobertura y uso.

5.5 Paso 3: Clasificación preliminar

5.5.1 Paso 3.0: Clasificación

Utilizando los mosaicos Landsat generados en el paso 1 y los puntos de entrenamiento obtenidos en el paso 2, se construyeron las clasificaciones anuales preliminares de cobertura y uso para las 61 subregiones de la Amazonía venezolana. Estas clasificaciones se crearon con el algoritmo de clasificación 'Random Forest', con una cantidad definida de árboles de decisión por región.

El script utilizado para generar la clasificación es el siguiente: [03-0-clasificacionjs](#).

En la figura 17 se muestra la clasificación generada para la subregión 90205, años 2005 y 2010.

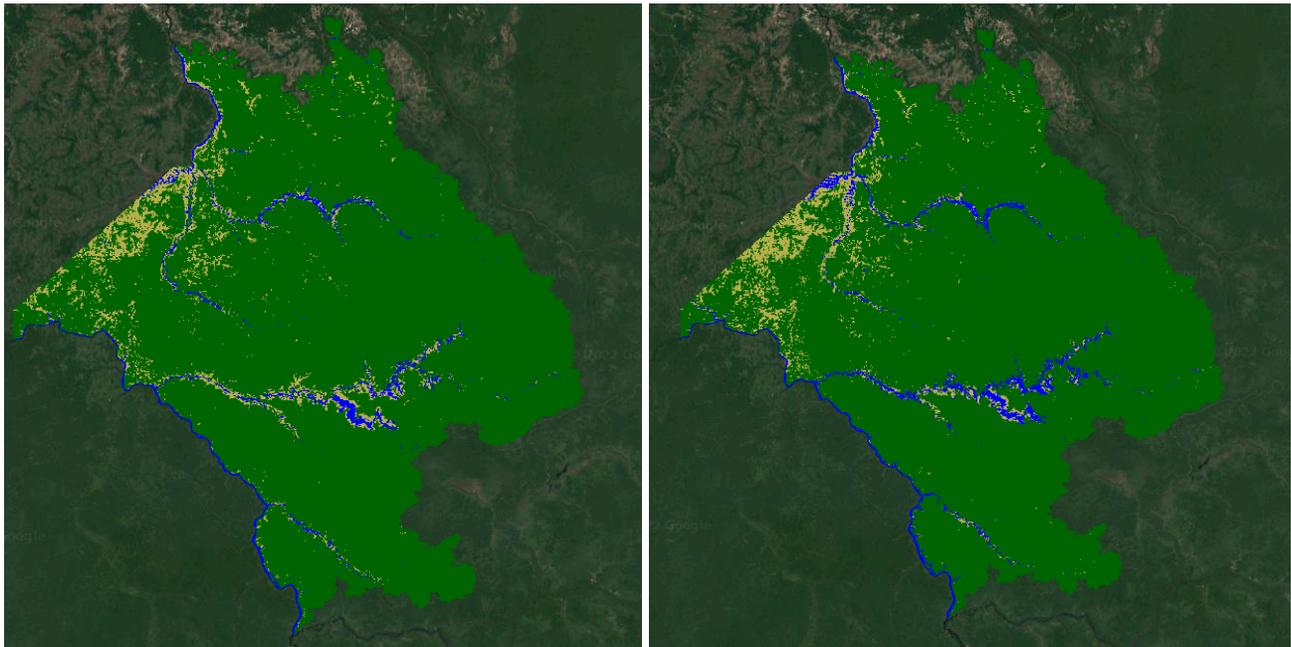


Figura 17: Clasificación preliminar de cobertura y uso para la región 90205 de la Amazonía venezolana, año 2005 (izquierda) y 2010 (derecha).

5.5.2 Paso 3.1: Gap Fill (Llenado de píxeles sin información)

En este paso, se busca reducir la cantidad de píxeles vacíos utilizando el procedimiento conocido como **Gap Fill** (relleno de vacíos). Este método consiste en reemplazar el valor de un píxel sin información por el valor de un píxel correspondiente a años anteriores o posteriores que contenga datos válidos (diferentes de vacío) (ver figura 18). Esta técnica mejora la continuidad y la integridad de la información en la serie temporal de imágenes.

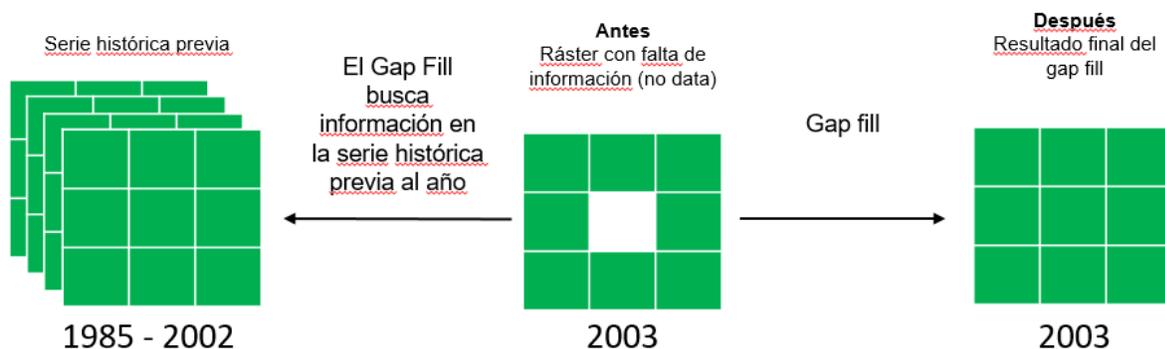


Figura 18: Esquema de actuación del Gap Fill

Este procedimiento se desarrolla en dos etapas:

- **Etapa 1:** Para los píxeles vacíos en un año determinado, se realiza una búsqueda secuencial en los años previos para encontrar píxeles con datos válidos. Cuando se encuentra un valor, este se asigna a los píxeles sin información.

- **Etapa 2:** Con el resultado de la primera etapa, se repite el proceso de llenado, pero ahora utilizando los años posteriores para completar aquellos píxeles que aún permanecen sin datos. Este enfoque asegura que se minimice la cantidad de píxeles vacíos en la serie temporal.

En la figura 19 se observa el resultado de las clasificaciones antes y después de aplicar el gap fill.



Figura 19: Área donde se muestra un ejemplo del antes y después de la aplicación del Gap Fill para el año 2000, región 90203

6. Paso 4: Post-clasificación - Filtros

6.1 Filtro temporal

A las clasificaciones obtenidas, luego de la aplicación del Gap Fill, se les aplicó un filtro temporal con el fin de mejorar el resultado general, con base a la información de la serie histórica. Este proceso se llevó a cabo por región y por año. El filtro temporal se ejecutó implementando tres tipos de reglas:

- **Regla del primer año (RP):** Esta regla corrige el valor del primer año (1985), con base en los valores de los siguientes 3, 4 o hasta 5 años.
- **Regla del último año (RU):** Corrige el valor del último año (2023) de la colección tomando en cuenta los valores de los 2 años anteriores a este.
- **Regla del valor medio o general:** Con esta regla se busca corregir el dato de los píxeles de años intermedios de la serie, que no son los extremos, en función de los valores de los píxeles de años que le anteceden y suceden. Esta regla modifica valores en las clasificaciones de los años 1986 al 2022 y es aplicada en secuencias de 3 a 5 años. La regla se aplica únicamente en casos donde hay una inconsistencia temporal; por ejemplo, cuando secuencias de años consecutivos tienen valores idénticos a excepción del píxel en posición central. En estos casos, el filtro modificará el valor del píxel central para que guarde consistencia con los píxeles que le anteceden y suceden. En el caso de secuencias de 3 años, solo existe una opción de posición

central o año intermedio. En el caso de secuencias de 4 o 5 años, existen dos o tres alternativas de posiciones centrales.

En la figura 20 se muestran las reglas de uso en el filtro temporal, con estos tres tipos de reglas se busca llenar píxeles con vacíos de información y corregir inconsistencias temporales. Por ejemplo, si en tres años consecutivos un píxel tiene los siguientes valores: Formación forestal > Área sin vegetación > Formación forestal, el filtro corregirá el año intermedio asignándole el valor de formación forestal. Además, estas reglas se aplicaron dentro de ventanas o períodos de tiempo de tres, cuatro y cinco años, en cada uno de los casos.

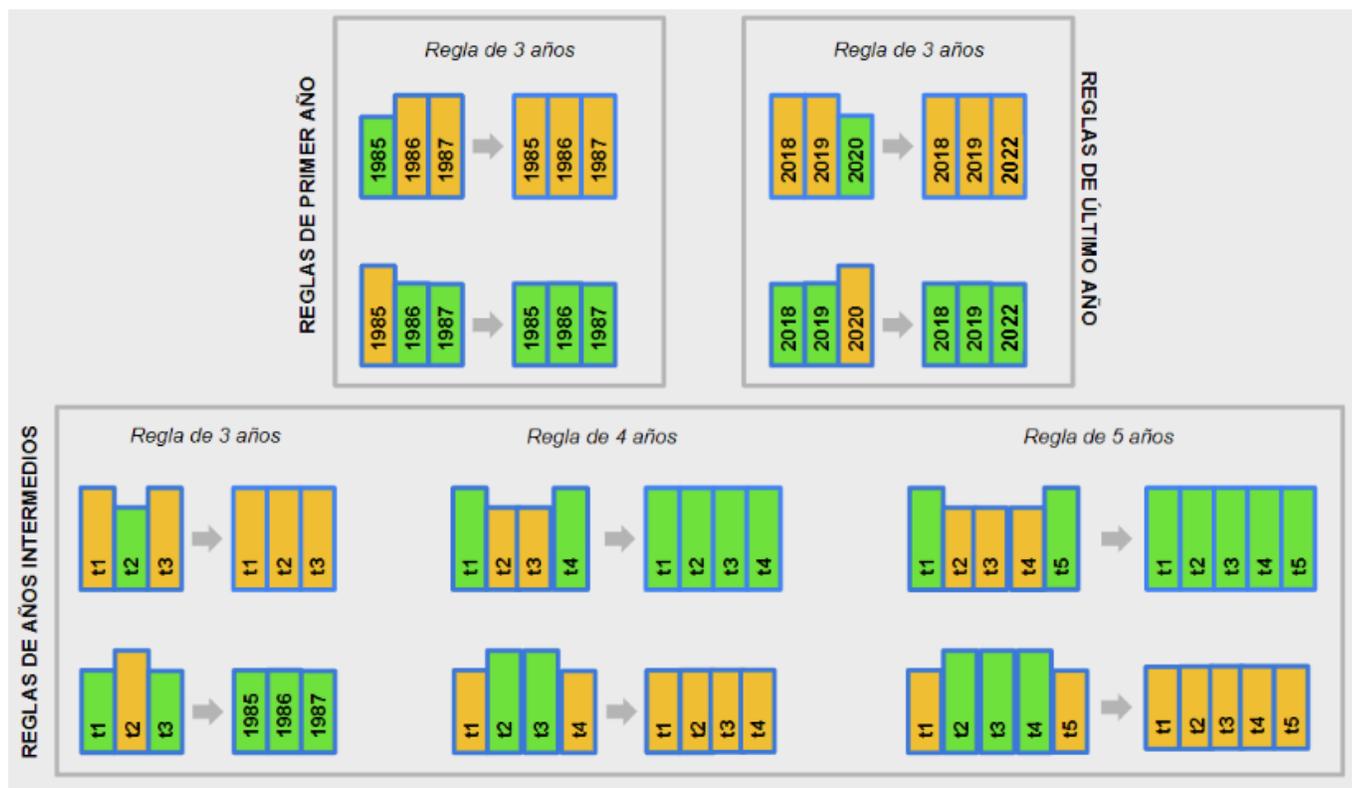


Figura 20: Reglas de uso en el filtro temporal.

Para cada región se definió un orden de ejecución (tabla 7) de los filtros que se aplicaron a cada una de las clases, por ello fue necesario modificar tres parámetros del script:

- `ordem_exec_first`: orden de ejecución de las clases para el primer año
- `ordem_exec_last`: orden de ejecución de las clases para el último año
- `ordem_exec_middle`: orden de ejecución de las clases para los años intermedios

Tabla 7: Parámetros para el orden de ejecución o prioridad en 36 subregiones de la Amazonía venezolana

Código de la región	Orden de ejecución del primer año	Orden de ejecución del último año	Orden de ejecución de los años intermedios
90201	3, 12, 11	3, 12, 11	33, 3, 12
90202	3,12	3,12	3,12
90203	3, 12, 33	3, 12	3, 12, 33
90207	33	33	33
90208	3	3, 12	3, 12

90209	Primer filtro temporal: 3,12 Segundo filtro temporal: 3	Primer filtro temporal: 3,12 Segundo filtro temporal: 3	Primer filtro temporal: 3,12 Segundo filtro temporal: 3
90210	3	3	3, 12, 33
90211	33	33	33
90213	3	3	3
90214	3, 12, 33	3, 12	3, 12, 33
90215	3, 12	3	3, 12, 33
90218	33	33	33
90220	12	12	12
90221	3, 12, 33	3	3, 12, 33
90222	3, 12, 33	3	3, 12, 33
90223	3	3, 12, 33	3, 12
90224	3, 12	3	3, 12
90226	Primer filtro temporal: 3 Segundo filtro temporal: 12	Primer filtro temporal: 3 Segundo filtro temporal: 12	Primer filtro temporal: 3 Segundo filtro temporal: 12
90501	3, 6, 12, 11, 13,29	25	14, 3, 30, 12, 33
90502	29, 12	29, 12	29, 12
90503	3,12,29	3,12	33, 3, 12, 29
90504	29,12	29,12	29,12
90505	3, 29	3, 12	3
90506	3, 29,12	3, 29	33, 3, 29,12
91302	3, 12, 33	3, 12, 33	3, 12, 33

En la figura 21 se muestra un ejemplo del resultado del filtro temporal aplicado a la clasificación del año 2017, donde se puede observar como los píxeles aislados y que generaban ruido en la clasificación son corregidos con valores consistentes espacialmente.

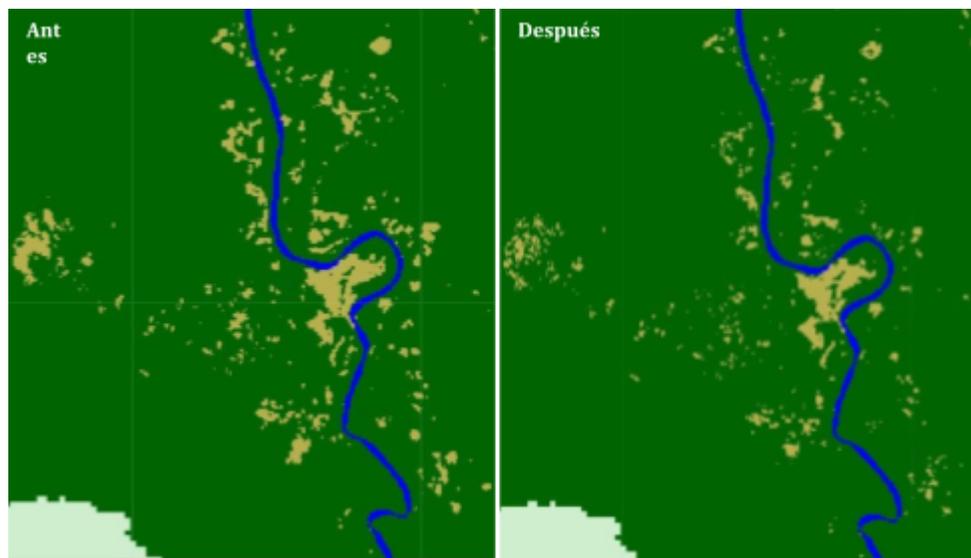
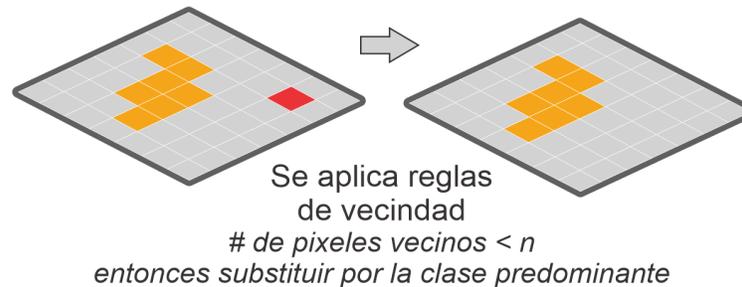


Figura 21: Representación del antes y después de la aplicación del filtro temporal para el año 2017

6.2 Filtro espacial

La aplicación del filtro espacial tiene como finalidad eliminar píxeles aislados e inconsistencias de continuidad. Este filtro se basa en la función “connectedPixelCount” de GEE. Esta función localiza píxeles conectados (vecinos) que compartan el mismo valor empleando una ventana móvil. Únicamente los píxeles que no comparten una conexión con un número predefinido de vecinos idénticos son considerados como píxeles aislados.



El valor fijado de píxeles conectados fue 5. De este modo, el filtro espacial elimina píxeles aislados o de borde menores a 0,5 ha (5 píxeles) unidad mínima de mapeo, incrementando la consistencia espacial de las calificaciones, como puede observarse en el ejemplo de la figura 22.

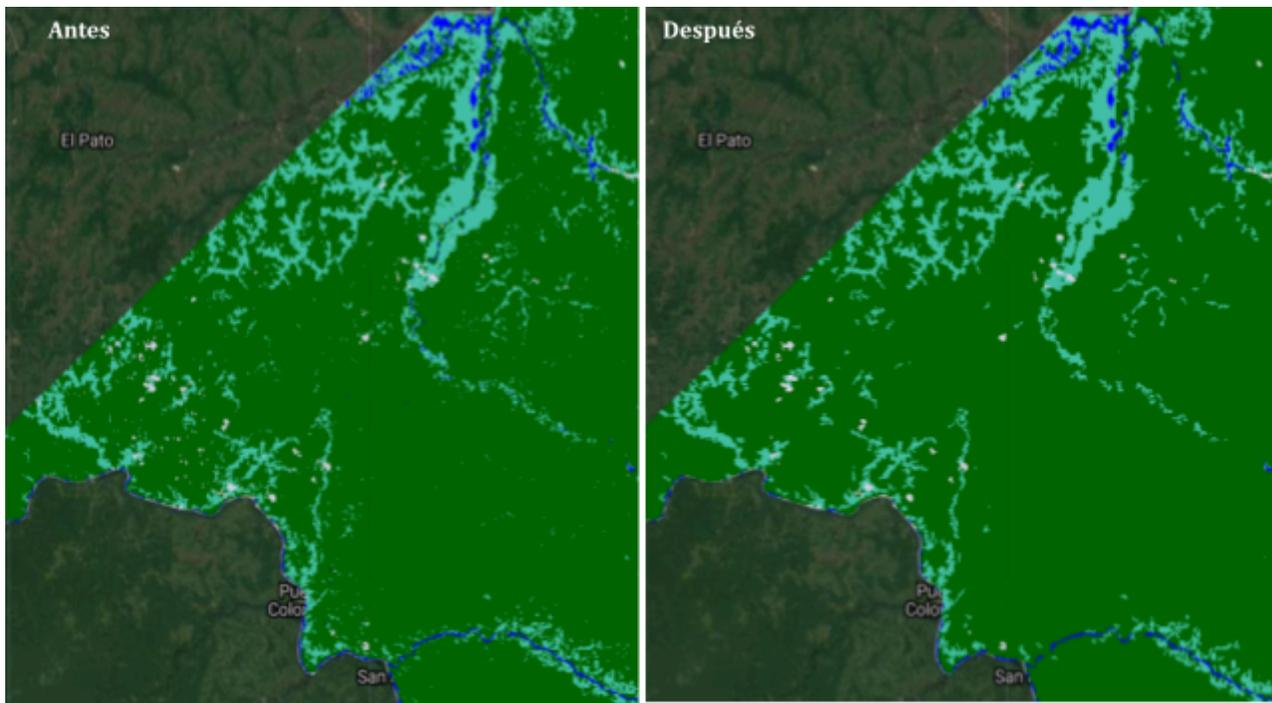


Figura 22: Ejemplo del antes y después de la aplicación del filtro espacial para el año 2018

6.3 Integración

El proceso de integración consistió en generar la versión final de los mapas de cobertura y uso de la tierra para el período 1985-2022, creando los assets finales de las clasificaciones. En este proceso se combinaron los resultados obtenidos tanto de la clasificación del mapa general como de los temas transversales. Se aplicaron una serie de reglas de prevalencia, también conocidas como orden de

integración, que permitieron obtener el mejor resultado posible, de acuerdo con los criterios de mapeo establecidos para cada una de las clases incluidas en la leyenda. En la Tabla 8 se presentan las reglas de integración específicas para Venezuela.

Tabla 8. Reglas de prioridad para la integración de clases

Prevalencia	Nombre de la clase	ID de clase	Fuente
1	Afloramiento rocoso	29	Mapa general
2	Minería	30	Tema transversal
3	Pasto	15	Mapa general y tema transversal
4	Agricultura	18	Mapa general y tema transversal
5	Mosaico de agricultura y/o pasto	21	Mapa general
6	Infraestructura urbana	24	Tema transversal
7	Bosque inundable	6	Tema transversal
8	Formación natural no forestal inundable	11	Tema transversal
9	Formación campestre	12	Mapa general
10	Río, lago u océano	33	Tema transversal
11	Otra formación natural no forestal	13	Mapa general
12	Manglar	5	Tema transversal
13	Sabana arbolada	4	Mapa general
14	Formación Forestal/Bosque	3	Mapa general
15	Otra área sin vegetación	25	Mapa general
16	No observado	27	Mapa general

7. Referencias

- Diniz, C.; Cortinhas, L.; Nerino, G.; Rodrigues, J.; Sadeck, L.; Adami, M.; Souza-Filho, P.W.M. (2019). Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis. *Remote Sens.* 11, 808.
- Huber, Otto (1995). Guayana Venezolana: Mapa de Vegetación. 1:2.000.000. Anexo a Steyermark et al 1995, Flora of the Venezuelan Guayana Volume 1.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2018). Proyecciones de Población 2018, Enlace: <http://www.ine.gov.ve/>.
- MARN. (2003). Mapa de Vegetación de Venezuela 1:2.000.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales (MARN), Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar; Caracas.
- MPPAMB. (2014). Ecosistemas de Venezuela. 1: 2.000.000. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente; Caracas.
- Proyecto MapBiomias Amazonía - Colección 6 de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo, a los que se accede en [fecha] a través del enlace: <https://amazonia.mapbiomas.org/>
- Rodríguez, J.P., F. Rojas-Suárez y D. Giraldo Hernández (eds.) (2010). Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.
- Señaris, J. C., D. Lew y C. Lasso (eds.). (2009). Biodiversidad del Parque Nacional Canaima: bases técnicas para la conservación de la Guayana venezolana. Fundación La Salle de Ciencias Naturales y The Nature Conservancy. Caracas. 256 pp

- Steyermark, Julian; Berry, Paul; Holst, Bruce (eds.) (1995). Flora of the Venezuelan Guayana Volume 1: Introduction. Missouri Botanical Garden. ISBN 0-88192-313-3.
- Potapov, P; Xinyuan, Li; Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A.; Hansen M. C.; Kommareddy, a. et al. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data Remote Sensing of Environment, 253, Article 112165.
- Arévalo, P.; Bullock, E.; Woodcock, c. y Olofsson, P. (2020). A Suite of Tools for Continuous Land Change Monitoring in Google Earth Engine. Front. Clim. 2, 576740.