

RAISG

RED AMAZÓNICA DE INFORMACIÓN
SOCIOAMBIENTAL GEORREFERENCIADA



MAPBIOMAS

VENEZUELA

Documento Teórico Base de Algoritmos

(ATBD)

RAISG - MapBiomás Venezuela - Colección 1

Versión 1

Noviembre de 2023

Resumen Ejecutivo

El objetivo de este Documento Base Teórico de Algoritmos, es proporcionar a los usuarios la documentación de la plataforma *Google Earth Engine* para la gestión y análisis de los datos geoespaciales, la disponibilidad y el conjunto de datos incorporados en el análisis, los métodos, algoritmos computacionales y productos de MapBiomias Venezuela. Esta iniciativa está integrada por dos componentes: la Colección 5 de MapBiomias Amazonía y la Colección 1 de MapBiomias Norte, cuya extensión abarca todo el territorio al norte del río Orinoco y constituye la primera colección fuera de la Amazonía en Venezuela. Estas colecciones de mapas, se generaron de forma independiente, aunque son espacialmente complementarias y comparten la misma leyenda integrada por 20 categorías, para conformar la Colección 1 de MapBiomias Venezuela, a escala de procesamiento 1:100.000. La unión de estas colecciones abarca la totalidad del territorio nacional y consiste en el mapeo anual de la cobertura y uso del suelo entre los años 1985-2022.

La metodología empleada se sustenta en la plataforma de análisis y manejo de datos geoespaciales en la nube *Google Earth Engine*, en el empleo de algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*) y de clasificación de bosques aleatorios (*Random forest*), con que se generan de múltiples clasificadores para mejorar la precisión en las clasificaciones de imágenes satelitales. Está integrada por siete fases: 1) Selección de imágenes y conformación de mosaicos Landsat; 2) adquisición de la muestra de entrenamiento; 3) generación de muestra por año de la serie temporal; 4) clasificación con *Random forest*, para generar el mapa general; 5) post-clasificación se aplican filtros que contribuyen a corregir aspectos relativos a patrones en la serie; 6) integración se unen dos grupos de clasificaciones, las que son parte del mapa general y los llamados temas transversales y 7) validación de la colección para determinar la precisión global y por clase.

Los alcances y limitaciones de las clasificaciones y productos obtenidos, se incorporan al final del documento como consideraciones prácticas y se plantean los principales desafíos para superar las limitaciones y mejorar la calidad de los productos de cara a futuras colecciones. Para tener acceso a todos los productos del proyecto, se construyó una plataforma pública de divulgación, descarga y consulta de datos de MapBiomias Venezuela (<http://venezuela.mapbiomas.org>).

CONTENIDO

Resumen Ejecutivo	i
Contenido	ii
Lista de Figuras	v
Lista de Tablas	v
Acrónimos y Abreviaturas	vi
1. Introducción	1
1.1. Alcance	2
1.2. MapBiomias Venezuela	3
1.3. Área de estudio	5
1.4. Aplicaciones	6
2. Información básica y antecedentes	7
2.1 Contexto institucional	8
2.1.1. Iniciativa RAISG para el mapeo de la deforestación	8
2.1.2 Iniciativa MapBiomias Network	9
2.1.3 Hacia la conformación de una red nacional: MapBiomias Venezuela	11

2.2 Datos de Percepción Remota	12
2.3. <i>Google Earth Engine</i> y MapBiomias Venezuela	13
2.4. Otras iniciativas de mapeo recientes	14
2.4.1. Fuentes mundiales	15
2.4.2 Fuentes para la región de Suramérica	16
2.4.3 Otras iniciativas nacionales de cartografía	18
3. Metodología	22
3.1 Generación de mosaicos anuales	24
3.1.1. Parametrización de mosaicos anuales	25
3.1.2. Variables de clasificación (<i>feature space</i>)	27
3.2 Obtención de muestras de entrenamiento	32
3.2.1. Regiones de clasificación	32
3.2.2. Leyenda de MapBiomias Venezuela	33
3.3 Creación de muestras por año	36
3.4 Clasificación con el algoritmo <i>Random forest</i>	36

3.4.1 Relleno de vacíos de información (<i>Gap fill</i>)	36
3.5. Post clasificación	38
3.5.1 Filtro Temporal	39
3.5.2 Filtro Espacial	40
3.5.3 Filtro de frecuencia	41
3.5.4. Reclasificación	42
3.6 Integración	42
3.6.1. Temas transversales	42
3.6.2 Reglas de Prevalencia en la integración	43
3.6.3 Mapas de transiciones	45
3.6.4 Estadísticas	45
3.7 Evaluación de la precisión	46
4. Consideraciones prácticas	46
4.1 Metodología y plataforma de procesamiento de datos	46
4.2 Colección 1 de MapBiomias Venezuela	47
4.3 La leyenda de MapBiomias Venezuela	48
4.4 Diferencias entre los resultados del norte de Venezuela y MapBiomias Amazonía	48

4.5 Características de las clases de cobertura y uso del suelo	49
5. Desafíos	50
6. Referencias	51
APÉNDICE. Descripción de las 20 clases de la leyenda de MapBiomás Venezuela.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes de MapBiomias Venezuela: MapBiomias Norte y MapBiomias Amazonía	6
Figura 2. Organizaciones que conforman la iniciativa MapBiomias Venezuela	12
Figura 3. Ejemplo de la interfaz del tablero de consulta de MapBiomias Amazonía	14
Figura 4. Mapa Guayana Venezolana (Huber, 1995)	19
Figura 5. Mapa de Vegetación de Venezuela (MARNR, 2003)	19
Figura 6. Mapa de Formaciones Vegetales de Venezuela (Huber y Oliveira, 2010)	20
Figura 7. Mapa de Ecosistemas de Venezuela (MPPA, 2014)	20
Figura 8. Mapa de cobertura y uso del suelo (RAISG, 2019)	21
Figura 9. Metodología	23
Figura 10. Cobertura de mosaicos de MapBiomias Venezuela	24
Figura 11. Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes	26
Figura 12. Funcionalidad del filtro de <i>Gap Fill</i> en la Colección 5 MapBiomias Amazonía	28
Figura 13. Mapa de regiones definidas en para la clasificación de los componentes de MapBiomias Venezuela	33
Figura 14. Funcionalidad del filtro de <i>Gap fill</i> en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía	38
Figura 15. Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía	40
Figura 16. Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía	41
Figura 17. Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía	42

Figura 18. Esquema de temas transversales aplicados en la Colección 1 de MapBiomias Venezuela	43
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área de los componentes de MapBiomias Venezuela	5
Tabla 2. Descripción de bandas y variables empleadas en las clasificaciones de MapBiomias Venezuela	29
Tabla 3. Códigos de las clases de cobertura y uso del suelo.	35
Tabla 4. Reglas de prevalencia para la fase de integración.	44

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ATDB	<i>Algorithm Theoretical Basis Document</i> (Documento Base Teórico de Algoritmos)
CAI	Color Alteration Index (Índice de Alteración del Color)
CCI	<i>Climate Change Initiative</i> (Iniciativa sobre el Cambio Climático)
CFMask	<i>The C Function of Mask</i> . Es un algoritmo que permite llenar los píxeles cubiertos por nubes, sombras de nubes y los píxeles de nieve/hielo
CLC	<i>CORINE Land Cover</i> (Cobertura y uso del territorio en la Unión Europea)

CLOUD	Abundancia fraccional de nubes dentro del píxel
CORINE	<i>Coordination of Information on the Environment</i> (Coordinación de Información del Medio Ambiente, está dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente).
ESA	<i>The European Space Agency</i> (Agencia Espacial Europea)
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i> (Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales, empresa desarrolladora de ArcGIS)
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i> (Mapeador temático mejorado +)
EVI2	<i>Enhanced Vegetation Index 2</i> . Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que solo utiliza NIR y Red, sin la banda azul.
FNS	Índice basada en fracciones gv, shade y soil
GCVI	Relaciones entre bandas infrarrojo cercano y verde
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GLC	<i>Global Land Cover</i>
GLI	Índice de hoja verde
GV	Abundancia fraccional de vegetación verde dentro del píxel
HALLCOVER	Índice espectral de cubierta terrestre
HAND	Height Above the Nearest Drainage. (Índice- Altura por encima del drenaje más cercano).
LULC	<i>Land Use / Land Cover</i> (Cobertura y uso del suelo).

NASA	<i>The National Aeronautics and Space Administration</i> (Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de EEUU)
NDBI	Índice acumulado de diferencia normalizada
NDFI	Índice de fracción de diferencia normalizada
NDFIB	Adaptación del NDFI para los Andes
NDGB	Diferencia normalizada Verde Azul
NDMI	Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad
NDRB	Diferencia Normalizada Rojo Azul
NDSI	<i>Normalized Difference Snow Index</i> (Índice Diferencial Normalizado de Nieve).
NDSI2	Diferencia Normalizada de suelo 1
NDVI	<i>Normalized difference vegetation index</i> (Índice de vegetación de diferencia normalizada).
NDWI_GAO	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)
NDWI_MCFEETERS	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeters)
NIR	<i>Near infrared</i>
NPV	Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética dentro del píxel
NUACI	Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas

MDMIR	Índice de infrarrojo medio de diferencia normalizada
MNDWI	Índice de agua de diferencia normalizada
PRI	Índice de reflectancia fotoquímica (<i>Photochemical Reflectance Index</i>)
RAISG	Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada.
SAVI	Índice de vegetación ajustada al suelo
SEFI	Índice de fracción del ecosistema de sabana
SERENA	Red Latinoamericana de Monitoreo y Estudio de Recursos Naturales
SHADEMASK2	Mapa de sombras
SLPPOST	Pendiente Estratificada
SOIL	Abundancia fraccional de suelo dentro del pixel
SHADE	Abundancia fraccional de sombra dentro del pixel
SNOW	Abundancia fraccional de nieve dentro del pixel
TEXTG	Entropía en la banda Azul
TIRS	<i>The Thermal Infrared Sensor</i> (Sensor infrarrojo térmico, de <i>Landsat</i>)
TM	<i>Thematic Mapper</i> (Mapeador temático, sensor <i>Landsat</i>).
OLI	The Operational Land Imager (El generador de imágenes terrestres operacional, sensor <i>Landsat</i>).

USGS

United States Geological Survey (El Servicio Geológico de EEUU).

WEFI

Índice de fracciones del ecosistema de humedales

Introducción

La Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada ([RAISG](#)), es un consorcio de organizaciones de la sociedad civil de los países amazónicos orientado a la sostenibilidad socioambiental de la Amazonía, con apoyo de la cooperación internacional. La RAISG genera y difunde conocimientos, información socioambiental y datos estadísticos geoespaciales de la Amazonía, elaborados con protocolos comunes para todos los miembros de la red, enfocados en una visión integral de la región. Está integrada por los siguientes países: Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela; e involucra a una amplia gama de especialistas en sensores remotos, geografía, ecología, ingeniería ambiental y forestal, ciencias de la computación, ciencias humanas, periodismo, diseño, entre otras profesiones.

MapBiomass es una red de colaboración conformada por organismos no gubernamentales, universidades y empresas de Brasil, organizadas con el objetivo de emplear una tecnología de calidad y de menor costo para producir mapas anuales de mapas de cobertura y uso del suelo, en series de más de tres décadas de acuerdo a la disponibilidad de colecciones de imágenes satelitales. En 2015 MapBiomass lanza la primera colección de mapas de cobertura y uso del suelo de Brasil. Por otra parte, desde el año 2009 la RAISG venía trabajando en la construcción de mapas de deforestación de la Amazonía, aplicando herramientas de procesamiento de datos satelitales cada vez más avanzadas, de manera que la búsqueda de nuevas alternativas para la automatización de los procesos y la generación de información. En 2017 se hace una alianza entre RAISG y MapBiomass. Esta alianza, aporta la plataforma, métodos y procesos basados en el procesamiento en la nube de grandes volúmenes de datos, lo que propició las condiciones para crear la iniciativa MapBiomass Amazonía.

Desde 2017 Venezuela a través de la iniciativa MapBiomass Amazonía comienza a generar mapas anuales de cobertura y uso de la Amazonía venezolana, que permiten analizar los cambios espaciales a lo largo de series temporales, con estándares compartidos que se emplean en toda la red de MapBiomass. De manera que desde el año 2018, se realizan lanzamientos anuales de colecciones de mapas de cobertura y uso del suelo de la Amazonía venezolana. Cada colección ha incorporado mejoras en la extensión de la serie temporal y las coberturas mapeadas.

Recientemente, la iniciativa MapBiomias se extendió a las regiones no amazónicas de los países de la Amazonía y a otros países de Suramérica como Argentina, Chile y Paraguay. También a otros continentes, como es el caso de la iniciativa en Indonesia. Estas experiencias confirman el gran potencial de la plataforma de MapBiomias para producir colecciones de mapas anuales de cobertura y uso del suelo que reflejan la dinámica de las transformaciones, en diferentes regiones tropicales y subtropicales. Este crecimiento da origen a la red global de MapBiomias conocida como MapBiomias Network, en el que las iniciativas nacionales y regionales involucran investigadores e instituciones locales.

En 2022, la iniciativa MapBiomias se extendió fuera de la región amazónica en seis de los nueve países que forman parte de la Amazonía, ya que solamente Guyana, Surinam y la Guayana Francesa, están totalmente contenidos en la región amazónica. El resto de los países (Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela), poseen alguna porción territorial que pertenece a regiones no amazónicas y son las que tienen una primera colección este año, para complementar las series cartográficas que permiten alcanzar el mapeo de la totalidad del territorio de los países amazónicos. Estos avances en la ampliación territorial de la iniciativa, se enmarcan en la visión de la RAISG de generar en el futuro cercano cartografía de toda Sudamérica.

También se presenta un contexto histórico y antecedentes, así como una descripción general del conjunto de datos de imágenes satelitales y el método de evaluación de la precisión. Estos documentos técnicos pueden consultarse en: (<http://venezuela.mapbiomas.org>).

1.1. Alcance

El objetivo del documento teórico base de algoritmos (ATBD, por sus siglas en inglés), es describir los principales fundamentos teóricos, la justificación y los métodos aplicados para producir mapas anuales de cobertura y uso del suelo para todo el territorio de Venezuela¹, desde el año 1985 hasta 2022. Estos mapas se generaron a partir de dos colecciones de mapas de manera

¹ Sin incluir al Archipiélago Los Monjes, Isla de Aves y a la Guayana Esequiba (Zona en Reclamación), sujeto al Acuerdo de Ginebra de 17 de febrero de 1966.

independiente: una colección que corresponde al territorio ubicado al norte del río Orinoco, denominada MapBiomias Norte y otra al sur del río Orinoco, que mantiene la trayectoria de generación de series de mapas con la Colección 5 de MapBiomias Amazonía. Estos productos son espacialmente complementarios y permiten conocer la cobertura y uso de Venezuela, proporcionando por primera vez, series temporales de mapas de cobertura y uso de 38 años, a una escala semidetallada (escala 1:100.000). Este documento incorpora los métodos de clasificación de imágenes *Landsat* (L5, L7, L8), los pasos para el procesamiento de imágenes en *Google Earth Engine* (GEE) y los productos generados para Venezuela.

1.2. MapBiomias Venezuela

En el año 2019 se realizó el lanzamiento de la Colección 1 de MapBiomias Amazonía, a partir de ese año se han producido colecciones de mapas anuales sucesivas que incorporan mejoras en los métodos de clasificación y detección de coberturas, así como en el número de categorías de leyenda. Así la Colección 4 de MapBiomias Amazonía abarca la serie 1985-2021 y generó una leyenda de 14 categorías de cobertura. Esta trayectoria de cuatro colecciones de mapas permitió abordar el enorme reto que implica extender el área de cartografiado de MapBiomias al norte de Venezuela. De este modo, se originó MapBiomias Norte en el año 2023 con el propósito de complementar la cartografía que se ha venido desarrollando en la región amazónica. La incorporación de las regiones no amazónicas de Venezuela (MapBiomias Norte), se realizó con el objeto de comprender la dinámica de la cobertura y uso de suelo (LULC, por sus siglas en inglés) para alcanzar toda la extensión del país y se ejecutó de manera paralela la Colección 5 de MapBiomias Amazonía.

El territorio al norte del río Orinoco en Venezuela, es el que comprende la iniciativa MapBiomias Norte, ocupa alrededor del 49 % del territorio nacional, aunque el área es similar a la de MapBiomias Amazonía, el esfuerzo necesario para la producción cartográfica es significativamente mayor, debido a que presenta una enorme diversidad de paisajes, relieves y climas, asociados a la fachada al Mar Caribe, la presencia de diversos sistemas montañosos como la Cordillera de la Costa, la Cordillera de los Andes y los Llanos, lo que le confiere una gran diversidad de ecosistemas y paisajes que son parte y sustento de la mega diversidad biológica de Venezuela. Adicionalmente, alberga a más del 90% de la

población del país lo que repercute en el uso del territorio para la satisfacción de las necesidades humanas. Los patrones de ocupación y uso del territorio se expresan como una gran cantidad y variedad de asentamientos humanos, sistemas de producción agrícola, servicios, vialidad, infraestructuras, puertos, aeropuertos, áreas industriales, entre otras. Estos factores condicionan la enorme complejidad espacial, heterogeneidad de paisajes y niveles de intervención antrópica presentes al norte de Venezuela.

El reto de cartografiar el norte de Venezuela, supuso el desarrollo de nuevas estrategias principalmente de captura de muestras de entrenamiento y la adaptación de la metodología de MapBiomias Amazonía. Para abordar la clasificación de mosaicos de imágenes de satélite necesarios para la elaboración de las series temporales de cartografía de cobertura y uso del suelo, se tomaron alrededor de 3 millones de puntos de muestreo, ya que no existen colecciones anteriores para esta región de las cuales se pudieran extraer. Al igual que las colecciones de la Amazonía, este proyecto se desarrolló apoyado en: i) avances tecnológicos que permiten el procesamiento en la nube de grandes cantidades de datos espaciales mediante algoritmos albergados en la plataforma GEE, ii) la implementación de métodos de procesamiento de imágenes enfocados en el monitoreo de LULC de MapBiomias, iii) las organizaciones que forman parte de MapBiomias Amazonía, que con su experiencia llevan a cabo el mapeo de sus territorios, y iv) el apoyo de financistas visionarios que respaldan el proyecto.

Los productos de MapBiomias Venezuela están compuestos de mapas temáticos anuales de 30 m de resolución espacial para todo el norte de Venezuela, desarrollados con base en una metodología en la que se conforman mosaicos anuales de acuerdo a la disponibilidad de imágenes de satélite. La captura de las imágenes *Landsat* en el territorio de Venezuela no es homogénea a lo largo de la serie temporal. De hecho, la cantidad de imágenes disponibles durante el período 1985-2000 es significativamente menor que en el resto del período de estudio. Para clasificar los mosaicos, se emplearon 156 capas de información o variables entre bandas espectrales, índices derivados y variables físicas). En estas colecciones, al igual que en la Colección 4 de MapBiomias Amazonía, se utilizó la *Landsat Collection 2*, la cual proporciona la versión más actualizada de reprocesamiento de los archivos de *Landsat*, e incorpora diversas mejoras en la calidad de las imágenes. Por otra parte, en

la plataforma en línea para la divulgación de la colección, es posible consultar las estadísticas derivadas de los mapas por país, estado, municipio, bioma, ecorregiones, región fisiográfica, cuenca hidrográfica, áreas naturales protegidas y territorios indígenas.

La Colección 1, se emprende con base en la metodología y experiencia desarrollada en cuatro colecciones previas desarrolladas en la Amazonía, en las cuales progresivamente se han ampliado las series temporales y mapeado mayor cantidad de coberturas. Es por ello, que en MapBiomias Norte, fue necesario partir de la adaptación de la leyenda de MapBiomias a la heterogeneidad de coberturas presentes al norte de Venezuela y seleccionar las categorías de leyenda que hacen parte de esta colección. Posteriormente, se procedió a la captura de la muestra de entrenamiento para la generación de las clasificaciones de LULC, el resto de la metodología es similar a la empleada en la Colección 4 de MapBiomias Amazonía. El proyecto cuenta con una plataforma de consulta pública en línea, en la que se pone a disposición del usuario los mapas de LULC, fotos de las categorías de la leyenda y mapas de diversas unidades espaciales para hacer consulta de estadísticas sobre los mapas de la serie temporal (<http://amazonia.mapbiomas.org>).

1.3. Área de estudio

El ámbito geográfico de la iniciativa MapBiomias Venezuela, está integrada por MapBiomias Norte que cubre una superficie de 445.929,6 km² (49 % del país) y comprende el territorio al norte del río Orinoco que incluye a las islas más importantes de las Dependencias Federales. Su complemento MapBiomias Amazonía, al sur del río Orinoco tiene una superficie de 471543,1 km² equivalente al 51% de la superficie de Venezuela (Tabla 1).

Tabla 1. Área de los componentes de MapBiomias Venezuela.

Componente	Área (km ²)	Porcentaje (%)
MapBiomias Norte	445929,6	48,6
MapBiomias Amazonia	471543,1	51,4
Total	917452,8	100,0

Se excluye a la Guayana Esequiba, conocida en Venezuela como *Zona En Reclamación*, cuyo territorio está sujeto al Acuerdo de Ginebra de 17 de febrero de 1966, para llegar a una solución definitiva del diferendo limítrofe, firmado entre Venezuela y el Reino Unido (en representación de su entonces colonia Guayana Británica) en Suiza. En el entorno de la RAISG no se distinguen asuntos limítrofes entre países y en la cartografía de la región amazónica, el territorio objeto de disputa se adjudica a la república de Guyana, que actualmente es una nación independiente del Reino Unido (Figura 1).

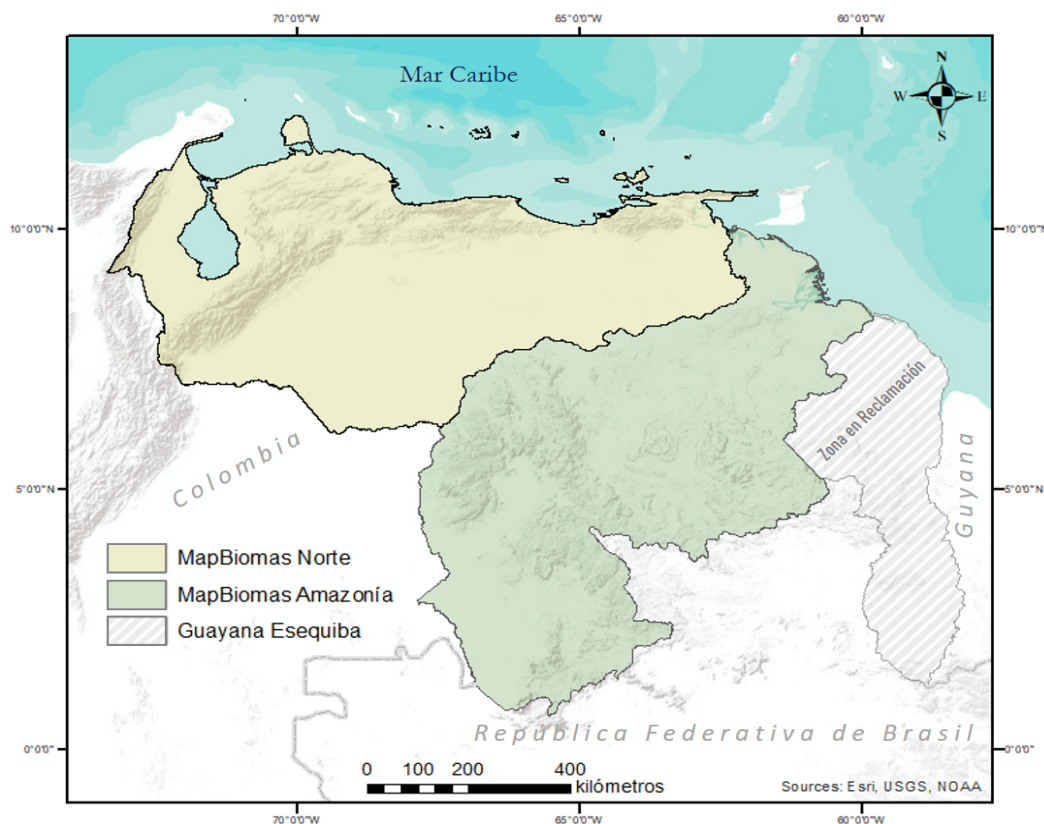


Figura 1. Componentes de MapBiomas Venezuela: MapBiomas Norte y MapBiomas Amazonía.

1.4. Aplicaciones

Los productos de MapBiomas Venezuela tienen potencial para el monitoreo anual de áreas amenazadas por la conversión de la cobertura y con riesgo de deforestación. Asimismo, la serie temporal de mapas puede ser de utilidad como complemento de estudios de estimación de emisión de gases de efecto invernadero por cambio de uso y cobertura del suelo al norte de Suramérica. Otros

ejemplos de aplicación son la caracterización de dinámicas de LULC, la cuantificación de transiciones de LULC, de pérdidas y ganancias de bosques, el monitoreo de la regeneración, de cambios en los recursos hídricos, de la expansión urbana y agropecuaria, la planificación regional, así como la gestión de áreas naturales protegidas y territorios indígenas.

La generación de productos y el esfuerzo de mapeo de LULC, así como los cambios de uso del suelo, varían enormemente de un país a otro en la región amazónica. Las condiciones naturales las transformaciones antrópicas del paisaje son muy diversas; también existen diferencias en las tecnologías, datos, métodos y recursos empleados en la elaboración cartográfica y a menudo se presentan carencias y vacíos de información que dificultan o impiden las comparaciones regionales de mapas. Es por ello que, la confluencia de las iniciativas para generar MapBiomás Amazonía e integrar las iniciativas en regiones no Amazónicas, además de complementar los esfuerzos ya existentes nacional y regional, ofrece algunas ventajas adicionales: 1) los mapas MapBiomás Venezuela han sido construidos empleando la colección completa de datos *Landsat* (38 años) con una temporalidad anual; 2) el producto entero comparte una misma metodología, leyenda, resolución temporal y espacial, permitiendo así comparaciones regionales; 3) el producto, si bien tiene un alcance regional, es preparado por expertos conocedores de las realidades nacionales, generando un producto con miras a aplicaciones de carácter nacional; 4) MapBiomás Venezuela pone a disposición del público sus métodos, herramientas y productos a través de una plataforma de consulta pública en internet.

2. Información básica y antecedentes

La RAISG es una organización que no tiene una figura legal y está basada en un modelo *sui generis* de gobernanza, que tiene soporte en una estructura cuyo eje principal es la Coordinación General y su función es dirigir y orientar la actuación de sus miembros; cumple el papel de dinamizar la red, mantener las comunicaciones, identificar aliados, buscar financiamiento, programar las actividades rutinarias, garantizar la toma de decisiones en grupo y el establecimiento de alianzas, entre otras. La Junta Directiva, está integrada por los coordinadores en cada institución miembro por país y es responsable, de la toma de decisiones. Otro de los pilares de la RAISG es el Grupo Técnico, que es el responsable directo del desarrollo de las actividades. Este equipo viene creciendo y

complementándose conforme la RAISG ha abordado nuevos temas de trabajo. Actualmente sus miembros se han especializado y se organizan por grupos temáticos a medida que crecen los intereses de la red. A menudo los coordinadores, también ejercen roles técnicos en actividades específicas.

2.1 Contexto institucional

Se destacan dos grandes acuerdos políticos que son vitales para la RAISG, uno es que no se separa la discusión y la decisión política de la técnica, y la otra es que el presupuesto es elaborado en conjunto, tomando como base los planes estratégicos, en un proceso transparente a todos. A mediano plazo, se elaboran planes estratégicos que trazan metas, actividades y productos a ser desarrollados durante trienios. El primer plan fue elaborado para el período entre 2010-2012; los siguientes han sido: 2013-2015, 2016-2020 y 2021-2024. La planificación de actividades y la toma de decisiones se realizan en reuniones generales anuales, con la participación presencial de todos los miembros de la red. Además de reuniones técnicas con propósitos específicos, generalmente para capacitación y la elaboración de los productos.

2.1.1. Iniciativa RAISG para el mapeo de la deforestación

Desde el año 2009, la RAISG ha venido trabajando en la elaboración de mapas de deforestación de la Amazonía a partir de imágenes de los satélites *Landsat*. El trabajo se inició con la composición de un Grupo Técnico de Deforestación conformado por un representante de cada una de las instituciones miembros de la RAISG. Se identificó al *Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia* (IMAZON) como el grupo tutor, quienes proporcionaron la metodología y herramientas técnicas, a través del software *IMGTools* (Souza & Siqueira, 2013).

El programa computacional *IMGTools* fue utilizado para la generación de los mapas de deforestación de la RAISG. La metodología consideró al año 2000 como la línea base y se analizaron los años 2005, 2010 y 2013 para detectar pérdida de bosque. Con base en los resultados obtenidos se construyeron mapas de deforestación. Posteriormente, la herramienta *IMGTools* migró a la plataforma GEE, donde se construyó el mapa de deforestación del periodo 2013 - 2015. Este trabajo

le permitió a la RAISG brindar al público mapas de deforestación de la Amazonía generados con una sola metodología estandarizada para toda la región, apoyada en la experticia local de los especialistas de cada país.

El Grupo Técnico de Deforestación de la RAISG se ha reunido periódicamente de manera virtual y presencial con el fin de proponer mejoras y consolidar los resultados del análisis de la deforestación para todos y cada uno de los países amazónicos, reforzando dichas reuniones con talleres técnicos para elaboración de productos y mejoras de la metodología con el fin de alcanzar resultados con procesos cada vez más automatizados.

Hasta el año 2022, la RAISG ha generado cuatro series históricas anuales de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo: Colección 1 que comprende todos los años entre 2000-2017; la Colección 2 en el lapso 1985-2018, la Colección 3 para los años 1985- 2020 y la Colección 4 para el período 1985-2021.

La RAISG trabaja en la detección de deforestación de la Amazonía para estimar la pérdida de bosques en toda la región, por ser un indicador de la velocidad con que se transforma el paisaje y para comprender procesos de cambio y su incidencia. Aplicando un marco común de análisis, basado en conceptos y herramientas estandarizadas, llamado Protocolo RAISG, que facilita el análisis comparativo entre los diferentes países amazónicos. La RAISG ha realizado diferentes publicaciones sobre deforestación en la Amazonía para los periodos 2000-2005, 2005-2010, 2010-2015 y 2000-2018; los cuales pueden ser descargados de la página web de RAISG (<https://www.amazoniasocioambiental.org>).

2.1.2 Iniciativa MapBiomias Network

La red global MapBiomias, ahora denominada MapBiomias Network, está compuesta por diversas iniciativas que mapean la cobertura y el uso de la tierra en Brasil, en el Amazonas, Chaco, Bosque Atlántico Trinacional y Pampa Trinacional. En Suramérica desde el año pasado se extendió la iniciativa a Argentina, Chile y Paraguay. También se están generando colecciones de mapas con esta metodología en Indonesia. Estas iniciativas son redes colaborativas, integradas por diversidad de

instituciones, conformada por ONG, universidades y empresas de tecnología las cuales involucran investigadores e instituciones locales, que utilizan procesamiento en la nube y clasificadores automatizados desarrollados y operados con la plataforma GEE para contribuir a la comprensión de los cambios en la LULC. El objetivo principal es producir colecciones de mapas anuales de LULC que reflejan la dinámica de las transformaciones en los diferentes biomas en Suramérica, y otras regiones tropicales y subtropicales. Todos los datos y métodos generados por el proyecto son públicos, transparentes y están disponibles en la plataforma web (<https://mapbiomas.org/>).

El objetivo de MapBiomias Network es producir y promover el uso de información calificada para la custodia de LULC en Sudamérica y otras regiones tropicales y subtropicales. Esta red presenta una serie de prácticas comunes en todas sus iniciativas y productos de MapBiomias:

- Plataforma de datos fácil de usar, de fácil acceso y uso para aplicaciones
- Transparencia metodología y tecnología
- Datos abiertos y gratuitos
- Experiencia local y conocimiento temático de uso y cobertura del suelo
- Procesamiento en la nube (Plataforma GEE)
- Conocimientos técnicos en teledetección y programación
- Independencia para la publicación de datos
- Colecciones que permiten una evolución y mejora constante
- Redes distribuidas y descentralizadas
- Espíritu colaborativo
- Comprometidos con la solidez técnico-científica
- Promoción del desarrollo de capacidades

2.1.3 Hacia la conformación de una red nacional: MapBiomias Venezuela

En Venezuela Provita lidera las iniciativas de la RAISG y MapBiomias y ha generado alianzas con organizaciones que contribuyan a fortalecer las iniciativas de MapBiomias en Venezuela. En las colecciones de MapBiomias Amazonía, la ONG Wataniba ha participado junto a Provita en temas vinculados a territorio indígenas y minería. Wataniba es un grupo de trabajo que promueve procesos de gestión territorial en la Amazonía venezolana, para el fortalecimiento de la identidad de los pueblos indígenas y capacidades técnicas como instrumentos que contribuyan a la defensa de sus derechos.

En la Conformación de MapBiomias Norte se inicia a partir de la visión de construir una red nacional de organizaciones que contribuyan de manera regional en la creación de colecciones para la consolidación de MapBiomias Venezuela. Por esta razón, se constituyó un primer nodo en el Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Modelado Ambiental (LSIGMA) adscrito a la Universidad Simón Bolívar, quienes apoyaron en la generación de la colección en los Llanos orientales, cuenca del Unare y Barlovento, lo que representa el 23,4 % de MapBiomias Norte (104203,5 km²). Por otra parte, se conformó un grupo de expertos provenientes de distintas universidades, que participó en la revisión y control de calidad en diversas fases de la producción cartográfica. Adicionalmente este grupo ha venido orientando el proceso de conformación de la red, explorando la posibilidad de crear nuevos nodos regionales o temáticos para futuras colecciones. En este sentido, se darán a conocer los productos y potencias de MapBiomias Venezuela, a fin conformar nuevos nodos en diferentes regiones del país, promoviendo la más amplia y diversa participación de universidades, centros de investigación y ONG. Las organizaciones que hasta ahora forman parte de MapBiomias Venezuela son (Figura 2):

- Provita (www.provita.org.ve)
- Wataniba (www.watanibasocioambiental.org)
- LSIGMA (<https://www.lsigma.ea.usb.ve/>)



Figura 2. Organizaciones que conforman la iniciativa MapBiomos Venezuela.

2.2 Datos de Percepción Remota

Los datos para mapeo utilizados por la iniciativa MapBiomos Venezuela, tanto para la Colección 1 MapBiomos Norte, como para la Colección 5 MapBiomos Amazonía, fueron obtenidos de las imágenes satelitales del periodo 1985 a 2022 de los sensores *Landsat* TM, ETM+, OLI y TIRS, *Landsat 5* (L5, para los años 1985-2012 de la serie), *Landsat 7* (L7, para los años 2000-2022) y *Landsat 8* (L8, 2013 en adelante). Las imágenes de reflectancia de superficie pertenecen a la *Colección 2 del Catálogo de Datos Landsat*² con nivel de corrección Tier 1, las cuales fueron sometidas a calibración radiométrica, ortorrectificación basada en puntos de control en tierra y modelos de elevación digital para asegurar un registro a nivel de píxel y una corrección atmosférica. Este catálogo de imágenes *Landsat* incorpora mejoras en el reprocesamiento de las imágenes, que consisten en el aumento

² <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat/>

sustancial en la precisión absoluta de geolocalización del conjunto de datos de referencia terrestre global utilizado en el flujo de procesamiento de *Landsat* Nivel-1. Además, incluye fuentes de modelos digitales de elevación global, actualizaciones de calibración y validación, así como productos basados en escenas de temperatura de superficie y reflectancia de superficie global de Nivel 2 de procesamiento, desde 1982 hasta el presente. Las colecciones de imágenes *Landsat* de 30 m de resolución espacial, se obtuvieron en los repositorios de la plataforma GEE, provistas por la NASA y por el USGS.

2.3. Google Earth Engine y MapBiomias Venezuela

La plataforma GEE es una poderosa herramienta para el análisis de conjuntos de datos geoespaciales a escala global. Los principales componentes de GEE son: 1) Catálogos de datos de percepción remota de dominio público, 2) Infraestructura de procesamiento computacional en la nube a escala de manejo de datos en el orden de petabytes, 3) APIs que se desarrollan en los lenguajes de programación JavaScript y Python para interactuar con los servidores del GEE, y 4) y un ambiente de desarrollo integrado (IDE) en línea que permite el desarrollo de aplicaciones mediante *scripts*³ denominado el *Code Editor*⁴.

Los componentes y características de GEE constituyen una herramienta apropiada para el procesamiento de grandes volúmenes de datos, necesarios para la clasificación de imágenes satelitales con fines de mapeo de LULC, así como cambios del uso del suelo. Adicionalmente, GEE provee un ambiente que facilita la colaboración entre equipos regionales (como la RAISG) y la aplicación de metodologías compartidas a un mismo set de datos. También facilita a los usuarios la posibilidad de replicar procesos, para evaluar metodologías o el comportamiento de diferentes conjuntos de datos.

³ <https://developers.google.com/earth-engine/>

⁴ code.earthengine.google.com

La secuencia de procesamiento de MapBiomás está basada enteramente en tecnología de GEE y como parte de estas iniciativas, MapBiomás Venezuela se apoya en GEE para ejecutar las siguientes tareas: 1) procesar imágenes satelitales en infraestructura computacional en la nube, 2) desarrollar códigos (scripts) en lenguaje de programación JavaScript y Python, 3) almacenar los datos generados usando almacenamiento en la nube, y 4) compartir y divulgar los resultados (mosaicos, mapas anuales de uso del suelo, análisis de transición, estadísticas por clase y por transición, información metodológica, entre otros) a través de una plataforma web de consulta pública accesible en <http://plataforma.amazonia.mapbiomas.org/map> (Figura 3).

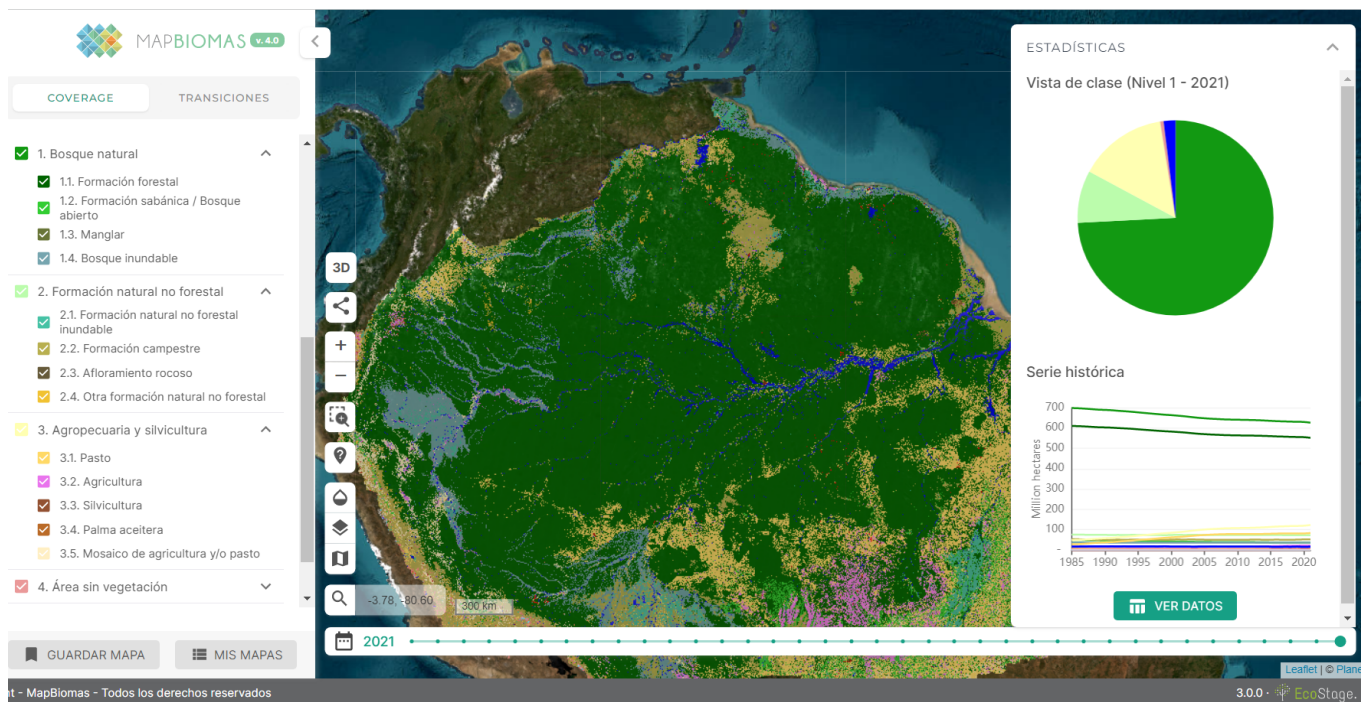


Figura 3. Ejemplo de la interfaz del tablero de consulta de MapBiomás Amazonía. Permite realizar consultas a partir de diferentes unidades espaciales a lo largo de la serie temporal.

2.4. Otras iniciativas de mapeo recientes

En los últimos años se han desarrollado diversas herramientas para el mapeo de LULC a nivel global, regional y nacional que cubren de manera parcial o total al territorio venezolano, con enfoques

cada vez más robustos. Todos tienen en común, asistir a la necesidad de obtener información actualizada de las transformaciones de paisajes tanto de origen natural como antropogénico, mediante el inventario puntual o el monitoreo de los cambios a lo largo de series temporales. Estas iniciativas tienen gran diversidad de enfoques y orientaciones tales como la detección de la deforestación, el monitoreo de los ecosistemas terrestres y acuáticos; en general persiguen contribuir en diversas áreas de investigación relacionadas con la detección de la pérdida de bosques, fragmentación y eliminación de paisajes, iniciativas de conservación y mitigación de efectos del cambio climático, entre otras aplicaciones.

2.4.1. Fuentes mundiales

- **ESA CCI Land cover**, la ESA y la pone a disposición mapas globales anuales de cobertura terrestre, que describen la superficie de la tierra en 22 clases. La serie de mapas globales anuales de cobertura terrestre abarcan el período desde 1992 a 2018.
- **CORINE Land Cover**, el inventario CORINE Land Cover (CLC) se inició en 1985 (año de referencia 1990). Se han realizado actualizaciones en 2000, 2006, 2012 y 2018. Consiste en un inventario de cobertura terrestre en 44 clases. CLC utiliza una unidad mínima de mapeo (UMM) de 25 ha para fenómenos de área y un ancho mínimo de 100 m para fenómenos lineales. Las series de tiempo se complementan con capas de cambio, que destacan los cambios en la cobertura del suelo con una MMU de 5 ha.
- **ESRI 2020 Global LULC de Sentinel-2**: Esta capa muestra un mapa global LULC del año 2020. El mapa se deriva de imágenes ESA Sentinel-2 con una resolución de 10 metros y contiene 10 clases. Este mapa fue producido por un modelo de aprendizaje profundo entrenado con más de 5 mil millones de píxeles Sentinel-2 etiquetados a mano, muestreados en más de 20,000 sitios. distribuidos en los principales biomas del mundo.
- **ESA WorldCover 2020 y 2021**: Es un producto de cobertura terrestre global de referencia con una resolución espacial de 10 m, generado a partir de imágenes *Sentinel-2* y *Sentinel-1* con 10 clases de cobertura terrestre y una precisión general de 75%. La leyenda incluye 11 clases

genéricas que describen adecuadamente la superficie terrestre: "Cobertura arbórea", "Matorral", "Pastizales", "Tierras de cultivo", "Construido", "Vegetación desnuda/escasa", "Nieve y hielo", "Cuerpos de agua permanentes", "Humedal herbáceo", "Manglares" y "Musgos y líquenes".

- **Dynamic World** es un conjunto de datos de cobertura de suelo global, de uso de la tierra con una resolución de 10 m producidos con alta frecuencia, casi en tiempo real, generado a partir de imágenes de Sentinel-2, producido mediante aprendizaje profundo, disponible gratuitamente y con licencia abierta. La leyenda presenta las probabilidades por píxel en 9 clases de cobertura terrestre: Agua, Formación forestal, arbusto y matorral, herbazales, vegetación inundable, cultivos, construcciones, suelo desnudo, nieve y hielo. Estos datos son el resultado de una asociación entre Google y el Instituto de Recursos Mundiales (World Resources Institute) para producir un conjunto de datos dinámicos del material físico en la superficie de la Tierra.

2.4.2. Fuentes para la región de Suramérica

- **Ecological Systems of Latin America and the Caribbean**, presenta y esboza la base conceptual para una unidad de clasificación de los sistemas ecológicos. Estos representan grupos recurrentes de comunidades biológicas que se encuentran en entornos físicos similares y están influenciados por procesos ecológicos dinámicos similares, como incendios o inundaciones. El objetivo fue proporcionar una unidad de clasificación de "mesoescala" que sea fácilmente mapeable, a menudo a partir de imágenes de satélites, y fácilmente identificable en el campo. El proyecto fue desarrollado por NatureServe y sus programas miembros, con fondos de The Nature Conservancy, completando una clasificación funcional de los sistemas ecológicos terrestres en América Latina y el Caribe. El informe resume los casi 700 sistemas ecológicos que actualmente se clasifican y describen, enfatizando la porción natural del paisaje.
- **Land Cover Map of South America**. Mapa digital de la cobertura terrestre de Sudamérica con base en imágenes satelitales tomadas entre 1995 y el año 2000. La escala de mapeo tiene una

resolución espacial de 1 km. Este mapa se produjo como parte del proyecto *Global Land Cover* – (GLC 2000).

- **Mapa de cobertura terrestre de América Latina y el Caribe en el marco del proyecto SERENA**, es un mapa de cobertura terrestre para América Latina y el Caribe (ALC) para el año 2008. Fue desarrollado en el marco del proyecto Red Latinoamericana de Monitoreo y Estudio de Recursos Naturales (SERENA). El mapa de cobertura del suelo SERENA para ALC integra: 1) la experiencia local de los miembros de la red SERENA para generar los datos de capacitación y validación, 2) una metodología para el mapeo de la cobertura del suelo basada en árboles de decisión que utilizan series de tiempo MODIS y 3) estimaciones de membresía de clase para tener en cuenta los problemas de heterogeneidad de píxeles.
- **Deforestación en la Amazonía**, estudio realizado por RAISG, que analiza las tendencias históricas y recientes de la deforestación, por quinquenio desde el 2000 al 2015. El dato de deforestación fue producido por los socios de la RAISG utilizando una metodología propia, estandarizada, que permitió elaborar análisis a nivel regional, sin dejar de lado las diferencias nacionales. El tema se analiza en diferentes recortes: toda la Amazonía, la Amazonía de cada país, las Áreas Naturales Protegidas, los Territorios Indígenas y la escala de cuencas hidrográficas.
- **MapBiomias Amazonía Colección 1**, es un estudio a partir de imágenes de satélite Landsat que generó mapas anuales de cobertura y uso del suelo en la Amazonía, para el período 2000 a 2017, con una resolución espacial de 30m. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.
- **MapBiomias Amazonía Colección 2**, es la continuación de la Colección 1, ampliando el número de clases de cobertura y uso y el período de 1985 a 2018. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.

- **MapBiomias Amazonía Colección 3**, es la continuación de la Colección 2, ampliando el número de clases de cobertura y uso a 12 clases y el período de 1985 a 2020. El proyecto fue desarrollado por la red RAISG y sus socios en los países amazónicos.
- **Mapa de Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro**, este proyecto generó mapas de ecosistemas andinos desde Venezuela hasta Bolivia (Josse *et al.* 2009).

2.4.3 Otras iniciativas nacionales de cartografía

En Venezuela la cartografía de la vegetación se inicia en 1920, con la publicación del *Mapa Ecológico de Venezuela* a escala 1:2.000.000, por parte del botánico suizo Henri Pittier. Posteriormente, se presentan publicaciones en 1955 con el *Mapa Fitogeográfico preliminar de la República de Venezuela* de Francisco Tamayo. Más tarde, en 1960 Kurt Hueck publicó el tercer *Mapa de Vegetación* a escala 1:2.000.000, titulado *Mapa de la Vegetación de la República de Venezuela*. En 1968 el Ministerio de Agricultura y Cría publica el *Mapa Ecológico según la clasificación de Zonas de Vida de L.R. Holdridge*. A partir de la década de 1980 del siglo XX, comienza el uso de las primeras imágenes de Landsat para generar el *Mapa de la Vegetación Actual de Venezuela* (escala 1:250.000), publicado en 1982. Posteriormente (1988), Otto Huber y Clara Alarcón publican el *Mapa de Vegetación de Venezuela*, a escala 1:2.000.000, con base en innumerables trabajos de campo e interpretación visual realizados por Huber a lo largo de su vasta trayectoria como botánico y ecólogo (Huber y Oliverira-Miranda 2010). Más recientemente, en los últimos 25 años se han generado algunas iniciativas cartográficas de la cobertura vegetal y uso de la tierra a escala nacional o regional, todas ellas a nivel de gran visión (escalas pequeñas: entre 1.:250.000 y 1:2.000.000) que han sido referencia para MapBiomias Venezuela. Las principales son:

- En 1995 Otto Huber presenta el Mapa *Guayana Venezolana*, con base en su publicación de 1988, a escala 1: 2.000.000 (Figura 4). Este mapa acompañó la serie de ocho volúmenes titulada *Flora of the Venezuelan Guayana* (Steyermark *et al.* 1995).

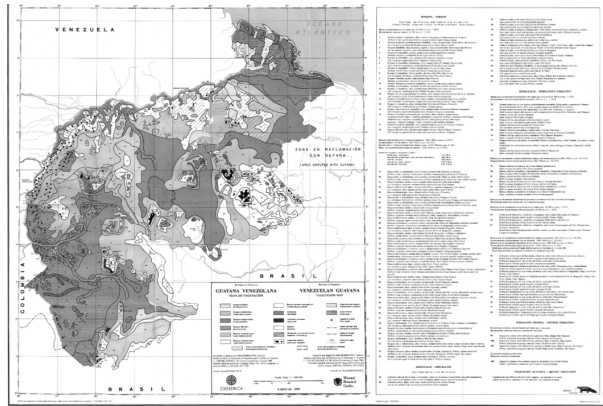


Figura 4. Mapa Guayana Venezolana (Huber, 1995).

- 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 5).

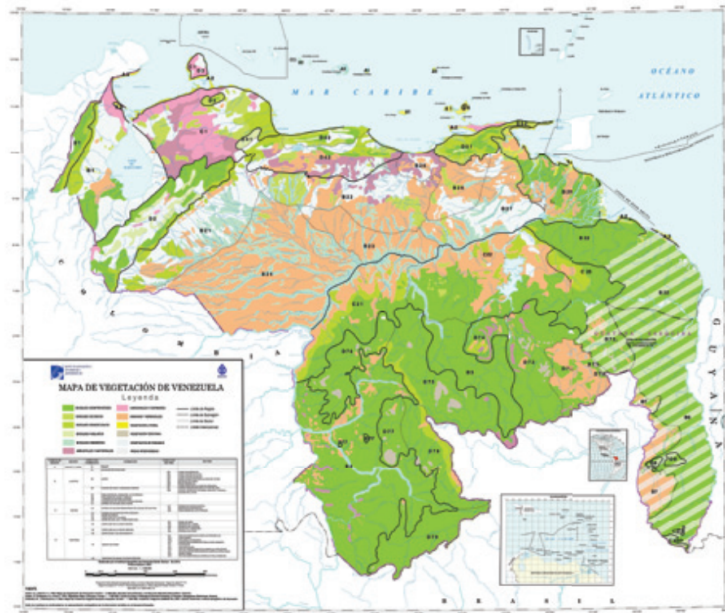


Figura 5. Mapa de Vegetación de Venezuela (MARNR, 2003).

- 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 6).

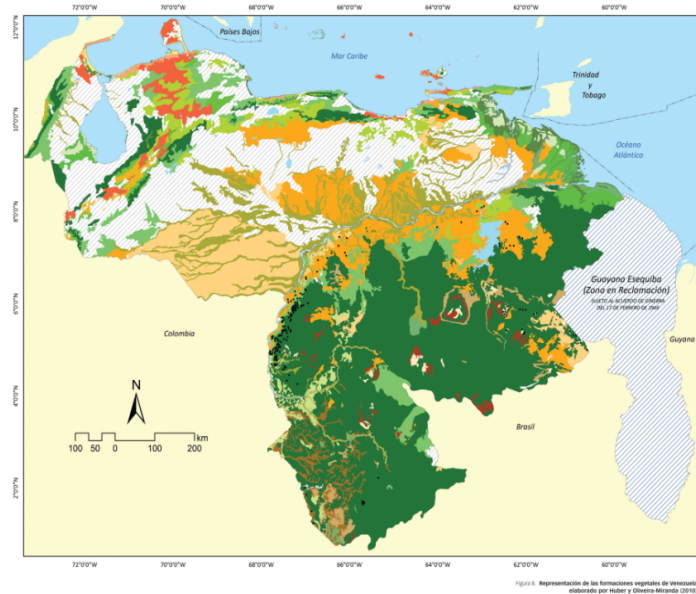
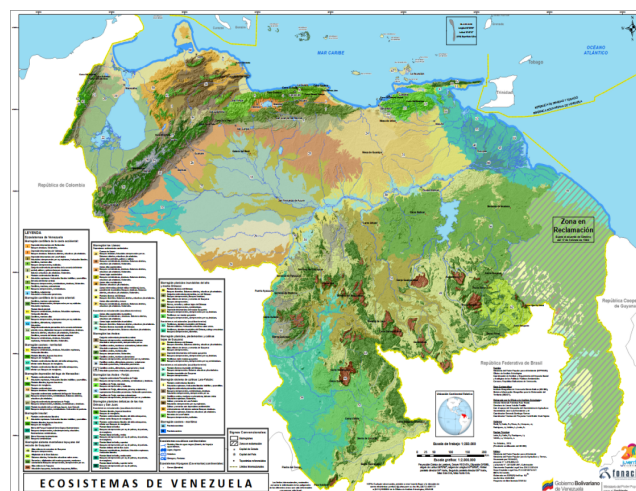


Figura 6. Mapa de Formaciones Vegetales de Venezuela (Huber y Oliveira, 2010).

- 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 7).

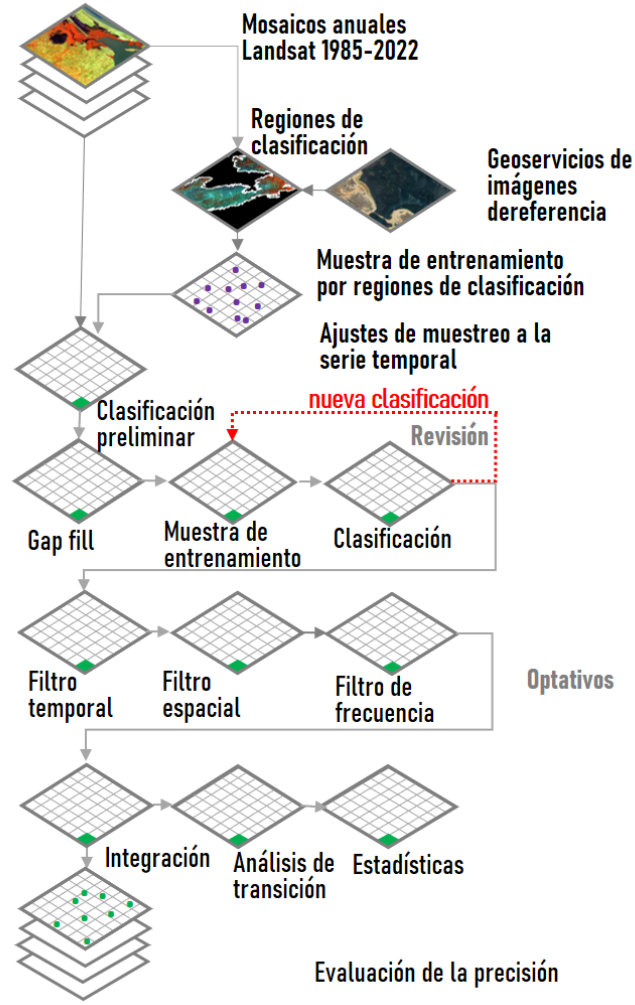


3. Metodología

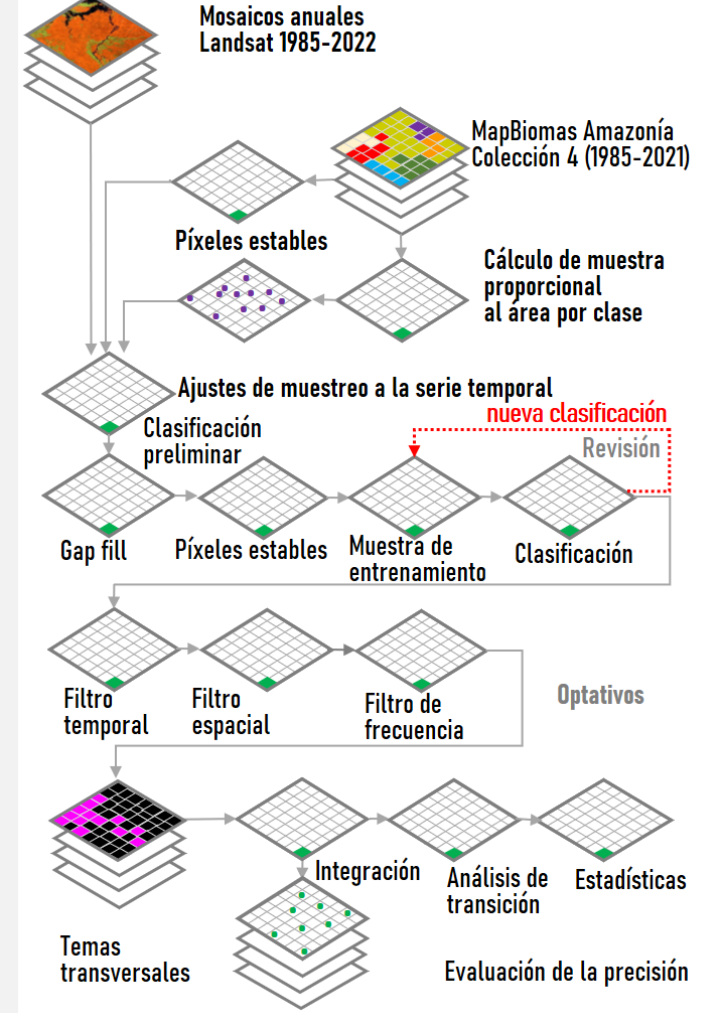
La secuencia de procesamiento adoptada para la generación de la Colección 1 MapBiomias Norte, así como la Colección 5 de MapBiomias Amazonía, está integrada por siete fases principales, de las cuales cinco son comunes a las dos componentes de MapBiomias Venezuela. Una vez definidas las clases que integrarán la leyenda en cada componente a mapear. De forma sintética, las fases de la metodología son las siguientes:

- **Fase 1:** se inicia con la selección de imágenes y conformación de mosaicos Landsat.
- **Fase 2:** se construye una muestra de cada clase, que hará parte del proceso de clasificación. Esta fase es distinta en MapBiomias Amazonía y MapBiomias Norte, ya que la fuente principal de la muestra de la Colección 5 proviene de la Colección 4, mientras que en MapBiomias Norte se conformó una muestra por primera vez al no disponer de colecciones previas.
- **Fase 3:** se generan muestras por año; se realiza una clasificación preliminar. Esta se evalúa y de ser necesario se complementa la muestra de las clases que lo requieran y se hace una nueva corrida de clasificación preliminar.
- **Fase 4:** se aplica el filtro *Gap fill*, para rellenar los agujeros se evalúa la clasificación preliminar, se hacen los ajustes necesarios a la muestra y se corre el algoritmo de clasificación *Random forest* para generar el *mapa general*.
- **Fase 5:** en el proceso de post-clasificación se aplican filtros que contribuyen a corregir aspectos relativos a patrones en la serie (filtro temporal y de frecuencia) y aspectos espaciales como efecto de sal y pimienta (filtro espacial).
- **Fase 6:** en la fase de integración se unen dos grupos de clasificaciones, las que son parte del *mapa general*, es decir de las clases que se identifican de manera conjunta en un proceso de clasificación y los llamados *temas transversales*, que corresponde a clases en las que se presenta confusión en la clasificación y amerita un proceso de clasificación específica para la clase. En el caso de MapBiomias Norte todas las clases se clasificaron al mismo tiempo (*mapa general*), por lo que no se presentan temas transversales; se analizan las transiciones de clases en el tiempo y se generan las estadísticas.
- **Fase 7:** para finalizar se realiza una validación de la colección para determinar la precisión global y por clase (Figura 9).

Colección 1 MapBiomos Norte



Colección 5 MapBiomos Amazonía



- 1 DATOS LANDSAT
- 2 IDENTIFICACIÓN DE PÍXELES ESTABLES
- 3 CREACIÓN DE MUESTRA POR AÑO
- 4 CLASIFICACIÓN CON ALGORITMO *RANDOM FOREST* (1985-2022)
- 5 POST-CLASIFICACIÓN
- 6 INTEGRACIÓN DE MAPAS TRANSICIONES Y ESTADÍSTICAS
- 7 VALIDACIÓN

Figura 9. Metodología, a la izquierda MapBiommas Norte y a la derecha MapBiommas Amazonía.

3.1 Generación de mosaicos anuales

La metodología de MapBiomias divide el área del proyecto en una grilla de cartas regulares definidas con base a la grilla de las Mapas Internacionales del Mundo a la Millonésima, a escala de 1:250.000, con el objeto de conformar mosaicos anuales de imágenes de satélite, los cuales son empleados en el proceso de clasificación. Cada carta rectangular cubre un área de 1°30' de longitud por 1° de latitud. Un total de 45 cartas cubren el territorio de la Amazonía venezolana. La división regular del espacio producto de la aplicación de la grilla de Cartas Internacionales, implica que cada carta requiera de una combinación total o parcial de imágenes *Landsat*, dado que la grilla de imágenes *Landsat* es oblicua a la grilla de cartas de MapBiomias. En el caso de la colección al norte de Venezuela, en lugar de emplear la referencia de las cartas a escala 1:250.000, se empleó directamente el área de 32 escenas de las imágenes *Landsat* de 170 x 185 km (Figura 10).

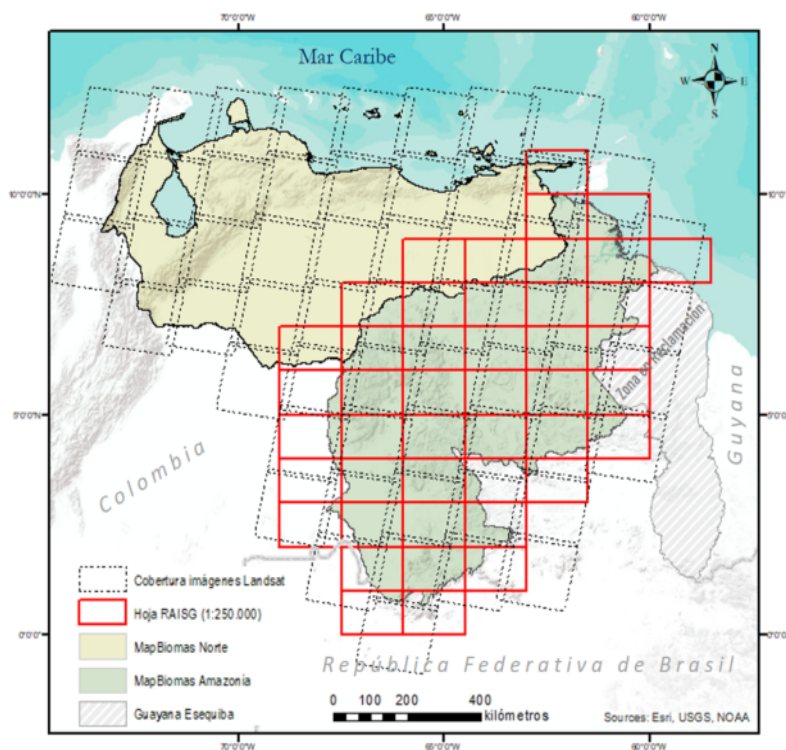


Figura 10. Cobertura de mosaicos de MapBiomias Venezuela. Los mosaicos de MapBiomias Amazonía se muestran como rectángulos rojos. Por lo general, incluyen más de una porción de escenas *Landsat*. En MapBiomias Norte, se construyeron que tienen la misma forma de las escenas *Landsat*.

Es necesario subdividir el territorio para facilitar la construcción de los mosaicos mediante una parametrización ajustada a las unidades espaciales seleccionadas en cada caso. Como consecuencia, se generaron mosaicos anuales de píxeles de imágenes *Landsat* independientes para las subdivisiones, cada uno de los cuales fue procesado por separado.

3.1.1. Parametrización de mosaicos anuales

Un mosaico anual es la combinación de dos o más imágenes *Landsat* (de una o más escenas), en un lapso determinado. Con la metodología de MapBiomass, cada país evaluó y definió un período óptimo del año tomando como criterios: la disponibilidad o cobertura de datos, el contraste espectral entre clases y las características fenológicas de la cobertura vegetal en diferentes momentos del año. En MapBiomass Venezuela, se emplearon las imágenes de los 12 meses del año debido a la escasez de datos, principalmente al inicio de la serie temporal, entre los años 1985-2000. Los mosaicos se construyeron a partir de los siguientes parámetros:

- **ID:** Identificador único de la unidad carta-región o escena *Landsat* (Path/Row).
- **Año:** Año de la serie (1985 a 2022) al que corresponde el mosaico.
- **Unidad espacial:** Código identificador de la carta o de la escena *Landsat* (Path/Row).
- **Fecha inicial/ Fecha final:** Período del año (fecha de inicio y final) para la selección de imágenes del catálogo de datos de imágenes *Landsat* de GEE.
- **Sensor y sensor:** *Landsat 5 TM*, *Landsat 7 ETM+*, *Landsat 8 OLI* o una combinación de *Landsat 5* y *Landsat 7*.
- **Nubosidad:** valor umbral del porcentaje máximo de cobertura de nubes aceptado de cada imagen *Landsat* que será usado para construir el mosaico de imágenes. Este dato proviene de la metadata de las imágenes *Landsat*.
- **Blacklist:** Imágenes que por baja calidad son excluidas de la construcción del mosaico.

Los parámetros de construcción de mosaicos anuales, son definidos por el intérprete, en función de las fechas disponibles, la inspección visual de la cobertura de nubes y calidad de la imagen, los cuales representan los criterios de selección de imágenes disponibles en la colección de datos *Landsat* a partir de los cuales se construye el mosaico anual. Las imágenes seleccionadas por año fueron *reducidas* a una imagen individual, o mosaico anual, empleando operadores llamados *reductores* existentes en GEE, que son operadores matemáticos o estadísticos que permiten sintetizar valores de conjuntos de datos como se ilustra en la Figura 11.

Al momento de parametrizar los mosaicos se consideró que se puede alcanzar valores de precisión mayores al utilizar mosaicos de imágenes satelitales, en el proceso de depuración que permite reducir el ruido.

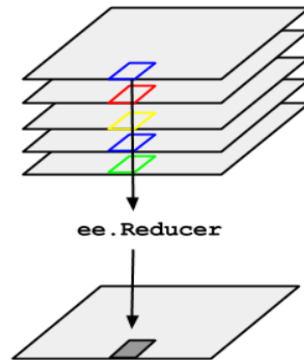


Figura 11. Esquema de la aplicación de un reductor a una colección de imágenes (Google, 2020⁵).

La selección de imágenes a incluir en los mosaicos, se minimiza la cobertura de nubes y otras interferencias. En los casos excepcionales, en los que no hay imágenes disponibles para el período seleccionado, se optó por extender el periodo de búsqueda de imágenes.

Al momento de parametrizar los mosaicos se consideró que se puede alcanzar valores de precisión mayores al utilizar mosaicos de imágenes satelitales, en el proceso de depuración que permite reducir el ruido. Es por ello que, en la selección de imágenes a incluir en los mosaicos, se minimiza la cobertura de nubes y otras interferencias. En los casos excepcionales, en los que no hay imágenes disponibles para el período seleccionado, se optó por extender el periodo de búsqueda de imágenes. En el protocolo de preparación de los mosaicos, las nubes y las sombras de nubes son enmascaradas, para garantizar que la imagen disponga de la mayor superficie útil posible. Las rutinas de GEE empleadas para el enmascaramiento de nubes y eliminación de sombra de nube son: *Cfmask* y *CloudScore*.

⁵ Fuente: https://developers.google.com/earth-engine/guides/reducers_image_collection

3.1.2. Variables de clasificación (*feature space*)

Se calcularon variables (*feature space*) a partir del mosaico anual que representan los insumos del proceso de clasificación. Las bandas *Landsat*, junto con las variables de clasificación se encuentran consolidados en archivos ráster compuestos por 156 bandas (variables de clasificación)⁶ que incluyen: las bandas espectrales *Landsat*, índices espectrales, información de textura derivada de las imágenes, así como índices de las fracciones espectrales. Adicionalmente se emplearon siete variables estáticas: *HAND*, *shademask2*, *ppost*, altitud, pendiente, latitud y longitud; que contribuyeron a la discriminación de clases que espectralmente son muy similares, las cuales es posible diferenciar con la incorporación de estas variables topográficas (Tabla 2).

A las imágenes disponibles en cada año, se aplicó el cálculo de *reductores estadísticos* para generar los valores de cada píxel, el proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes *Landsat* se ilustra en la Figura 12. Los reductores que se emplearon en MapBiomias Venezuela son:

- **Mediana:** es una medida de tendencia central que divide en dos partes iguales una población, por lo que no es influida por valores extremos. Se calculó en la conformación de los mosaicos anuales.
- **Mediana época seca:** Cálculo de la mediana aplicada a los píxeles del cuartil 25 (con los menores valores) de NDVI (Aproximación a la época seca).
- **Mediana época húmeda:** Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (Aproximación a la época lluviosa).
- **Amplitud:** Extensión de la variación entre todos los píxeles disponibles en el mosaico anual.
- **Desviación estándar:** Desviación estándar de los valores de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual para una ubicación determinada.
- **Mínimo:** Menor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
- **Máximo:** Mayor valor de todos los píxeles disponibles en el mosaico anual en una ubicación determinada.
- **Mínimo del periodo seco:** Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (Aproximación a la época seca).

⁶ Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomias Venezuela.

- **Mínimo del periodo húmedo:** Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (Aproximación a la época lluviosa).
- **Máximo del periodo seco:** Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los menores valores de NDVI (Aproximación a la época seca).
- **Máximo del periodo húmedo:** Cálculo del mayor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (Aproximación a la época lluviosa).
- **QMO del periodo seco:** El valor más alto que tiene la banda en el índice EVI2 en la estación seca.
- **QMO del periodo lluvioso:** El valor más alto que tiene la banda en el índice EVI2 en la estación húmeda.

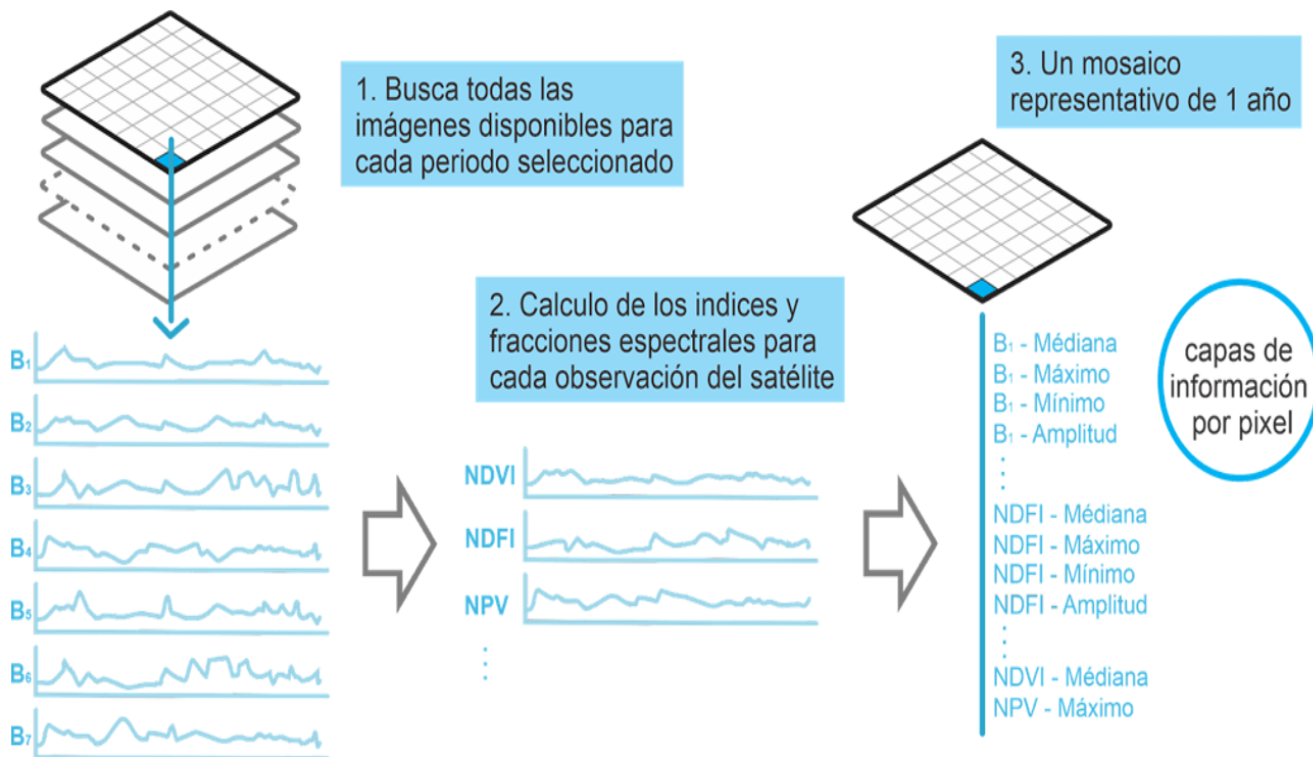


Figura 12. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.

La Tabla 2 muestra la lista completa⁷ de bandas de los mosaicos finales o *feature space*. Cada banda representa una variable de entrenamiento del clasificador.

⁷ Para estas colecciones, MapBiomás Venezuela se evaluaron las variables que se habían venido empleando desde la en la Colección 2 de MapBiomás Amazonía y mediante un proceso de diagnóstico de variables, se expandió el *feature space* tomando en consideración las coberturas de las regiones.

Tabla 2. Descripción de bandas y variables empleadas en las clasificaciones de MapBiomás Venezuela.

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor ⁸											Banda de Calidad ⁹		
				Median	Median_dry	Median_wet	amp	stdDev	Min	Max	Dry_min	Dry_max	Wet_min	Wet_max	Dry_qmo	Wet_qmo	
BANDAS	blue	B1 (L5 y L7); B2 (L8)	Espectro visible azul	X													
	green	B2 (L5 y L7); B3 (L8)	Espectro visible verde	X	X				X				X		X	X	
	red	B3 (L5 y L7); B4 (L8)	Espectro visible rojo	X	X	X			X		X	X		X	X		
	nir	B4 (L5 y L7); B5 (L8)	Infrarrojo cercano	X	X	X		X	X							X	X
	swir1	B5 (L5 y L7); B6 (L8)	Infrarrojo de onda corta 1	X	X	X			X			X	X	X	X	X	X
	swir2	B7 (L5); B8 (L7); B7(L8)	Infrarrojo de onda corta 2	X	X	X			X		X			X	X	X	X
ÍNDICES DE BANDAS	ndvi	$(nir - red) / (nir + red)$	Índice de vegetación de diferencia normalizada	X	X	X	X	X									
	evi2	$(2.5 * (nir - red) / (nir + 2.4 * red + 1))$	Modificación del Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que solo utiliza NIR y Red, obviando la banda azul.	X	X	X	X	X									
	ndwi_gao	$(nir - swir) / (nir + swir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (gao)	X	X	X	X				X		X	X			X
	ndwi_mcfeters	$(green - nir) / (green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada (mcfeters)	X			X										
	gcvi	$(nir / green) - 1$	Relaciones entre bandas infrarrojo cercano y verde	X	X	X											
	hallcover	$(-red * 0.017) - (nir * 0.007) - (swir2 * 0.079) + 5.22$	Índice espectral de cubierta terrestre	X													
	pri	$(blue - green) / (blue + green)$	Índice de reflectancia fotoquímica (Photochemical Reflectance Index)	X	X												

⁸ Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

⁹ Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.

savi	$(1 + L) * (nir - red) / (nir + red + 0,5)$	Índice de vegetación ajustada al suelo	X	X	X		X										
textG	$(\text{'median_green'}.entropy(ee.Kernel.square(radius: 5)))$	Entropía en la banda Azul	X														
nuaci	$UNTL * (1 - \sqrt{(NDWI - aNDWI)^2 + (NDVI - aNDVI)^2 + (NDBI - aNDBI)^2})$	Índice Normalizado Compuesto de Áreas Urbanas	X														
ndsi	$(green - swir1) / (green + swir1)$	Índice Diferencial Normalizado de Nieve	X						X								
cai	$(swir2 / swir1)$	Índice de Alteración del Color	X						X	X				X			
gli	$((2 * green) - red - blue) / ((2 * green) + red + blue)$	Índice de hoja verde	X	X					X	X							
mndwi	$(green - nir) / (green + nir)$	Índice de agua de diferencia normalizada	X	X	X					X							
ndbi	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Índice acumulado de diferencia normalizada	X	X					X	X							

Tabla 2 (Continuación). Descripción de bandas y variables empleadas en las clasificaciones de MapBiomás Venezuela.

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor ¹⁰											Banda de Calidad ¹¹		
				Median	Median_dry	Median_wet	amp	stdDev	Min	Max	Dry_min	Dry_max	Wet_min	Wet_max	Dry_qmo	Wet_qmo	
ÍNDICE SDEBAN	ndgb	$(green - blue) / (green + blue)$	Diferencia normalizada Verde Azul	X	X	X		X		X							
	ndmi	$(nir - swir1) / (nir + swir1)$	Índice Normalizado de la Diferencia de Humedad	X	X					X							
	mdmir	$(swir1 - swir2) / (swir1 + swir2)$	Índice de infrarrojo medio de diferencia normalizada	X		X		X	X	X							
	ndrb	$(red - blue) / (red + blue)$	Diferencia Normalizada Rojo Azul			X		X	X								
	ndsi2	$(swir1 - nir) / (swir1 + nir)$	Diferencia Normalizada de suelo 1	X	X	X			X	X							

¹⁰ Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

¹¹ Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.

D A S															
	gv		Abundancia fraccional de vegetación verde dentro del pixel	X				X	X						
	npv		Abundancia fraccional de vegetación no fotosintética dentro del pixel	X					X						
	soil		Abundancia fraccional de suelo dentro del pixel	X				X	X						
	shade	$100 - (gv + npv + soil + cloud)$	Abundancia fraccional de sombra dentro del pixel	X											
	snow		Abundancia fraccional de nieve dentro del pixel	X						X					
	cloud		Abundancia fraccional de nubes dentro del pixel	X											
	gvs	$gv / (gv + npv + soil + cloud)$	Vegetación verde normalizada por sombra	X	X	X			X						
	ndfi	$(gvs - (npv + soil)) / (gvs + (npv + soil))$	Índice de fracción de diferencia normalizada	X	X	X		X	X						
	sefi	$(gv+npv - soil) / (gv+npv + soil)$	Índice de fracción del ecosistema de sabana	X	X				X						
wefi	$((gv+npv) - (soil+shade)) / ((gv+npv) + (soil+shade))$	Índice de fracciones del ecosistema de humedales				X	X	X							
fns	$((gv+shade) - soil) / ((gv+shade) + soil)$	Índice basada en fracciones gv, shade y soil		X				X							
ndfib	$GV - (NPV + Soil + Snow) / (GV + (NPV + Soil + Snow))$	Adaptación del NDFI para los Andes	X					X							

Tabla 2 (Continuación). Descripción de bandas y variables empleadas en las clasificaciones de MapBiomás Venezuela.

Tipo	Nombre	Fórmula	Descripción	Reductor ¹²										Banda de Calidad ¹³	
				Median	Median_dry	Median_wet	amp	stdDev	Min	Max	Dry_min	Dry_max	Wet_min	Wet_max	Dry_qmo
VARIABLES Y/O TOPOGRAFICAS	shadema sk2		Mapa de sombras												
	slppost		Pendiente Estratificada												
	altitude		Altitud												
	slope		Pendiente												
	latitude		Latitud												
	longitude		Longitud												
HAND (Height Above the Nearest Drainage)	hand30_100 hand30_1000 hand30_5000 hand90_1000 water_HAND_0m water_HAND_10m water_HAND_1m water_HAND_2m water_HAND_5m	Índice-Altura por encima del drenaje más cercano													

¹² Cada producto calculado con los reductores estadísticos compone una banda del producto integrado.

¹³ Compone todas las imágenes de una colección, utilizando una banda de calidad (evi2) como función de ordenación por píxel.

3.2 Obtención de muestras de entrenamiento

El proceso de clasificación, parte de la toma de la muestra de entrenamiento y la metodología empleada en esta fase, es distinta en los dos componentes de MapBiomás Venezuela. En el caso de la Amazonía, al sur del país, la fuente principal de la muestra proviene de la colección anterior, es decir, de la Colección 4 de MapBiomás Amazonía. La muestra se selecciona a partir de la identificación de píxeles que se mantuvieron la misma clase de cobertura, a lo largo de todos los años de la serie temporal 1985-2021, lo que se denomina “píxeles estables”. Cuando se presentan clases en las que se evidencian vacíos de puntos de muestreo, o cuando la heterogeneidad espacial de las coberturas es alta, se incorporan puntos de muestreo de forma manual, lo que se denomina *muestra complementaria*. Estos puntos se generan empleando las herramientas para creación de geometrías directamente en el GEE.

En MapBiomás Norte, por tratarse de la primera colección de mapas fue necesario, modificar la Fase 2 de la metodología e incorporar el proceso de identificación visual y captura de puntos asociados a regiones de clasificación previamente establecidas. Se iniciaron ensayos en diversas regiones del país que atendieron a las características de los paisajes ecológicos. En general la densidad de puntos de muestreo es mayor en las áreas que presentan mayor heterogeneidad espacial, considerando que los usos antrópicos, también son una fuente importante de variabilidad en los patrones de cobertura. En promedio se tomaron alrededor de 7 puntos/km², y en total se tomaron más de 3000000 de puntos para el norte de Venezuela.

3.2.1. Regiones de clasificación

Con el objeto de generar unidades espaciales coherentes para el análisis y el reconocimiento de patrones espaciales de la cobertura, se generó un mapa de paisajes ecológicos, que es un nivel jerárquico de agrupación de ecosistemas, por lo que responde a características fisiográficas y bióticas; éste se modificó con fines prácticos relativos a las áreas de clasificación, las cuales se denominaron *regiones de clasificación*. Debido a las características diferenciadas de cobertura tanto al sur como al norte del país, y con el objetivo de mejorar los resultados de las clasificaciones, el área de estudio fue

dividido en 82 regiones de mapeo o clasificación, cuyos resultados fueron integrados en la etapa de post-clasificación (Figura 13).

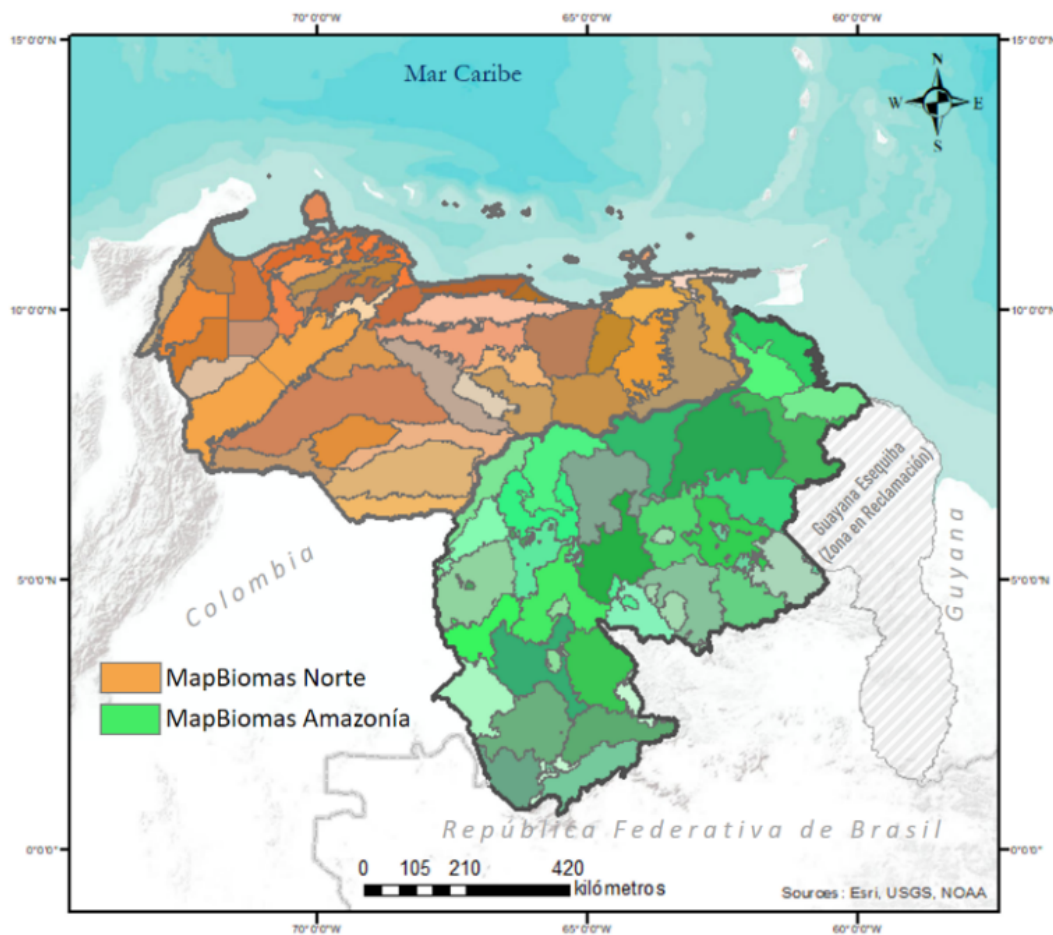


Figura 13. Mapa de regiones definidas en para la clasificación de los componentes de MapBiomias Venezuela. En tonos tierra, se muestran las 46 regiones de MapBiomias Norte; mientras que, en tonos verdes, las 36 regiones que corresponden a MapBiomias Amazonía.

3.2.2. Leyenda de MapBiomias Venezuela

La riqueza de paisajes de Venezuela, se derivada de factores abióticos y bióticos interactúan a lo largo de la historia geológica reciente y subreciente, los cuales conforman patrones fisiográficos y climáticos muy diversos, que además han sido alterados por efecto de las actividades humanas (Huber y Oliveira-Miranda 2010). Por su emplazamiento, Venezuela es un país tropical caracterizado

por un clima tropical isotérmico, con variedad de climas locales definidos por la precipitación, con la influencia de las bajas ecuatoriales asociadas con la convergencia intertropical, que además es modulada por la orografía y la influencia de los vientos alisios del este y noreste (Hernández y García 1993). Esta diversidad de paisajes tiene expresiones características asociadas a la fachada al Mar Caribe, desde Castilletes hasta Paria, la presencia de diversos sistemas montañosos como la Cordillera de La Costa, la Cordillera de los Andes y las serranías y altiplanicies del Macizo de Guayana, los Llanos al norte del río Orinoco, las penillanuras al sur de Venezuela.

La leyenda de MapBiomias Venezuela está integrada por 20 clases de cobertura y uso del suelo, de las cuales 14 están presentes en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía y 18 en la Colección 1 de MapBiomias Norte. Se trata de una leyenda jerárquica que en un primer nivel presenta seis clases en el Nivel 1 y 20 clases en el Nivel 2 (Tabla 3). Una leyenda con un número de clases relativamente restringido en relación a la precisión espacial, implica que las clases tendrán poca homogeneidad interna, lo que dificulta el proceso de clasificación automática. Es por ello que, para facilitar el proceso de clasificación, se empleó en primer lugar una estrategia de segmentación espacial que se realizó apoyados en el mapa de *regiones de clasificación*. Su uso facilitó el muestreo y clasificación por regiones ya que de este modo se reduce la variabilidad interna de las clases en la fase de clasificación, para que cada clase tenga un sentido específico a ese ámbito regional, lo que mejora la detección de las clases, que se agruparon en la fase de integración. También se intensificó el muestreo por regiones y en las clases cuya detección es más compleja, se abordó la clasificación de la clase de forma específica a través de temas transversales.

La mayor heterogeneidad de LULC se presenta al norte de Venezuela y en esta primera colección se realizó un enorme esfuerzo de muestreo, con el objeto de realizar una adecuada discriminación de coberturas que se clasificaron de forma simultánea en un *mapa general*.

Tabla 3. Códigos de las clases de cobertura y uso del suelo. Presencia de clases en cada componente: MapBiomias Amazonía Colección 5 (MBC5), MapBiomias Norte Colección 1 (MBNC1) y paleta de colores utilizadas en la Colección 1 de MapBiomias Venezuela.

COLLECTION 1 - CLASSES	COLECCIÓN 1 - CLASES	ID	MBC5	MBNC1	Hexacode Color Number	New Color
1. FOREST	1. BOSQUES	1			#32a65e	
1.1. Forest formation	1.1. Formación forestal	3	✓	✓	#1f8d49	
1.2. Wooded savanna	1.2. Sabana arbolada	4		✓	#7dc975	
1.3. Mangrove	1.3. Manglar	5	✓	✓	#04381d	
1.4. Wetland forest	1.4. Bosque inundable	6	✓	✓	#026975	
2. NON FOREST NATURAL FORMATION	2. FORMACIÓN NATURAL NO FORESTAL	10			#ad975a	
2.1. Flooded grassland/shrubland	2.1. Herbazal/Arbustal inundable	11	✓	✓	#519799	
2.2. Grassland	2.2. Sabana/Herbazal	12	✓	✓	#d6bc74	
2.3. Rocky outcrop	2.3. Afloramiento rocoso	29	✓	✓	#ffaa5f	
2.4. Hypersaline tidal flat	2.4. Planicie de marea hipersalina	32		✓	#fc8114	
2.5. Xerophytic grassland/shrubland	2.5. Herbazal/Arbustal xerófilo	50		✓	#ad5100	
2.6. Other non-forest natural formations	2.6. Otras formaciones naturales no forestales	13	✓	✓	#d89f5c	
3. FARMING	3. ACTIVIDAD AGROPECUARIA	14			#FFFFB2	
3.1. Pasture	3.1. Pasto	15	✓		#edde8e	
3.2. Cropland	3.2. Agricultura	18	✓		#E974ED	
3.3. Forest plantation	3.3. Plantación forestal	9		✓	#7a5900	
3.4. Cropland/pasture	3.4. Uso agropecuario	21	✓	✓	#ffefc3	
4. NON VEGETATED AREA	4. ZONAS SIN VEGETACIÓN	22			#d4271e	
4.1. Beach, dune or sand	4.1. Playa, duna o arena	23		✓	#ffa07a	
4.2. Urban	4.2. Uso urbano	24	✓	✓	#d4271e	
4.3. Mining	4.3. Uso minero	30	✓	✓	#9c0027	
4.4. Other non vegetated areas	4.4. Otras áreas sin vegetación	25	✓	✓	#db4d4f	
5. WATER	5. CUERPO DE AGUA	26			#0000FF	
5.1. River, lake or ocean	5.1. Río, lago u océano	33	✓	✓	#2532e4	
5.2. Aquaculture	5.2. Acuicultura	31		✓	#091077	
6. NOT OBSERVED	6. NO OBSERVADO	27			#ffffff	

3.3 Creación de muestras por año

Se calcula el tamaño de muestral proporcional al área que ocupa la clase y se distribuyen los puntos de muestreo de forma balanceada. La capa de píxeles estables, se inspecciona de manera visual y de ser necesario se complementa la muestra. Posteriormente, se generan las muestras anuales a partir de la extracción de valores de los mosaicos Landsat asociados con los puntos de muestreo para generar muestras para cada año de la serie temporal.

3.4 Clasificación con el algoritmo Random forest

El método de clasificación *Random forest*¹⁴ se basa en un algoritmo de aprendizaje de máquina (*machine learning*), es una combinación de árboles predictores para generar elevados niveles de precisión, inclusive frente a escenarios complejos por su heterogeneidad. La base conceptual del algoritmo de clasificación *Random forest* que el producto resultante de la combinación de múltiples clasificadores alcanza precisiones elevadas. Utiliza datos de entrenamiento para construir múltiples árboles de decisión a partir de los cuales se asigna una clase a cada píxel (Tumer y Ghosh 1996). El uso de este algoritmo de clasificación en teledetección, ha ganado importancia en los últimos años, debido a su robustez frente a ruidos y valores atípicos. El algoritmo *Random Forest* forma parte del paquete de clasificadores de *machine learning* disponibles en la plataforma GEE.

Uno de los parámetros que *Random forest* requiere es un número definido de árboles. Además, requiere de una lista de variables, y contar con datos de entrenamiento. Para la Colección 5 de MapBiomass, el número de árboles varió según las necesidades y características de cada región de clasificación, información que se detalla por país en los ATBD nacionales.

3.4.1 Relleno de vacíos de información (*Gap fill*)

El sur de Venezuela, se caracteriza por ser una región fuertemente influida por las bajas presiones de la convergencia intertropical, que produce alta inestabilidad y nubosidad a lo largo de

¹⁴ [Leo Breiman. "Random forests." *Machine Learning* 45, no. 1 \(October 1, 2001\): 5–32, https://doi.org/10.1023/A:1010933404324](https://doi.org/10.1023/A:1010933404324)

casi todo el año. Por otra parte, al norte también se presentan importantes áreas montañosas, que tienen nubosidad durante períodos prolongados. Esta cobertura de nubes, condiciona la construcción de mosaicos anuales que inevitablemente incluyen áreas nubosas y al aplicar los filtros para su extracción producen píxeles sin datos (*No data*).

El filtro de relleno de vacíos o *Gap fill* tiene la capacidad de reducir estos vacíos residuales al asignar valores a píxeles sin datos debido a ausencias de observación del satélite (“gaps”). Los píxeles en las clasificaciones sin datos (“gaps”) son reemplazados por el valor temporalmente más cercano. Cuando un píxel “futuro” carece de valor (sin datos), el filtro de *Gap fill* le asigna el valor del año más próximo al mismo (Figura 14). Este filtro hace una revisión de la serie donde primero llena vacíos haciendo un barrido de “atrás hacia adelante”, donde los vacíos son llenados con datos de los años próximos que anteceden al año sin datos. De haber vacíos remanentes, estos son llenados con datos del año más próximo precedente. Para cada píxel cuyo valor fue completado empleando este filtro, el cambio ha sido registrado en un archivo de metadata, donde se ha registrado el año (la historia) del píxel.

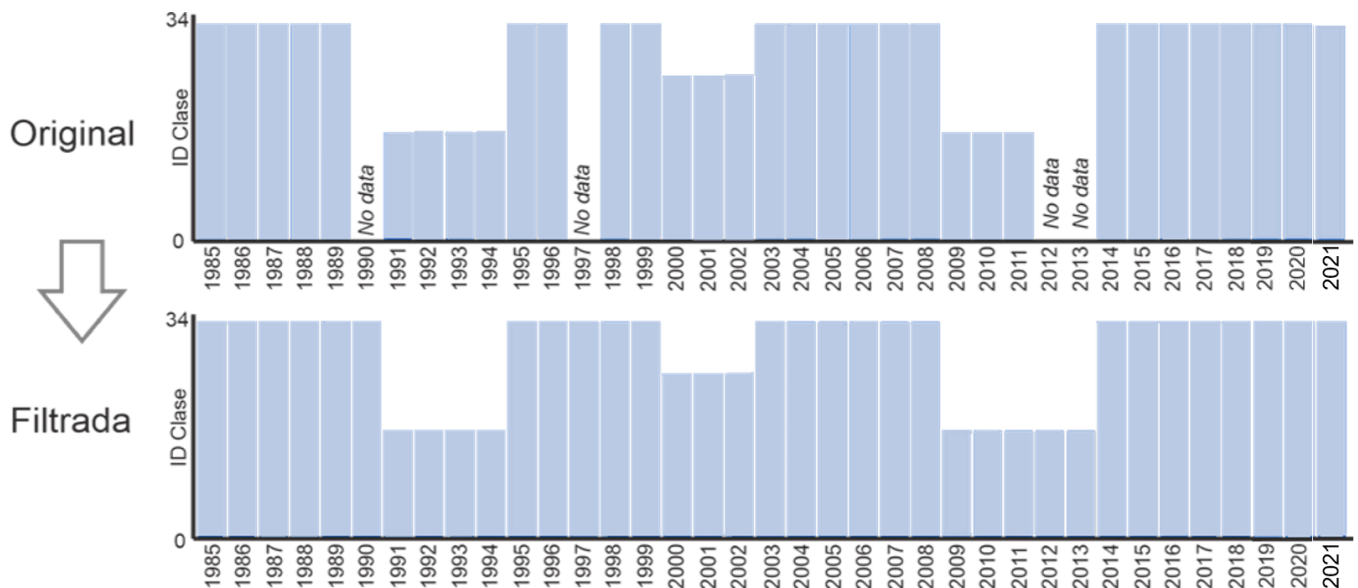


Figura 14. Funcionalidad del filtro de *Gap fill* en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía.

3.5. Post clasificación

El resultado preliminar de clasificación fue sometido a la aplicación de una secuencia de filtros con el propósito de reducir inconsistencias temporales, ruidos de clasificación menores a la unidad mínima de mapeo¹⁵, así como rellenar vacíos de información. El proceso de post clasificación en esta colección, la secuencia de aplicación de los filtros se generó a partir de un conjunto de reglas de decisión, diseñadas para cada región de clasificación de acuerdo a los requerimientos específicos. Estas reglas, incorporan excepciones de empleo, tales como la exclusión de años y clases, e incluso la repetición de filtros. Todas estas herramientas se implementaron en la plataforma GEE, mediante el uso de *scripts* desarrollados en el lenguaje JavaScript. A continuación, presentamos cada una de estas herramientas a mayor detalle. Una descripción de la adaptación de estos filtros por país puede ser encontrada en los apéndices nacionales.

3.5.1 Filtro Temporal

El filtro temporal inspecciona el valor de cada píxel clasificado en relación al valor de ese píxel en clasificaciones temporalmente consecutivas. Para ello emplea una ventana móvil unidireccional que toma en consideración secuencias de clasificaciones de 3 a 5 años e identifica transiciones temporales no permitidas. El filtro temporal se aplica a cada píxel de todos los años de la colección.

Dependiendo del año que la regla modificará, existen tres tipos de reglas:

- Reglas generales (RG). Aplicadas a píxeles de años en posiciones intermedias en secuencias de 3 a 5 años. Esta 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. Esta regla modifica los valores de las clasificaciones de los años 1986 al 2020.

¹⁵ 5 píxeles = aproximadamente media hectárea

- Reglas de primer año (RP). Aplicadas únicamente al primer año de la serie temporal. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 1985.
- Reglas de último año (RU). Aplicada al último año de la clasificación. Esta regla modifica los valores de la clasificación del año 2021.

De este modo, los filtros temporales reducen vacíos de información e inconsistencias temporales o cambios que no son posibles o no están permitidos (Figura 15). Por ejemplo, si en tres años consecutivos un píxel tiene los siguientes valores: Formación Forestal > Área No Vegetada > Formación Forestal, el filtro corregirá el año intermedio. Este caso es un típico error de clasificación debido a la presencia de bruma de nubes en el mosaico del año intermedio. La decisión de elegir el tamaño de la ventana temporal fue de cada país de acuerdo a las necesidades y características de sus coberturas y usos del suelo por subregión y/o tema transversal. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.

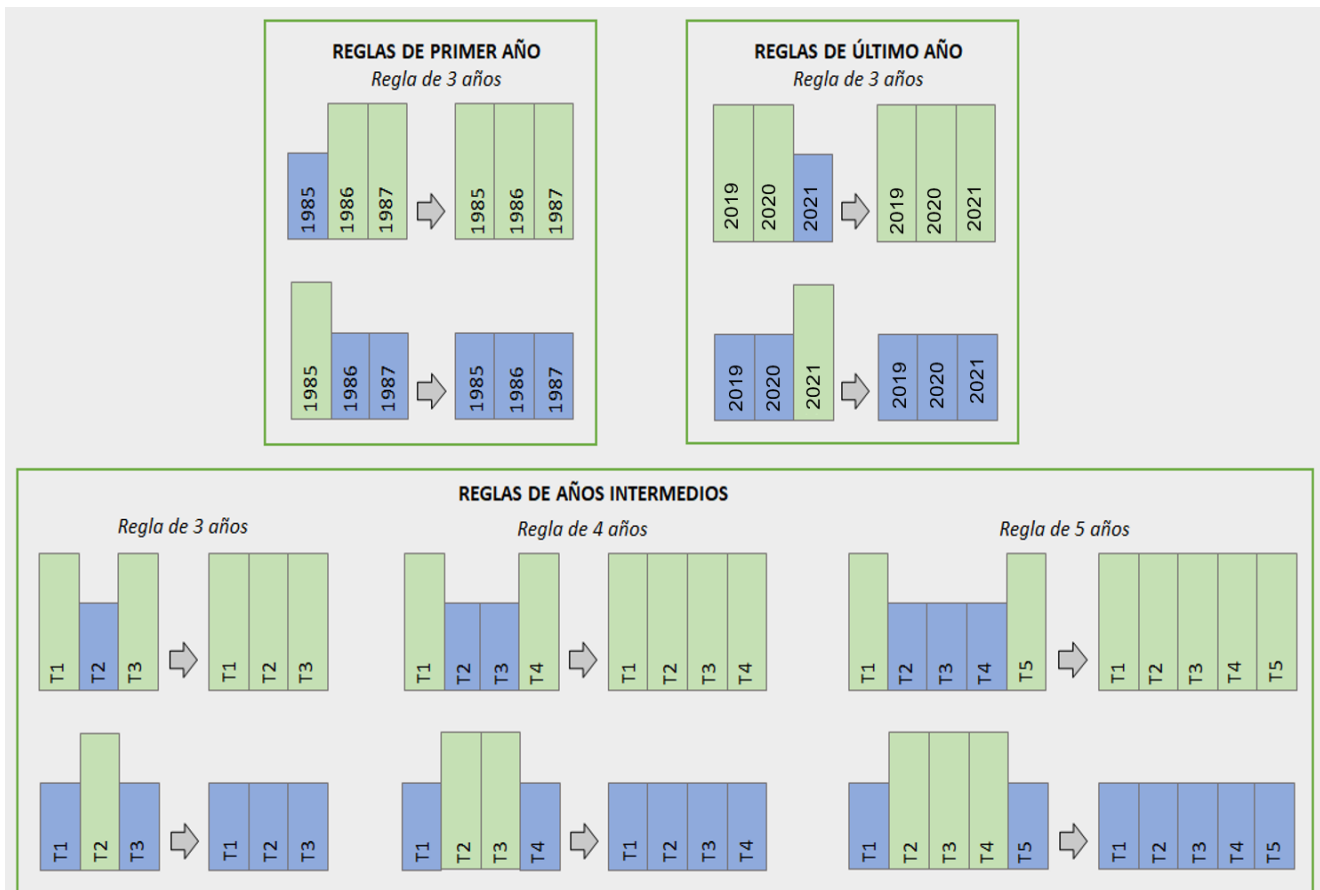


Figura 15. Funcionalidad del filtro temporal en la Colección 5 de MapBiomás Amazonía.

3.5.2 Filtro Espacial

El filtro espacial se basa en la función “*connectedPixelCount*”, nativa del GEE. Esta función localiza píxeles conectados (vecinos) que comparten 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. En el caso de MapBiomás Amazonía, la unidad mínima de mapeo fue definida como 0,5 ha (5 píxeles). Consecuentemente, se requirió que por lo menos cinco píxeles estén conectados para cumplir con el criterio de conexión mínima. De este modo, el filtro espacial allana (suaviza) diferencias locales al eliminar píxeles aislados o de borde menores a 0.5 ha, incrementando la consistencia espacial de las calificaciones (Figura 16). Cabe resaltar que algunas regiones de clasificación tuvieron excepciones de unidad mínima de 3 píxeles.

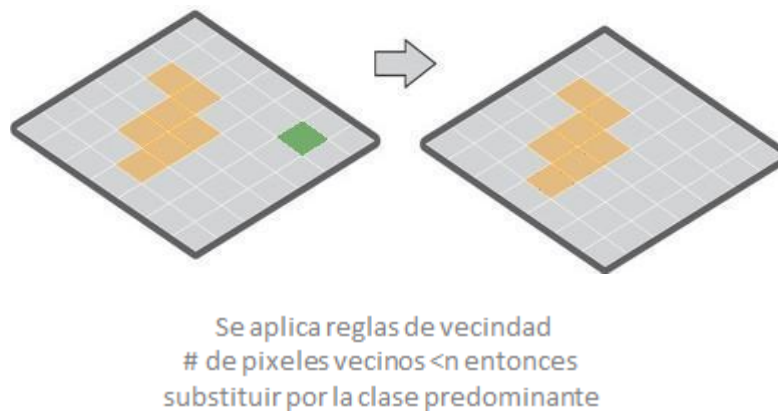


Figura 16. Funcionalidad del filtro espacial en la Colección 5 de MapBiomás Amazonía.

3.5.3 Filtro de frecuencia

Este filtro toma en consideración la frecuencia de ocurrencia de clases naturales en toda la serie temporal. Por lo tanto, clases con ocurrencias menores a un porcentaje definido por el

intérprete son reemplazadas por el valor de la clase más frecuente. Este mecanismo contribuye a reducir la oscilación temporal asociada a una clase natural, disminuyendo la frecuencia de falsos positivos y preservando trayectorias consolidadas (Figura 17). De acuerdo a las necesidades de cada subregión y/o tema transversal, se adecuaron los criterios del filtro por región de clasificación. Se descartó su aplicación en varias subregiones y/o países. Ver más detalles en los respectivos apéndices por país.



Figura 17. Funcionalidad del filtro de frecuencia en la Colección 5 de MapBiomias Amazonía.

3.5.4. Reclasificación

En casos muy particulares, donde no hubo continuidad de clase entre países, se optó por verificar con capas de referencia o información secundaria qué país tenía la correcta clasificación y así reclasificar la clase errónea y obtener una correcta continuidad entre biomas o países.

3.6. Integración

Los resultados de las clasificaciones anuales obtenidos para cada una de las regiones de clasificación (ver sección 3.2.1) constituyen sectores del mapa base general, los cuales requieren ser integrados en un único mapa regional anual. Este proceso de integración se realiza a nivel de cada país.

3.6.1. Temas transversales

Limitaciones en la discriminación de algunas clases de cobertura, hacen necesario el empleo de otras estrategias de clasificación, como el abordaje de su mapeado de manera transversal, para lo cual se desarrollaron metodologías específicas para cada clase. Estas clases fueron mapeadas independientemente, por lo que se les denomina *temas transversales*, empleando algoritmos que consideran únicamente la clase de interés, estas estrategias solo se aplicaron al sur de Venezuela, ya que en la Colección 1 de MapBiomás Norte, todo el proceso de discriminación de clases se realizó mediante densificación del muestreo. De este modo, 7 de las 18 clases que integran la leyenda de MapBiomás Amazonía se desarrollaron con este enfoque. Este es el caso de las clases: Manglar (ID 5), Bosque inundable (ID 6), Herbazal/Arbustal inundable (ID 11), Pasto (ID 15), Agricultura (ID 18), Uso urbano (ID 24) y Minería (ID 30), como se muestra en la Figura 18. Posteriormente, esta información es incluida en el mapa final, a partir de un conjunto de reglas, que se incorporan en la fase de integración. La descripción metodológica de cada uno de estos temas, se detalla en los ATBD específicos a cada tema, disponibles en la página web del proyecto.

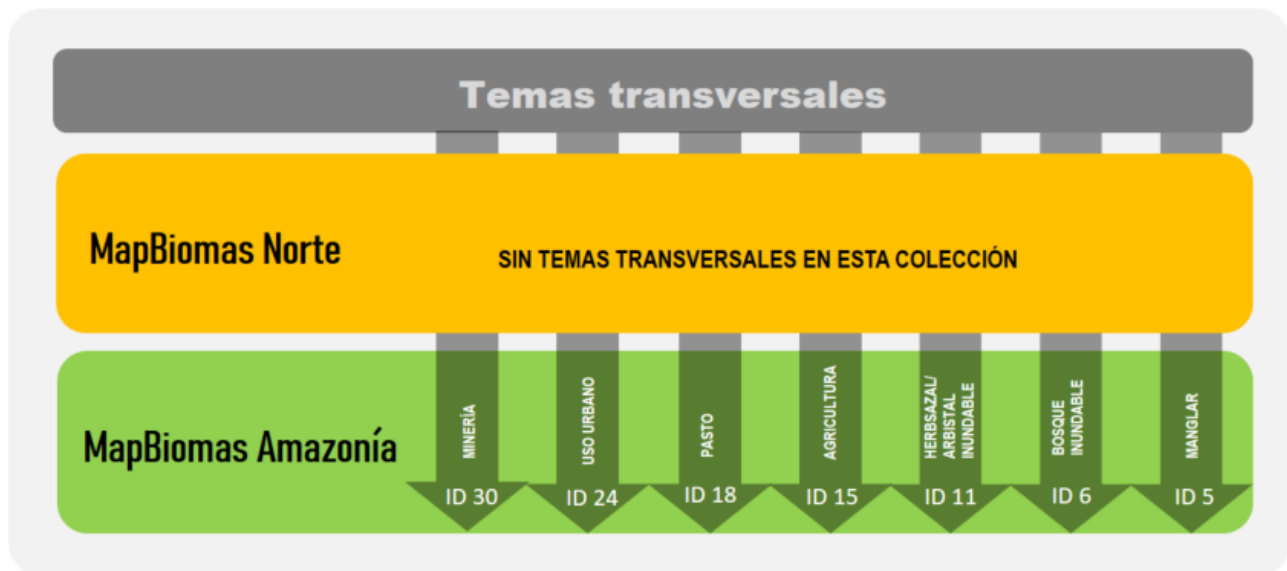


Figura 18. Esquema de temas transversales aplicados en la primera colección de MapBiomos Venezuela.

3.6.2 Reglas de Prevalencia en la integración

Posterior a esta primera integración, los resultados de la clasificación de los temas transversales son incorporados al mapa general, como una reclasificación de los pixeles; siguiendo reglas de prevalencia o de orden de integración que definen la prevalencia de clases donde ocurra superposición de distintos valores. Un ejemplo de las reglas de prevalencia para el bioma Amazonía se presenta en la Tabla 4. El producto son mapas anuales de cobertura y uso por país.

Tabla 4. Reglas de prevalencia para la fase de integración. El valor numérico indica el orden de integración.

Clase	ID	Fuente	ORDEN DE PREVALENCIA DE CLASES					
			Bolivia	Perú	Ecuador	Colombia	Venezuela	Guyanas y Surinam
Formación Forestal	3	Base	14	14	16	13	13	5
Sabana arbolada	4	Base			-			
Manglar	5	Transversal	-	-	-	-	12	1

Bosque Inundable	6	Base	-	13	-	-	-	6
Bosque Inundable	6	Transversal	9	12	15	12	7	-
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Base	-	10	11	-	-	8
Formación Natural No Forestal Inundable	11	Transversal	10	9	-	8	8	-
Formación Campestre	12	Base	12	15	3	10	9	7
Afloramiento Rocoso	29	Base			5	-	1	
Otra Formación No Forestal	13	Base	11	16	4	11	11	-
Pastos	15	Transversal	6	-	10	6	3	-
Agricultura	18	Transversal	7	-	12	5	4	-
Uso agropecuario	21	Base	8	8	14	7	5	9
Uso agropecuario	21	Transversal	-	7	-	-	-	-
Silvicultura	9	Base			6	-	-	
Silvicultura	9	Transversal			-	-	-	
Palma aceitera	35	Transversal			13	4	-	
Uso urbano	24	Transversal	5	6	2	2	6	2
Otras áreas sin vegetación	25	Base	13	11	9	9	14	4
Uso minero	30	Transversal	1	1	8	1	2	-
Río, Lago y Océano	33	Base	4	5	7	3	10	3
Río, Lago y Océano	33	Transversal	3	4	12	-	-	-

Glaciar	34	Transversal	2	2	1	-	-	-
No observado	27	Base			17			

El último paso del proceso de integración consiste en integrar los productos nacionales en un solo producto regional Amazónico. En esta etapa también se integra el producto correspondiente al territorio de Brasil, proveniente de la Colección 8 de MapBiomás Brasil.

3.6.3 Mapas de transiciones

Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las transiciones. Estas representan los cambios entre pares (2) de mapas, es decir, entre dos periodos. Los resultados están disponibles en la plataforma de MapBiomás Amazonía. Las transiciones son calculadas para diferentes periodos, por ejemplo:

- (A) años consecutivos, anuales (por ejemplo, de 2001 a 2002, o de 2013 a 2014, etc.)
- (B) períodos de cinco años (por ejemplo, 2000-2005)
- (C) períodos de diez años (por ejemplo, 2000-2010)
- (D) serie temporal completa (1985 - 2022)
- (E) períodos especiales (por ejemplo, 2000-2022)

3.6.4 Estadísticas

Con base a los mapas anuales de cobertura y uso integrados, se calculan las estadísticas zonales, anuales, de las clases mapeadas. Las unidades espaciales consideradas para el cálculo de las estadísticas son:

- País
- Estado
- Municipio
- Biomás
- Ecorregiones
- Regiones fisiográficas
- Cuenca hidrográfica
- Áreas naturales protegidas

- Territorios indígenas

3.7 Evaluación de la precisión

Está pendiente la validación 1985-2022 de MapBiomias Venezuela, mediante la generación de una capa de referencia, producto de la interpretación de imágenes de satélite en las unidades de muestreo seleccionadas y orientados por lo que se considera un conjunto de buenas prácticas para la validación de la exactitud temática de productos de teledetección. El proceso se iniciará con la estimación del tamaño de la muestra aleatoria estratificada basada en un modelo multinomial, con un nivel de confianza del 95 % y una afijación balanceada de la muestra. Luego se procederá a generar el mapa de referencia a partir de la interpretación visual de un grupo de intérpretes. Seguidamente, se generará la matriz de confusión y se calcularán los siguientes estimadores de validación: exactitud global, exactitud del productor, exactitud del usuario e índice KHAT (estimador del índice KAPPA), para evaluar el grado de acuerdo entre la referencia y la clasificación.

4. Consideraciones prácticas

Es la primera vez que se dispone de un producto cartográfico de cobertura y uso del suelo para todo el territorio nacional, a una escala semidetallada, además de una colección de mapas en una serie temporal de 38 años. Esto equivale a la cobertura de 579 hojas a escala 1:100.000 para cada año de la serie (en la colección \approx 22002 mapas), repartidas de la siguiente forma: 293 corresponden a MapBiomias Norte y 286 a MapBiomias Amazonía. Esta colección es de gran interés para el inventario actual de recursos a nivel nacional, en la estimación de la pérdida de bosques, aumento de las superficies afectadas por los usos del suelo, crecimiento de la frontera agrícola, la expansión urbana y proyectos relativos a la mitigación de los efectos del cambio climático, entre otros.

4.1 Metodología y plataforma de procesamiento de datos

Para el desarrollo de este proyecto, con un alcance espacial y temporal inédito para la región, se utilizó una metodología estandarizada que puede de ser replicada en otras áreas del planeta. El uso

de las plataformas de trabajo en la nube de *Google Earth Engine* y la tecnología de código abierto se ha mostrado prometedor para la accesibilidad y el procesamiento de datos a gran escala.

A través del aprendizaje y la experiencia adquirida en la producción de la colección MapBiomias Amazonia 4.0, junto con el intercambio de ideas con los equipos de MapBiomias Brasil, fue posible lograr una mayor eficiencia en términos de tiempo y procesos. A partir del trabajo colaborativo y en red de un equipo multidisciplinario, fue posible establecer una metodología ajustada a las necesidades particulares de cada territorio.

El empleo del algoritmo *Random Forest* como clasificador de los mapas LULC de la Colección 1.0, combinado con un protocolo de mapeo flexible que permitió a cada país definir su espacio de características y muestras. La aplicación de filtros de post clasificación, permitió reducir los efectos asociados a la baja calidad y baja disponibilidad de imágenes de satélite que se presentan principalmente al inicio de la serie temporal. También, se incorporaron nuevos temas transversales en la Amazonía, lo que proporciona mayor nivel de detalle temático en los mapas de uso y cobertura del suelo.

4.2 Colección 1 de MapBiomias Venezuela

La Colección 1 de MapBiomias Venezuela de Cobertura y Uso del Suelo es un instrumento de monitoreo estratégico de los patrones espaciales de paisajes naturales y antrópicos del país, en una ventana temporal de más de tres décadas. La producción de este volumen de información multitemporal, ofrece el potencial para aplicaciones que permitan identificar las tendencias, así como los principales factores de cambio que modifican los patrones de LULC en distintas regiones del país.

En la Colección 1 de MapBiomias Venezuela la mayor calidad de los mapas se asocia con el final de la serie temporal y la incertidumbre en la calidad de las clasificaciones se incrementa al inicio de la serie temporal. Las razones principales se refieren a la escasa disponibilidad de imágenes Landsat y a la baja calidad de las imágenes existentes antes del año 2000. Por otra parte, son muy limitadas las fuentes cartográficas que pueden consultarse antes de esa fecha, o tienen poca precisión para su comparación con las imágenes Landsat y los productos que se derivan de su clasificación. En líneas

generales los patrones son correctos, pero en algunas regiones y clases particulares, a menudo en áreas de intervención antrópica, se deben emplear diversas estrategias de revisión y corrección para mejorar futuras colecciones.

4.3 La leyenda de MapBiomias Venezuela

Está integrada por 20 categorías, lo cual es un número relativamente bajo clases de LULC para discriminar una elevada diversidad de paisajes. Estas restricciones están directamente relacionadas con la producción de una leyenda común en MapBiomias para los países de la Amazonía. Esta característica ofrece ventajas metodológicas y logísticas en el procesamiento de una cartografía común a todos los países de la Amazonía, aunque tiene la limitación de generar categorías de leyenda que son altamente inclusivas, pues incorporan a todas las variantes de comunidades en las que domina una determinada forma de crecimiento (árbol, arbusto o hierba), de acuerdo a su régimen de inundación (inundable, no inundable) en regiones con diversidad topográfica, edáfica y climática que producen respuestas muy variables. Esto significa, que las clases de cobertura y uso tiene unos valores característicos, discriminados en cada una de las regiones de muestreo, con características particulares en la fisionomía, caducifolia y humedad de la cobertura vegetal e incluso en los patrones de uso del suelo.

4.4 Diferencias entre los resultados del norte de Venezuela y MapBiomias Amazonía

MapBiomias Amazonía tiene una trayectoria previa de cuatro colecciones de mapas, de las que se derivan un proceso de aprendizaje de los métodos aplicados y también del territorio analizado a lo largo de series temporales cada vez más amplias. Al sur de Venezuela se ha tenido la experiencia del escrutinio de cuatro colecciones, lo que ha permitido depurar aspectos relativos a la calidad temática de la cartografía. Por otra parte, el elevado estado de conservación de los ecosistemas al sur de Venezuela, es otro factor que facilita la producción de colecciones de mapas, en los que es más frecuente representar la variabilidad natural de los ecosistemas y poner el foco sobre las principales áreas de intervención antrópica.

El norte de Venezuela no dispone de datos previos, la heterogeneidad de paisajes y la intensidad de la intervención antrópica dificultan de manera considerable el proceso de clasificación y de verificación de la calidad de los datos obtenidos.

4.5 Características de las clases de cobertura y uso del suelo

En Colección 5 de MapBiomias Amazonía se incorporan por primera vez las clases *Pasto* (ID 15) y *Agricultura* (ID 18), ya que se realizó un esfuerzo en la separación de estas coberturas, aunque al sur también persiste la clase *Uso agropecuario* (ID 21), que engloba a las dos anteriores. Al norte de Venezuela no se desarrollaron temas transversales, por lo cual no fue posible discriminar entre pasto, y agricultura, por lo que sólo se empleó la clase *Uso agropecuario* (ID 21).

En la clase *Formación forestal* (ID 3) se engloban todas las comunidades boscosas no indudables, desde los bosques secos hasta los bosques nublados.

La clase *Sabana arbolada* (ID 4), solo se identificó al norte de Venezuela, aunque está presente también en la Amazonía.

En la clase *Herbazal/Arbustal inundable* (ID 11), se trata de comunidades en la que no es posible diferenciar los herbazales de los arbustales. Además de las comunidades herbáceas asociadas con los ambientes palustres, deltas y planicies aluviales, se incorpora a las sabanas inundables ampliamente distribuidas en los Llanos Occidentales.

La clase *Sabana/Herbazal* (ID 12), engloba a una gran variedad de comunidades herbáceas además de las sabanas llaneras. En Los Andes corresponde a los herbazales parameros. En la Amazonía, agrupa todas las variantes de comunidades de sabana, tanto abiertas como arboladas, a diferencia del norte de Venezuela, en donde las sabanas arboladas son parte de la clase *Sabana arbolada* (ID 4).

La clase *Otras formaciones naturales no forestales* (ID 13), al norte de Venezuela incorpora a las comunidades arbustivas desde ambientes xerófilos en zonas costeras, y en las Serranías de

Lara-Falcón hasta el páramo en Los Andes. Al sur de Venezuela corresponde a la vegetación tanto herbácea como arbustiva característica de los tepuyes.

En la clase Herbazal /Arbustal xerófilo (ID 50), no se puede hacer separación entre herbazales y arbustales bajos y a menudo de escasa densidad que se presentan en ambientes áridos.

La clase Uso minero (ID 30), corresponde a diversas áreas de extracción de minerales, abarca diversos tipos de minería como explotación de minerales no metálicos al norte de Venezuela, aunque no se realizó un levantamiento exhaustivo de estas áreas. A diferencia de la Amazonía, que incluye extracción de oro de tipo artesanal, ribereña que si está identificada de forma detallada.

5. Desafíos

Nuestro principal compromiso es mejorar la calidad de los productos, principalmente al norte del río Orinoco, para alcanzar un nivel homogéneo de calidad de los datos, tanto al norte como al sur de Venezuela. También, incrementar el número de clases de la leyenda progresivamente de modo de obtener una cartografía de cobertura y uso del suelo, que recoja la principal heterogeneidad de paisajes del país a un nivel de precisión temática que se ajuste de mejor manera a la precisión espacial de las colecciones.

Mantener e incrementar el uso de nuevas tecnologías y herramientas de teledetección que permitan obtener un producto de mayor calidad.

Ampliar los nodos de organizaciones aliadas que permitan conformar una red de investigadores que se incorporen a la generación de productos de MapBiomás Venezuela y validar en el terreno la calidad de los productos obtenidos mediante el trabajo local de nuestros aliados.

6. Referencias

1. 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.
2. Google (2019, Marzo 01). Landat Collections. Accedido en <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/landsat/>.
3. Google (2019, Marzo 01). Google Earth Engine API. Accedido en <https://developers.google.com/earth-engine/>.
4. Gorelick, Noel; Hancher, Matt; Dixon, Mike; Ilyushchenko, Simon; Thau, David; Moore, Rebecca (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 202, 18-27.
5. Hernández, R. y García, L.F. (1993). Clima. Pp-38-41. En: G.A. Ruiz (ed). *Imagen de Venezuela: Una visión espacial*. Instituto de Ingeniería. Petróleos de Venezuela, S.A. Caracas. Venezuela.
6. Huber, Otto (1995). *Guayana Venezolana: Mapa de Vegetación*. 1:2.000.000.
7. Huber, O. y M.A. Oliveira-Miranda. (2010). Ambientes terrestres. Pp: 29-89. En: J.P. Rodríguez, F. Rojas-Suárez & D. Giraldo Hernández (eds.). *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas:Venezuela.
8. Huber O, Alarcón C (1988) *Mapa de Vegetación de Venezuela*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. TheNature Conservance.
9. Hueck K (1960) *Mapa de Vegetación de la República de Venezuela*. Instituto Forestal Latinoamericano de Investigación y Capacitación. Mérida, Venezuela.
10. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). *Proyecciones de Población 2018*, Enlace: <http://www.ine.gov.ve/>. (2018).
11. Josse C., Cuesta F., Navarro G., Barrena V., Cabrera E., Chacón-Moreno E., Ferreira W., Peralvo M., Saito J. y Tovar A. (2009). *Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, LTA-UNALM, IAvH, ICAE-ULA, CDCUNALM, RUMBOL SRL. Lima.
12. 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.
13. MPPAMB (2014). *Mapa de Ecosistemas de Venezuela*. 1: 2.000.000. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente; Caracas.
14. Olson, David; Dinerstein, Eric; Wikramanayake, Eric; Burgess, Neil; V. N. Powell, George; C. Underwood, Emma; A. D'amico, Jennifer; Itoua, Illanga; E. Strand, Holly; Morrison, John; J. Loucks, Colby; F. Allnutt, Thomas; Ricketts, Taylor; Kura, Yumiko; Lamoreux, John; W. Wettengel, Wesley; Hedao, Prashant ; Kassem, Kenneth. (2001). *Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth*. *BioScience*. Vol 51, No 11. 933-938.
15. Souza, Carlos; Roberts, Dar A.; Cochrane Mark A. (2005). Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 98, p329-343.
16. Souza, Carlos; Siqueira, J.V.(2013). *ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis*. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 1571-1578.

17. Steyermark, J. A., Berry, P. E., Holst, B. K., & Yatskievych, K. (1995). *Flora of the Venezuelan Guayana* (Vol. 1, p. 320). St. Louis: Missouri Botanical Garden.
18. Proyecto MapBiomias Amazonía (2020) - Colección 2 de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo. Enlace: <http://amazonia.mapbiomas.org>.
19. 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.
20. 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
21. Steyermark, Julian; Berry, Paul; Holst, Bruce (eds.) (1995). *Flora of the Venezuelan Guayana Volume 1: Introduction*. Missouri Botanical Garden. ISBN 0-88192-313-3.
22. Wulder, M. A., White, J. C., Loveland, T. R., Woodcock, C. E., Belward, A. S., Cohen, W. B., Fosnight, E. A., Shaw, J., Masek, J. G., and Roy, D. P. (2016). The global Landsat archive: Status, consolidation, and direction. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 185, 271-283.

APÉNDICE. Descripción de las 20 clases de la leyenda de MapBiomos Venezuela.

Clase Nivel 1	Clase Nivel 2	Componente	Descripción
1. Bosques	1.1. Formación forestal	Norte / Amazonía	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.
	1.2. Sabana arbolada	Norte	Formación dominada por gramíneas, además de otros componentes herbáceos. Generalmente presenta individuos arbóreos y/o arbustivos bajos y retorcidos con adaptaciones al fuego. Los 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>). Aunque existe una gran heterogeneidad de sabanas, en las que dominan otras especies leñosas, también se pueden presentar agrupaciones de árboles aisladas conocidas como "mata" y en ocasiones palmas aisladas o agrupadas en diversos tipos de palmares. La sabana arbolada interrumpe una matriz más o menos continua y dominante de plantas de porte herbáceo a menudo xeromórficas, conocida comúnmente como sabana.
	1.3. Manglar	Norte / Amazonía	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. Las cuatro principales especies constituyentes de este tipo de bosque son: mangle rojo (<i>Rhizophora mangle</i>), mangle negro (<i>Avicennia germinans</i>), mangle blanco (<i>Laguncularia racemosa</i>) y mangle botoncillo (<i>Conocarpus erectus</i>).
	1.4. Bosque inundable	Norte / Amazonía	Formación forestal sujeta a un régimen de inundación permanente o estacional, intra e interanual. Topográficamente se asocia a llanuras de inundación fluvial, depresiones, ambientes palustres o deltas y planicies aluviales afectadas por la sedimentación y cambios de curso de los ríos.
2. Formación natural no forestal	2.1. Herbazal/Arbustal inundable	Norte / Amazonía	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. Incluye comunidades de sabanas inundables en Los Llanos. Esta clase también abarca comunidades de vegetación acuática e incluso vegetación flotante, sabanas con palmas y herbazales de hoja ancha sobre pantano.
	2.2. Sabana/Herbazal	Norte / Amazonía	Abarca gran variedad de formaciones predominantemente herbáceas. Las sabanas se distribuyen principalmente en Los Llanos. Son comunidades caracterizadas por un estrato herbáceo más o menos denso y continuo en el que dominan las gramíneas, a menudo de paja saeta (<i>Trachypogon spicatus</i>); así como otras especies de hábito similar pertenecientes a los géneros <i>Axonopus</i> , <i>Panicum</i> y <i>Paspalum</i> . En Los Andes, incorpora a los herbazales parameros con las formas de crecimiento arrosietadas caulescentes, graminoides, vegetación cespitosa de plantas vasculares inferiores, entre otras. Estas comunidades están presentes principalmente en el piso altitudinal altimontano (3000 a 4000 m.s.n.m.). En la Amazonía puede incluir: sabanas abiertas, sabanas arboladas, sabanas arbustivas, sabanas con palmas y chaparrales, sabanas abiertas secundarias y otras comunidades herbáceas secundarias. Aunque al norte de Venezuela se separaron las sabanas abiertas de las arboladas, en la Amazonía forman parte de esta única clase.

Clase Nivel 1	Clase Nivel 2	Componente	Descripción
2. Formación natural no forestal	2.3. Afloramiento rocoso	Norte / Amazonía	Rocas expuestas naturalmente en la superficie de la tierra o exposición de material litológico como producto de deslizamientos. En Los Andes, corresponde principalmente al piso altitudinal alto andino (4000 a 4600 m.s.n.m.) en el que es muy escasa o nula la cobertura vegetal. Comunidades caracterizadas por formas de crecimiento de tipo rosetal y plantas en cojín geliturbadas parameras, pueden presentarse parches de vegetación cespitosa de plantas vasculares inferiores. En el piso altitudinal subnival a elevaciones superiores a 4600 m.s.n.m. la cobertura vegetal es nula. 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.
	2.4. Planicie de marea hipersalina	Norte	Laguna costera formada por sedimentos detríticos sobre áreas litorales, bahías y estuarios. Se caracteriza por su topografía cóncava y poco profunda. Generalmente, presenta altas tasas de evaporación. La salinidad y la profundidad de la lámina de agua dependen de las corrientes de agua dulce, las precipitaciones y tipo de conexión con las mareas.
	2.5. Herbazal/Arbustal xerófilo	Norte	Formación integrada por herbazales a menudo suculentos rastreros y/o arbustales armados de baja altura y escasa densidad de cobertura del suelo.
	2.6. Otras formaciones naturales no forestales	Norte / Amazonía	Está integrada por una variedad de comunidades arbustivas dominadas por individuos leñosos que se ramifican desde la base. Generalmente, con alturas menores de 5 m con dosel irregular. Puede estar integrada por especies armadas en comunidades de cardonales y espinares en zonas litorales. En Los Andes venezolanos incluye formas de crecimiento arrosetadas caulescentes y sufrútices (arbustal paramero). Es una comunidad transicional que se presenta en el piso altitudinal altimontano (3000 a 4000 m.s.n.m.). En la Amazonía, está integrada por vegetación propia de los tepuyes, arbustales y herbazales compuestos por formas de crecimiento particulares tales como: hierbas de hoja ancha, tubiformes, arrosetadas y fruticasas sobre roca, arena y turba. Estas comunidades presentan una alta diversidad y endemismo.
3. Actividad agropecuaria	3.1. Pasto	Amazonía	Área de potreros en la que la cobertura vegetal natural ha sido alterada o reemplazada mediante el cultivo de gramíneas y leguminosas que sirven para la alimentación del ganado.
	3.2. Agricultura	Amazonía	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. En la Amazonía, incluye a los conucos de los pueblos indígenas en los que es común la producción de rubros tales como: ñame (<i>Dioscorea spp.</i>), maíz (<i>Zea mays</i>), yuca (<i>Manihot esculenta</i>), plátano (<i>Musa spp.</i>), entre otros.
	3.3. Plantación forestal	Norte	Cultivo monoespecífico de árboles (en pie), generalmente especies de pino (<i>Pinus spp.</i>) o eucalipto (<i>Eucalyptus spp.</i>) para la producción de madera aserrada, astillas o pulpa para la elaboración de papel. También se puede incluir en esta clase a los cultivos de palma aceitera (<i>Elaeis guineensis</i>) y de coco (<i>Cocos nucifera</i>).
	3.4. Uso agropecuario	Norte / Amazonía	Engloba el cultivo de pastos y la agricultura que incluye una gran diversidad de rubros vegetales en una amplia variedad de sistemas de producción. No es posible distinguir los límites entre los pastizales y la agricultura.

Clase Nivel 1	Clase Nivel 2	Componente	Descripción
4. Zonas sin vegetación	4.1. Playa, duna o arena	Norte	Planicies arenosas en áreas litorales, áreas de acumulación en las planicies de inundación de ríos y límites de cuerpos de agua. También abarca las dunas, que consisten en la acumulación de arena en forma redondeada o alargada de origen eólico. En otras ocasiones incluye suelos desnudos naturales a menudo en zonas áridas.
	4.2. Uso urbano	Norte / Amazonía	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.
	4.3. Uso minero	Norte / Amazonía	Áreas de extracción de minerales, generalmente con remoción del suelo y exposición del material litológico. Incluye diversos tipos de minería industrial. Al norte de Venezuela, se trata principalmente de explotaciones de minerales no metálicos. 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.
	4.4. Otras áreas sin vegetación	Norte / Amazonía	Áreas desprovistas de cobertura vegetal, compuestas de diversas infraestructuras como: patios industriales, puertos, aeropuertos, represas, aeródromos, principales vías terrestres y otras infraestructuras fuera de áreas urbanas. En esta colección incluye a las salinas. , aunque esta cobertura corresponde a minería no metálica.
5. Cuerpo de agua	5.1. Río, lago u océano	Norte / Amazonía	Extensión cubierta de agua superficial natural o artificial. Comprende ríos, lagos, embalses y otros cuerpos de agua. Incluye áreas marino-costeras.
	5.2. Acuicultura	Norte	Infraestructura compuesta de lagunas artificiales para el cultivo de peces, camarones y otros invertebrados acuáticos.
6. No observado	6. No observado	Norte / Amazonía	Dato faltante, sin datos por nubosidad o fallas sistemáticas de los sensores.