MAPBIOMAS
ECUADOR

Cobertura y Uso del Suelo

Mapa Transversal - Minería

Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD)

Colección 4.0

Versión 1.0

Octubre 2026

Equipo MapBiomas Ecuador - Transversal Minería

Coordinador general de MapBiomas en Ecuador
Wagner Holguín

Especialistas en mapeo
Stephany Cevallos

Directora Ejecutiva de Fundación Ecociencia
Carmen Josse

Institución
Fundación de Estudios Ecológicos Ecociencia

Lizardo García E10-80 y 12 de Octubre.
Edificio Alto Aragón, Oficina 5C
Quito-Ecuador
+593 2 2523 066
http://ecociencia.org

Cómo citar
W. Holguín, K. Terán, F. Garcés, C. Cabrera & S. Cevallos. (2026). Documento de Bases Teóricas de Algoritmo (ATBD) MapBiomas Ecuador - Transversal Minería Colección 4.0, Apéndice Ecuador.

Índice

1. Introducción.....4
2. Construcción y definición de mosaicos Landsat.....4
3. Resumen metodológico.....6
4. Variables de clasificación.....6
5. Clasificación.....7
5.1. Generación de capa de referencia y preparación de datos.....7
5.1.1. Amazonía.....8
5.1.2. Costa y Andes.....9
5.2. Muestras de entrenamiento (minería/no minería).....13
5.3. Clasificación con algoritmo Random Forest.....14
5.4. Post-clasificación.....15
5.4.1. Gap fill.....15
5.4.2. Filtro espacial.....16
5.4.3. Filtro Temporal.....16
5.4.4. Integración.....18
6. Referencias.....21

Lista de figuras

Figura 1: Distribución de la cuadrícula de las Cartas Internacionales del Mundo a la Millonésima para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia.....5
Figura 2: Distribución de los Path/Row para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia.....5
Figura 3: Distribución de los Path/Row para el procesamiento del mosaico del año 2025. Elaboración: Ecociencia.....6
Figura 5. Presencia de minería identificada por cada fuente de referencia. Elaboración EcoCiencia.....8
Figura 6: Script utilizado para identificación de minería mediante barrido manual. A. Cuadrícula utilizada para el barrido. B. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8). Elaboración: EcoCiencia.....9
Figura 7: ROI de clasificación minera para Amazonia Colección 4.0. Elaboración: EcoCiencia.....9
Figura 8: Ejemplo de los ROI para el mapeo de zonas mineras - sector Tundayme. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8) Elaboración: Ecociencia.....9
Figura 9: Referencia para el mapeo de zonas mineras en Costa - Andes. Elaboración: Ecociencia.....10
Figura 10: ROI de clasificación minera para Costa-Andes Colección 4.0. Elaboración: Ecociencia.....12
Figura 11: Ejemplo de los ROI para el mapeo de zonas mineras - Esmeraldas. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8) Elaboración: Ecociencia.....13
Figura 12: Polígono de Minería y No-Minería - sector Tundayme. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8). Elaboración: Ecociencia.....13
Figura 13: Clasificación de minería en Amazonía. Arriba. Mina a cielo abierto mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8), -

Abajo. Los polígonos con relleno rojo indican la clasificación de minería 2025..... 14
Figura 14: Clasificación de minería en región Costa. Arriba. Minería fluvial mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8), - Abajo. Los polígonos con relleno rojo indican la clasificación de minería 2025. Elaboración: Ecociencia..... 15
Figura 15: Esquema de la funcionalidad de Filtro Gap Fill. Elaboración: MapBiomas..... 16
Figura 16: Esquema de la funcionalidad del filtro espacial. Elaboración: MapBiomas..... 16
Figura 17: Efecto del filtro temporal. Elaboración: MapBiomas..... 17
Figura 18: Filtro temporal regla de primer y último año. Elaboración: MapBiomas..... 17
Figura 19: Integración clase minera. Izquierda, clasificación integrada de las clases identificadas en el mapa general de la Colección 4 MapBiomas Ecuador. Derecha Imágen satelital de la zona. Abajo Imagen de paisaje de la zona minera identificada. Foto: Ministerio de Energía, Flickr..... 18
Figura 20: Clasificación multitemporal Tundayme. Elaboración: EcoCiencia..... 19
Figura 21: Mapa de minería 2025. Elaboración: EcoCiencia..... 20

Lista de Tablas

Tabla 1 - Variables para la clasificación de zonas mineras de la Colección 4, MapBiomas Ecuador..... 6
Tabla 2 - Periodos de análisis para la identificación de minería en las regiones Antes y Costa para la Colección 4.0. MapBiomas Ecuador..... 10

1. Introducción

La cobertura asociada a la minería se clasifica como un tema transversal dentro de la metodología de MapBiomas, debido a que ésta presenta semejanza espectral con otras clases, como los centros urbanos, los bancos de arena y otras áreas sin vegetación. Esta metodología ha sido implementada previamente en varios países como Bolivia, Perú y Venezuela, obteniendo resultados positivos en la identificación de la clase. En Ecuador, la metodología de mapeo se ha aplicado desde la colección 3 de MapBiomas Amazonía presentada en el 2021.

Este documento describe la metodología utilizada en la Colección 4.0 de MapBiomas Ecuador para la clasificación de las zonas con actividad minera en el territorio ecuatoriano; definidas como áreas superficiales de extracción de materiales pétreos o minerales, con clara exposición del suelo. No se diferencia si es industrial o artesanal, legal o ilegal, metálica o pétrea. La mayoría es aluvial, no es actividad que se pueda estar realizando en minas subterráneas.

Es importante señalar que la metodología original del trabajo se basó en la experiencia del equipo de MapBiomas Brasil, y en especial de Cesar Diniz (Solutions in Geoinformation, Solved, Brasil), quien ofreció una presentación al equipo MapBiomas para la identificación de la minería industrial de ese país. Esta fue implementada en la herramienta Google Earth Engine con ajustes para mejorar el rendimiento y la calidad del producto clasificado.

2. Construcción y definición de mosaicos Landsat

El primer paso en la generación de mapas de cobertura y uso del suelo es la construcción de mosaicos a partir de imágenes satelitales capturadas por el proyecto Landsat. Debido a las características de la iniciativa MapBiomas Ecuador, para los mosaicos anuales correspondientes al periodo 1985-2024 se emplearon dos métodos, según su ubicación:

1. Área dentro del límite RAISG: los mosaicos se procesaron a partir de una grilla uniforme basada en la Carta Internacional del Mapa Mundial al Millón (escala 1:250.000), donde el área de las mismas cubre un total de 1°30' de longitud por 1° de latitud (Ver fig. 1).

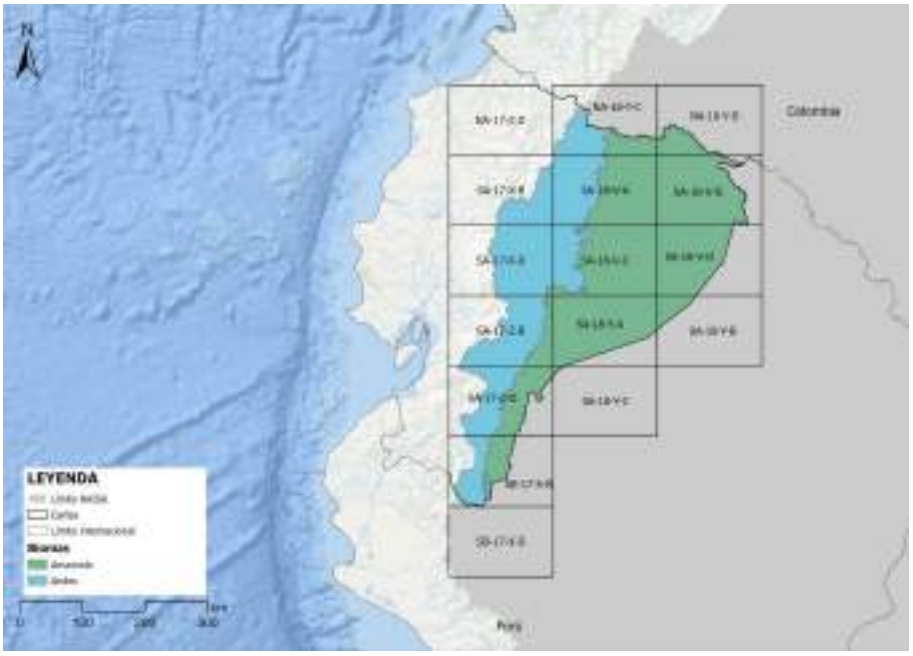


Figura 1: Distribución de la cuadrícula de las Cartas Internacionales del Mundo a la Millonésima para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia

2. Área fuera del límite RAISG: la unidad de referencia para el proceso de construcción de los mosaicos fue la cuadrícula de path / row. Todo el territorio ecuatoriano, tanto continental como insular, se encuentra cubierto por 17 combinaciones de path y row.

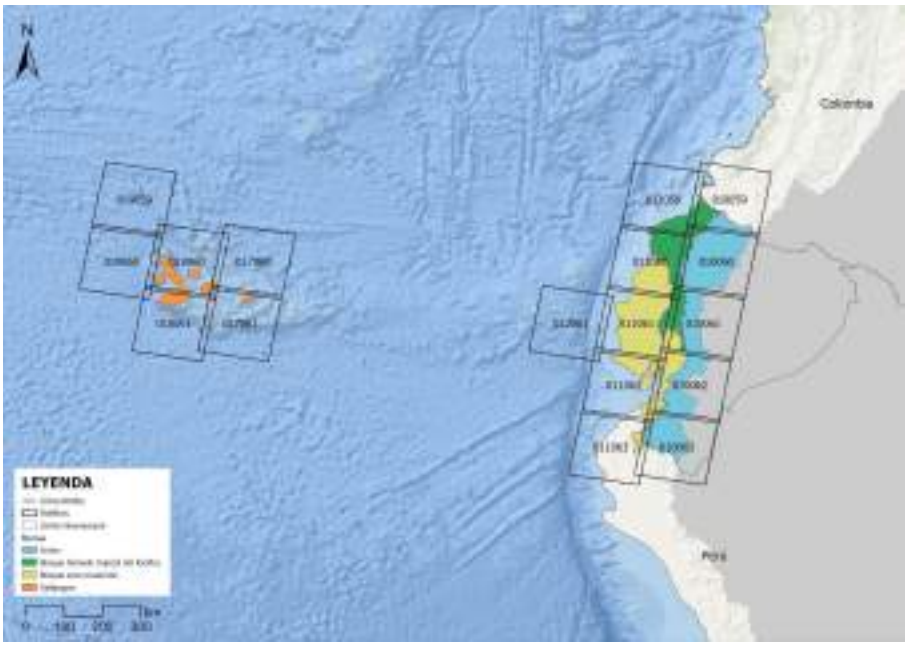


Figura 2: Distribución de los Path/Row para el procesamiento de mosaicos del mapa transversal de minería. Elaboración: Ecociencia

En cada una de cartas y path/rows, se construyen mosaicos anuales a partir de imágenes Landsat, con el objetivo de generar imágenes periódicas sin nubes que permitan su clasificación e identificación de cambios. Para mayor detalle revisar la sección 4 del Documento Teórico Base de Algoritmos (ATBD) de Ecuador - Colección 4.0.

Para la Colección 4.0, el mosaico correspondiente al año 2025 se construyó exclusivamente mediante el método Path / Row, con el objetivo de iniciar la unificación de las metodologías empleadas para la generación de mosaicos.

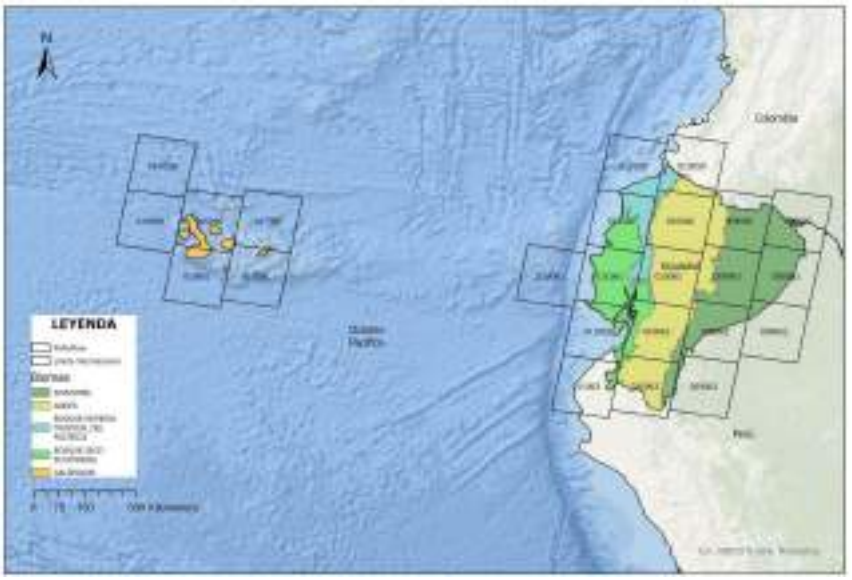


Figura 3: Distribución de los Path/Row para el procesamiento del mosaico del año 2025. Elaboración: Ecociencia.

3. Resumen metodológico

La metodología de clasificación de minería comprende seis etapas: generación de capas de referencia, preparación de datos, definición de muestras de entrenamiento, clasificación mediante Random Forest, aplicación de filtros espaciales y temporales e integración final en GEE. El proceso incorpora una etapa iterativa de ajuste y evaluación de la clasificación para mejorar su consistencia antes de la integración. Los seis pasos de clasificación del tema transversal de minería se representan esquemáticamente en el siguiente gráfico (ver fig. 4).

Figura 4: Pasos para la clasificación de minería. Elaboración: Ecociencia.

4. Variables de clasificación

La selección de variables a partir de los mosaicos para la identificación de las zonas mineras en Ecuador es el paso inicial para la clasificación. Se realizaron pruebas que permitieron identificar un conjunto de variables específicas para la detección de la minería. En total se usaron 12 variables, las cuales se presentan en la tabla 1.

Banda	Expresión / Descripción	Reductor
blue	Valor de la banda azul	Mediana
green	Valor de la banda verde	Mediana
red	Valor de la banda roja	Mediana
nir	Valor de la banda infrarrojo cercano (NIR)	Mediana
swir1	Valor de la banda SWIR1	Mediana
swir2	Valor de la banda SWIR2	Mediana
ndfi		Mediana
ndfib		Mediana
npv		Mediana
soil		Mediana, Amplitud
evi2	2.5 * ((NIR - Red) / (NIR + 2.4*Red + 1))	Mediana
ndvi	(NIR - Red) / (NIR + Red)	Mediana
ndwi_gao	(Green - SWIR1) / (Green + SWIR1)	Mediana
ndwi_mcfeeters	(Green - NIR) / (Green + NIR)	Mediana
mndwi	(Green-NIR)/(Green+NIR)	Mediana
gcvi	(nir / green) - 1	Mediana
nuaci	$UNTL*(1-\sqrt{(NDWIi-aNDWI)2+(NDVIi-aNDVI)2+(NDBIi-aNDBI)2})$	Mediana
		Mediana
pri	(blue - green)/(blue + green)	Mediana

Tabla 1 - Variables para la clasificación de zonas mineras de la Colección 4, MapBiomas Ecuador

5. Clasificación

Para generar la clasificación se desarrolló un esquema metodológico dividido en seis etapas, cuatro de las cuales corresponden al proceso de clasificación y las dos restantes a la etapa de post-clasificación. El proceso involucró (1) la identificación de las áreas mineras por fuentes externas oficiales, levantamiento de información de reportes, denuncias, encuestas en las regiones Costa y Andes y através de una barrido general en la Amazonía, donde se realizó una inspección visual por un intérprete especializado en detección de minería, (2) toma de muestras y clasificación en cada una de las regiones identificadas, para luego integrar el resultado de la clase minería en una capa única y, finalmente, con el mapa general de la Colección 4.0 de MapBiomas Ecuador. A continuación se describe cada paso asociado a la clasificación.

5.1. Generación de capa de referencia y preparación de datos

Se realizó una búsqueda de fuentes de datos auxiliares oficiales que reportan presencia de actividad minera, entre las cuales podemos encontrar el catastro minero (ARCERNNR, 2022) y las coberturas de cantera y mina del mapa de cobertura y uso de la tierra y sistemas productivos agropecuarios del Ecuador continental (MAG, 2021).

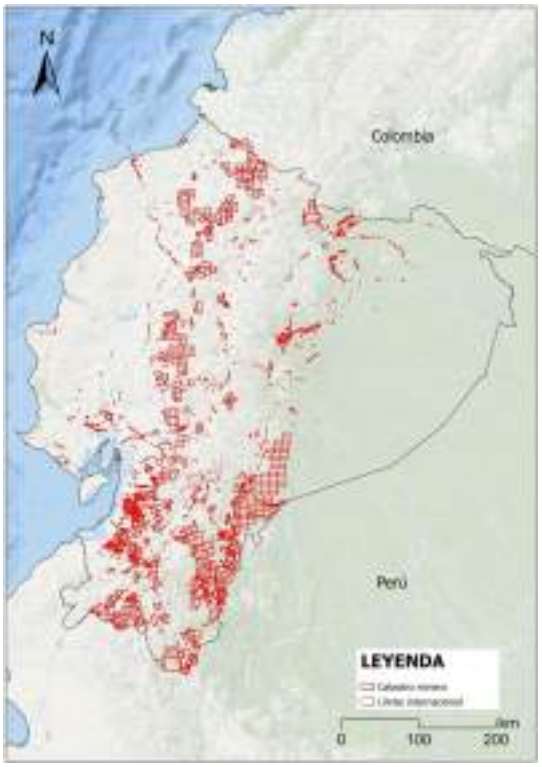
Catastro minero	Canteras y minas del mapa de cobertura y uso de la tierra y sistemas productivos agropecuarios del Ecuador continental
	

Figura 5. Presencia de minería identificada por cada fuente de referencia. Elaboración EcoCiencia.

5.1.1. Amazonía

En la región Amazónica, los datos de referencia se utilizaron como insumo para orientar la identificación de áreas con actividad minera mediante un barrido manual sistemático de todo el territorio de estudio. Para ello, se estableció inicialmente una cuadrícula de referencia sobre la región, que permitió organizar y asegurar una revisión espacial completa.

Para cada año de la colección se generaron ROI[1] de manera independiente. La identificación de las áreas potencialmente afectadas por actividad minera se realizó mediante la interpretación visual de los mosaicos Landsat anuales, complementada con imágenes de mayor resolución espacial de Planet. A partir de esta revisión, las áreas con evidencia de actividades minera fueron delimitadas y digitalizadas manualmente mediante ROI (ver fig. 8).

Los ROI obtenidos constituyeron el insumo inicial para el proceso de identificación y clasificación de las áreas mineras en el territorio ecuatoriano, sirviendo posteriormente como referencia para las etapas de entrenamiento y clasificación.

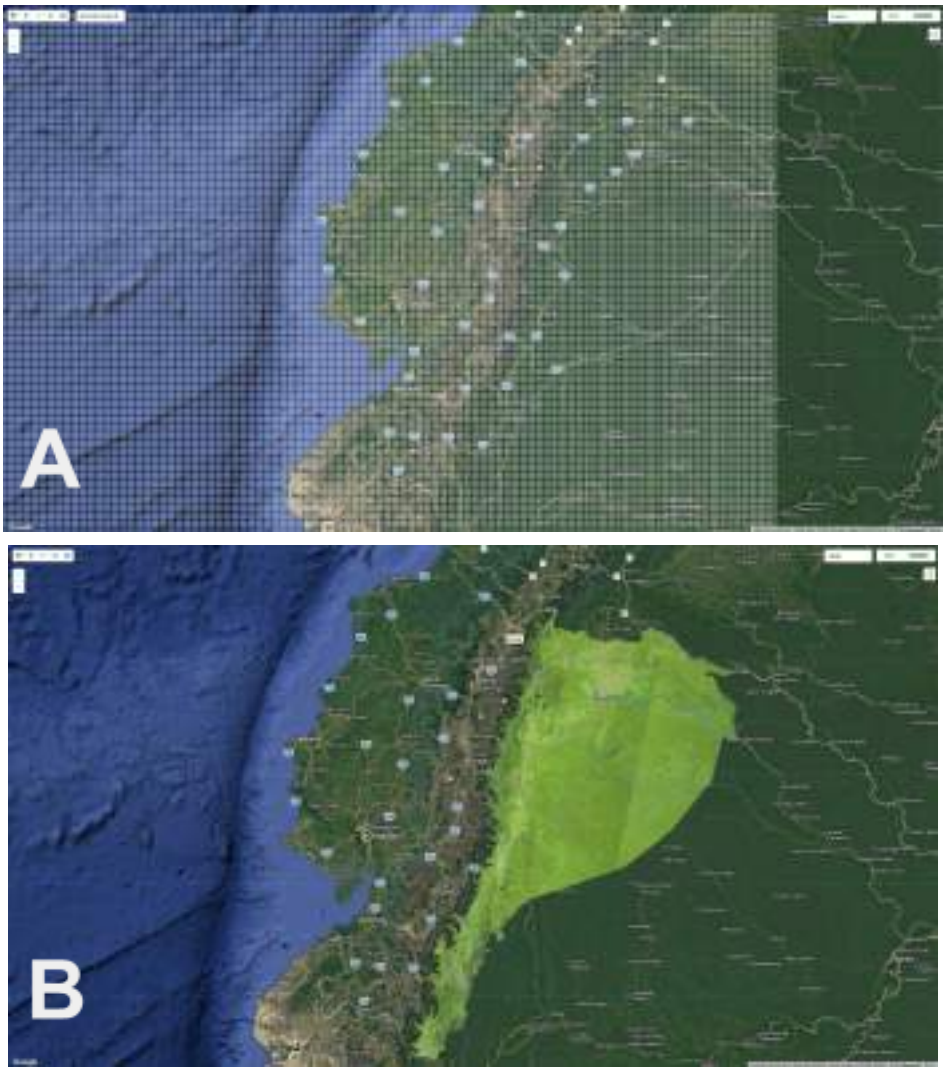


Figura 6: Script utilizado para identificación de minería mediante barrido manual. A. Cuadrícula utilizada para el barrido. B. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8). Elaboración: EcoCiencia.

[1] ROI: Región de interés (Region of interest)

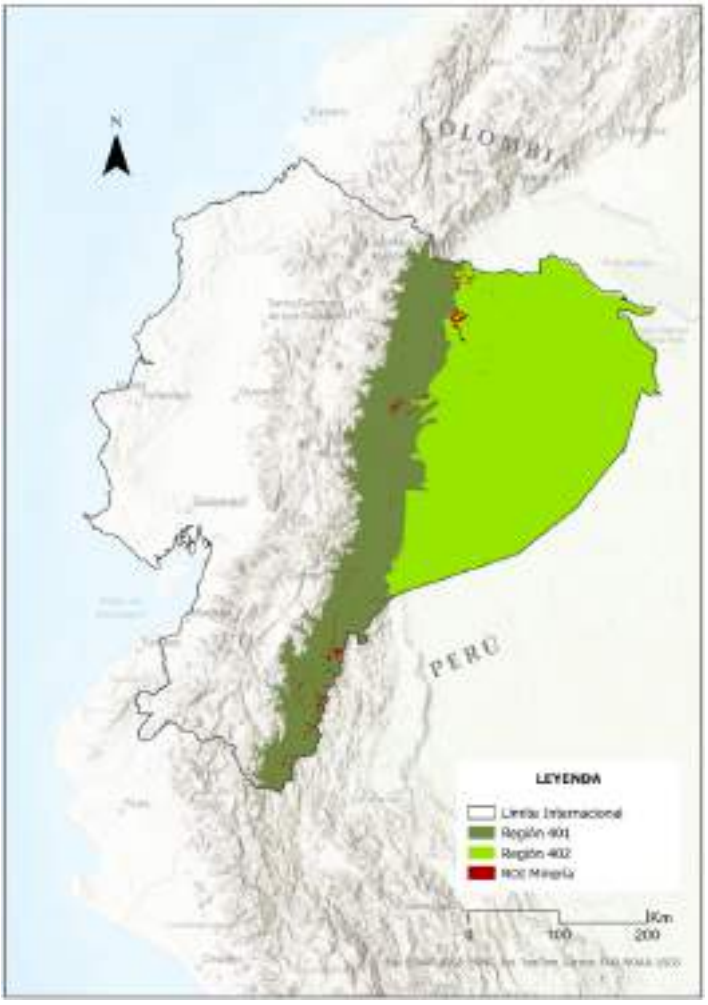


Figura 7: ROI de clasificación minera para Amazonia Colección 4.0. Elaboración: EcoCiencia.

Figura 8: Ejemplo de los ROI para el mapeo de zonas mineras - sector Tundayme. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8) Elaboración: Ecociencia

5.1.2. Costa y Andes

Para la región Costa y Andes se realizó un levantamiento de información mediante encuestas. Estas encuestas fueron compartidas con actores claves, quienes contribuyeron a compartir información geográfica de zonas con minería. También se consultaron reportes, denuncias, noticias, entre otros, con la finalidad de identificar zonas adicionales de minería (ver fig. 9). Complementariamente, se realizó un barrido exhaustivo de toda el área de estudio para incluir zonas que no habían sido consideradas en el levantamiento inicial.

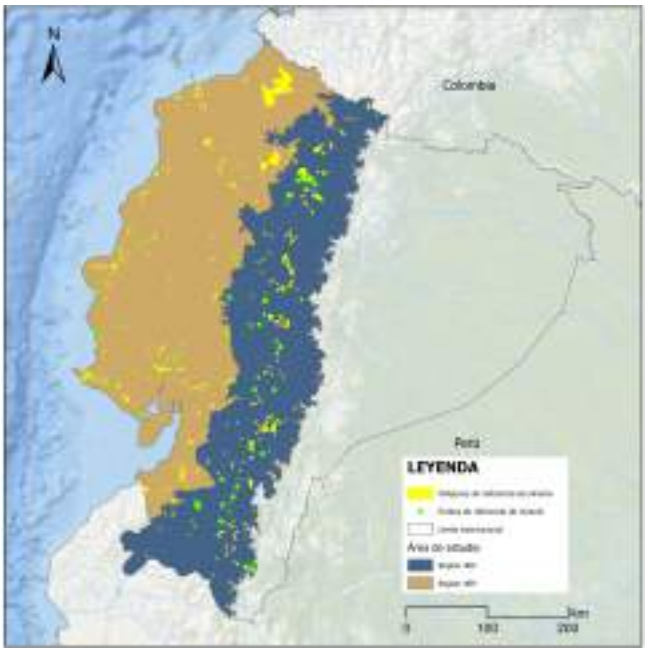


Figura 9: Referencia para el mapeo de zonas mineras en Costa - Andes. Elaboración: Ecociencia

Como punto de partida, se dividió la serie histórica en siete periodos a los que se sumó el año 2024 en la Colección 3.0 y el año 2025 en la Colección 4.0 (ver tabla 2). Para cada periodo se identificaron las zonas afectadas por actividad minera y se dibujó manualmente los ROIs. Para esta tarea se utilizó como guía la información recopilada, los datos de referencia oficiales y la identificación visual mediante un barrido de toda el área de estudio con apoyo de imágenes Planet y mosaicos LandSat .

Como resultado, se generaron nueve capas de ROI, una por cada periodo. Estos ROI sirven como punto de partida para el proceso de identificación y clasificación de la minería en el país (ver fig. 10).

Nro. periodo	Años
PERIODO 1	1985-1992
PERIODO 2	1993-1997
PERIODO 3	1998-2002
PERIODO 4	2003-2007
PERIODO 5	2008-2012
PERIODO 6	2013-2018
PERIODO 7	2019-2023
PERIODO 8	2024
PERIODO 9	2025

Tabla 2 - Periodos de análisis para la identificación de minería en las regiones Antes y Costa para la Colección 4.0. MapBiomas Ecuador.

Periodo 1 (1985 - 1992)

Periodo 2 (1993 - 1997)

Periodo 3 (1998 - 2002)

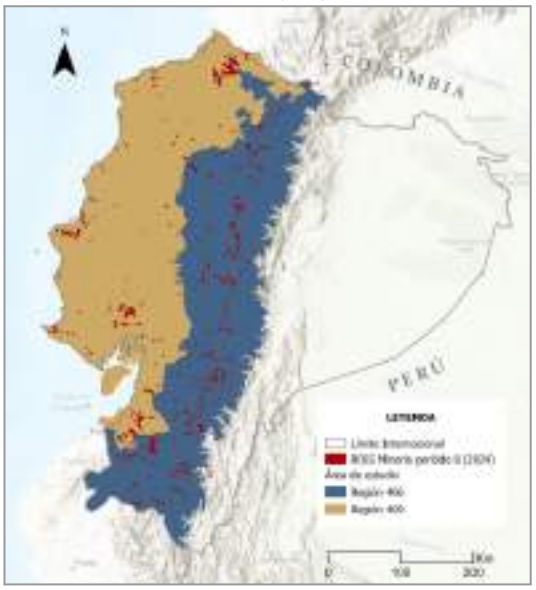
Periodo 4 (2003-2007)

Periodo 5 (2008 - 2012)

Periodo 6 (2013 - 2018)

Periodo 7 (2019 - 2023)

Periodo 8 (2024)



Periodo 9 (2025)

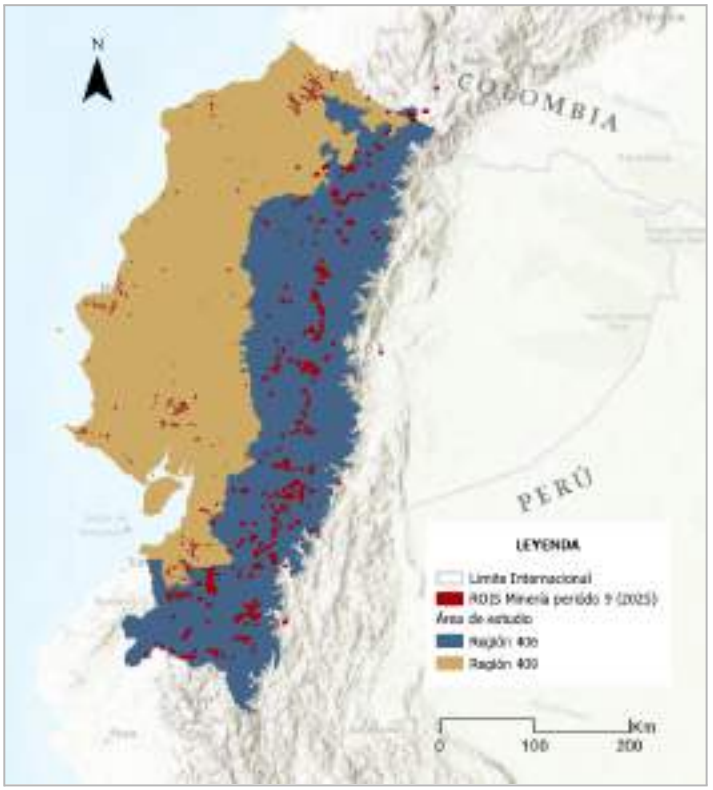


Figura 10: ROI de clasificación minera para Costa-Andes Colección 4.0. Elaboración: Ecociencia

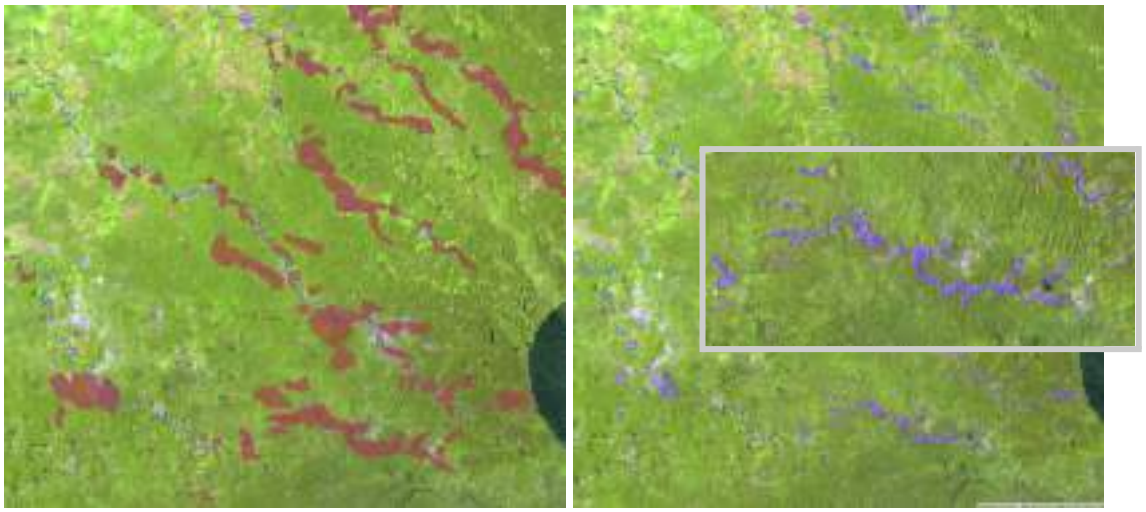


Figura 11: Ejemplo de los ROI para el mapeo de zonas mineras - Esmeraldas. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8) Elaboración: Ecociencia

5.2. Muestras de entrenamiento (minería/no minería)

Dentro de los ROI (ver figura 7 y 8) se definieron manualmente dos tipos de puntos de entrenamiento: uno definido como 'New_samples_30' (ID 30), que contiene estrictamente píxeles que hacen parte del área de explotación minera y el segundo polígono abarca la clase 'New_samples_27' o aquellas áreas que no corresponden a la actividad minera, es decir, abarca todas las demás clases diferentes a minería (ID 27) (ver fig. 12). Las muestras de entrenamiento se utilizan para generar la clasificación de los píxeles con minería y no minería. El área fuera de la zona delimitada como región de interés no es clasificado dentro de este tema transversal.

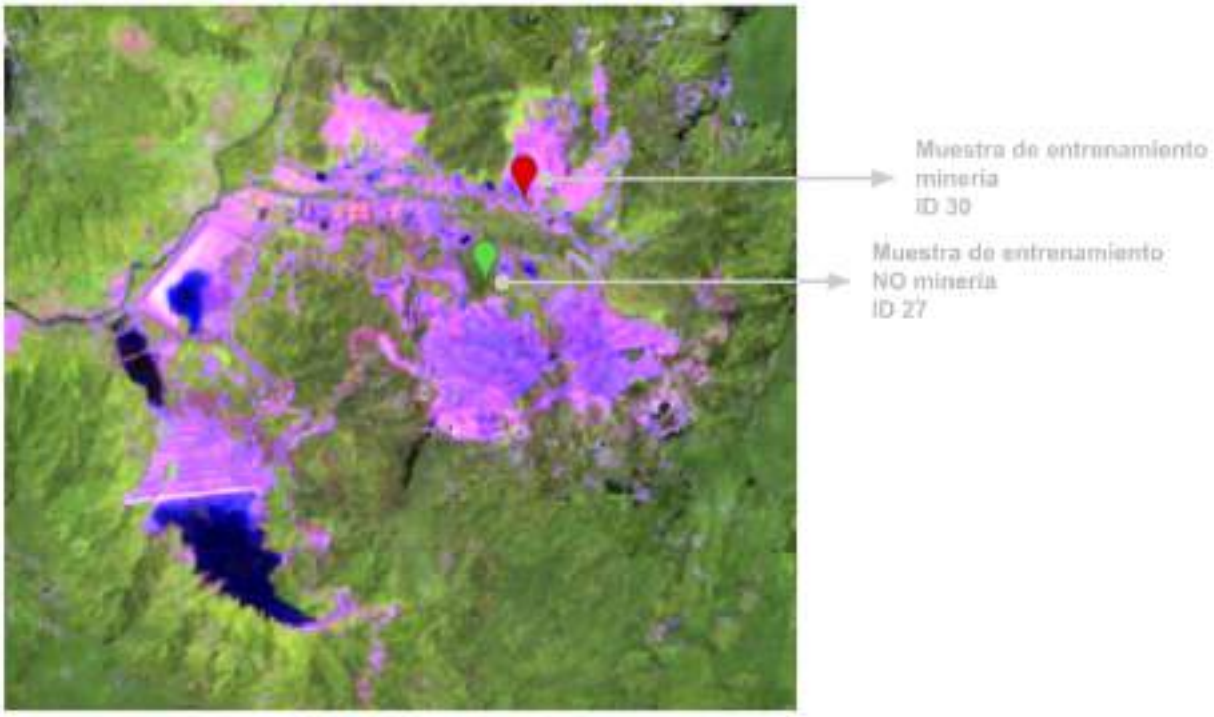


Figura 12: Polígono de Minería y No-Minería - sector Tundayme. Mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8). Elaboración: Ecociencia

5.3. Clasificación con algoritmo Random Forest

El proceso de clasificación se basa en el uso del clasificador Random Forest, el cual, mediante algoritmos de inteligencia artificial (IA) y procesos de aprendizaje automático (Machine Learning), permite la diferenciación de las zonas con presencia de minería dentro de las regiones de interés. A partir de la construcción de una colección de árboles de decisión independientes, se asigna una clase a cada píxel (Breiman, 2001) realizando una serie de particiones binarias. Esto permite realizar predicciones basadas en dicha clasificación. Los árboles de decisión se generan de forma aleatoria para reducir la correlación entre ellos y mejorar la precisión del modelo.

La clasificación de las zonas mineras se llevó a cabo en la plataforma de Google Earth Engine, basada en la metodología implementada por el equipo de MapBiomas Brasil (Solutions in Geoinformation, Solved, Brasil) para la identificación de la minería.

La clasificación se ejecutó dentro de los ROIs (ver fig. 7 y 10) en cada una de las regiones, con el fin de identificar zonas con actividad minera. El resultado fue una imagen compuesta por píxeles que indican la presencia de minería (área definida en color rojo en la fig. 13 y 14), dentro de los límites previamente definidos por los ROI.

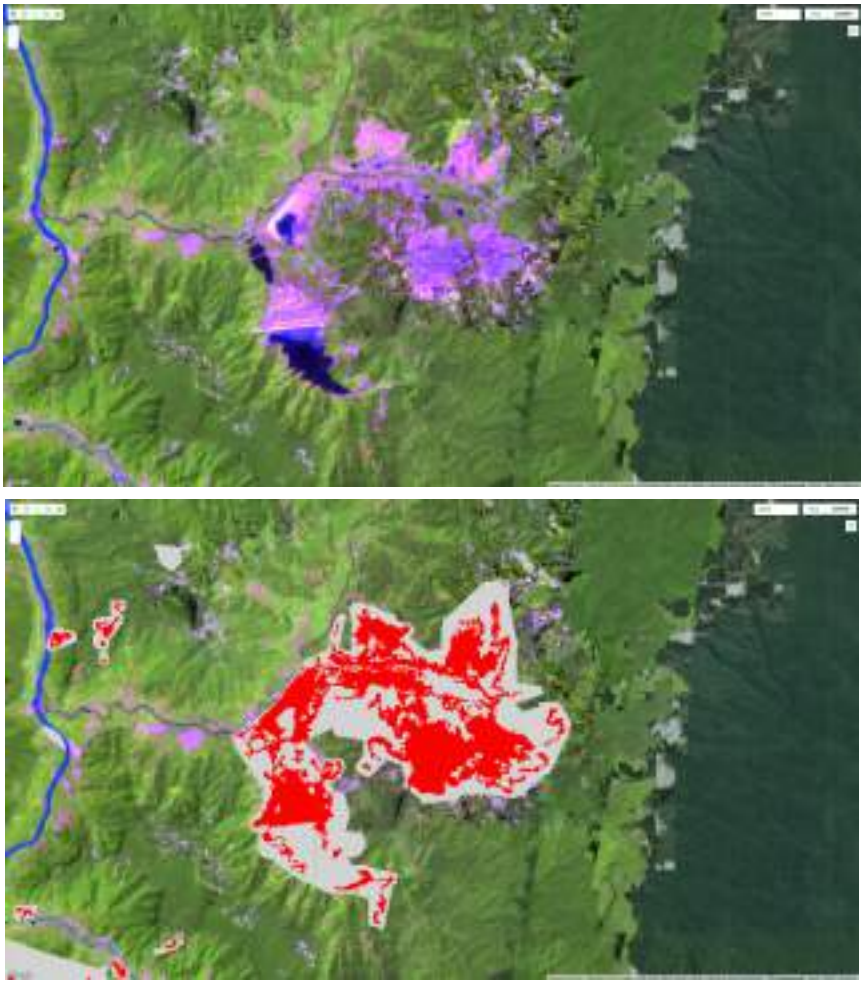


Figura 13: Clasificación de minería en Amazonía. Arriba. Mina a cielo abierto mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8), - Abajo. Los polígonos con relleno rojo indican la clasificación de minería 2025.

Figura 14: Clasificación de minería en región Costa. Arriba. Minería fluvial mosaico LandSat 2025 (RGB 654 L8), - Abajo. Los polígonos con relleno rojo indican la clasificación de minería 2025. Elaboración: Ecociencia

5.4. Post-clasificación

Los resultados de la clasificación se sometieron a la aplicación de una secuencia de filtros con el propósito de reducir las inconsistencias temporales, vacíos de información, ruidos de sobrestimación y otros errores comunes de clasificación. Para ello, se aplicaron tres tipos de filtros: gap fill, un filtro espacial y uno temporal.

5.4.1. Gap fill

El territorio ecuatoriano, debido a su posición geográfica y a su topografía, presenta una alta presencia de nubes a lo largo del año. A esto se suma el problema de bandeamiento en el sensor Landsat 7, que genera mosaicos con pérdida de información o píxeles sin información (No Data). Por esta razón, es necesario rellenar estos vacíos de información o información nula mediante el uso del Gap fill, el cual permite reducir estos vacíos con el valor de píxel temporalmente más cercano.

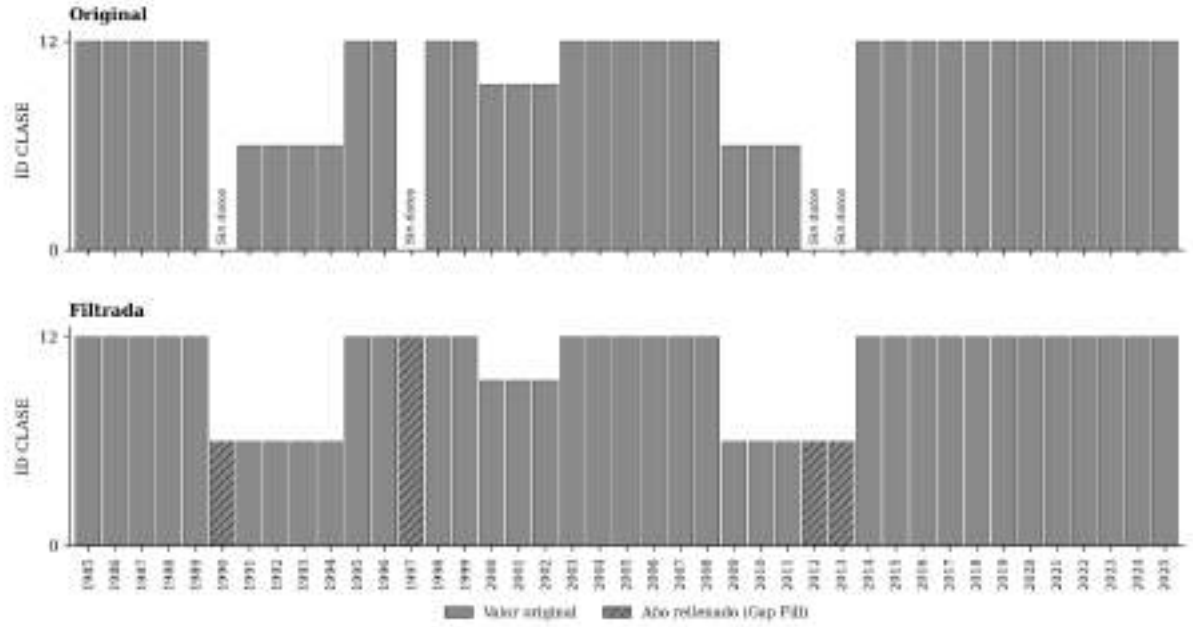


Figura 15: Esquema de la funcionalidad de Filtro Gap Fill. Elaboración: MapBiomas

5.4.2. Filtro espacial

El filtro espacial está basado en la función "connectedPixelCount" de Google Earth Engine, la cual identifica grupos de píxeles vecinos que comparten el mismo valor. Utilizando esta función, y considerando una cantidad mínima preestablecida de píxeles idénticos, aquellos que no presentan conexión (es decir, valores diferentes) se consideran píxeles aislados y son reclasificados (ver fig. 16).

Para ambas clases (ID: 27, ID: 30), se estableció una conexión mínima de 5 píxeles (aprox. 0.5 ha).

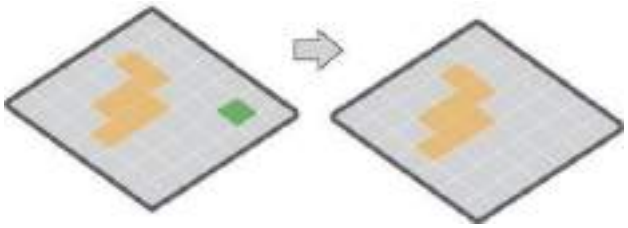


Figura 16: Esquema de la funcionalidad del filtro espacial. Elaboración: MapBiomas

5.4.3. Filtro Temporal

Este filtro consiste en el reemplazo de píxeles considerados como ruido o efecto “sal y pimienta”, los cuales representan inconsistencias generadas por la clasificación errónea de coberturas en función de sus cambios paulatinos año a año, así como por la falta o distorsión de información en un mosaico. Dentro del filtro temporal, se utilizan subtipos de filtros: de año intermedio, primer año y último año, explicados a continuación.

Año intermedio: El filtro se aplica teniendo en cuenta el primer y último píxel de la serie temporal, cambiando la clasificación de los píxeles ubicados en los años intermedios a los clasificados en los extremos de la serie temporal (1985-2025). En la parte inferior de la figura 17, se puede observar que para la regla de 3 años se tiene un pixel clasificado como presencia de la clase de interés en color verde (bosque, agricultura, minería, etc) en los años t1 y t3, y para t2 se presenta la ausencia de de la clase de interés en color beige en este sentido, después de aplicar el filtro, éste estabiliza los cambios abruptos en la clasificación, cambiando el pixel intermedio a los clasificados por sus pares iniciales y finales. Del mismo

modo, este se aplica para series temporales de 4 y 5 años, y de forma inversa como se explica en la parte superior de la figura 17. Es importante aclarar que para los años de inicio y fin del periodo analizado en este caso 1985 y 2025, no se aplica la regla de año intermedio debido a que no existen años para comparar.

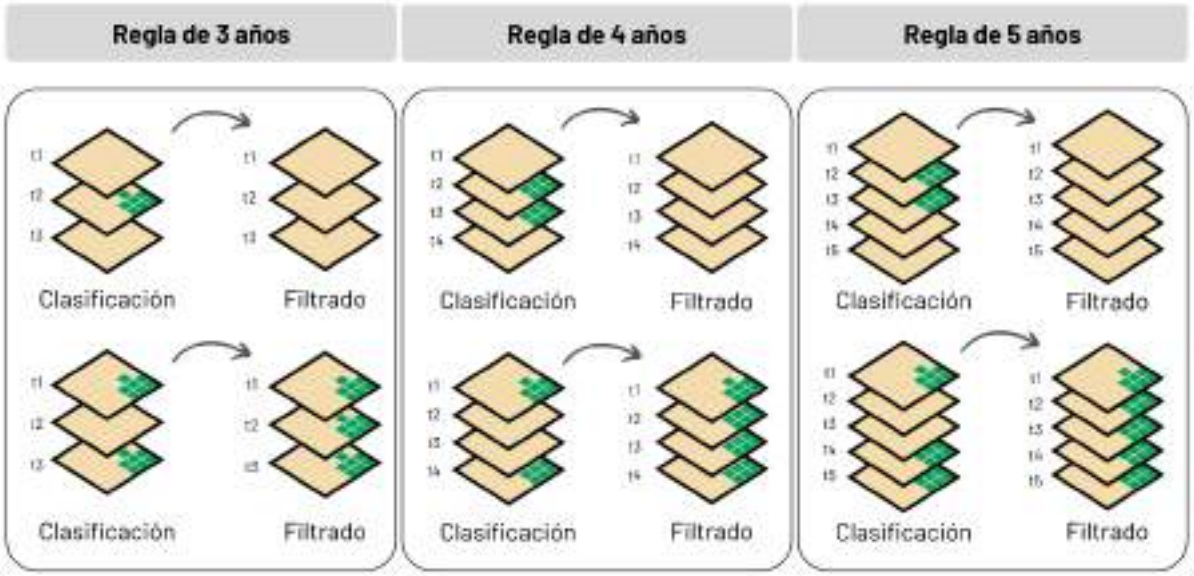


Figura 17: Efecto del filtro temporal. Elaboración: MapBiomas

Primer y último año: La regla de primer año corrige inconsistencias de la serie temporal debido a falta de información para el año de 1985. El ejemplo enseguida muestra una transición de ausencia de áreas de la clase de interés (minería) para el primer año a presencia de áreas mineras en el primer año.

La regla de último año corrige el pixel mal clasificado al final de la serie temporal (2025) por cambios abruptos como el mencionado anteriormente. En la figura 18, se observa como el filtro actúa con el píxel clasificado al final de la serie temporal como presencia de minería (en verde) y después de ejecutado el filtro, este es reclasificado ausencia de minería homogeneizando la serie.

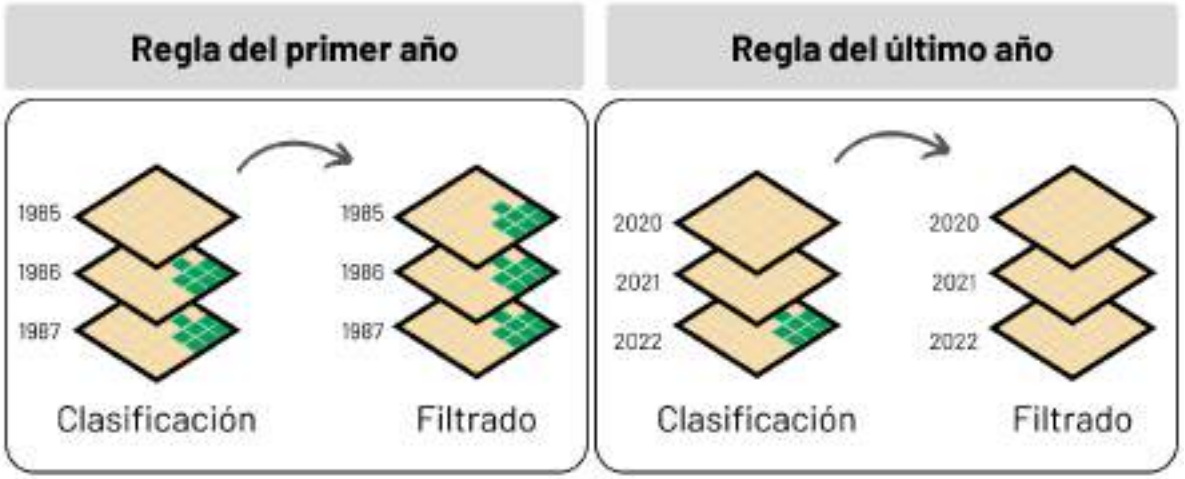


Figura 18: Filtro temporal regla de primer y último año. Elaboración: MapBiomas

Debido a la naturaleza dinámica de la clase de minería, la cual puede aparecer y desaparecer en determinadas zonas a lo largo del tiempo, el intérprete debe evaluar cuidadosamente en qué situaciones ejecutar este filtro y su respectiva configuración. Esto es fundamental para evitar tanto la sobrestimación como la subestimación de la clase a lo largo de la serie temporal.

En conclusión, el objetivo principal de este set de filtros es tener una serie temporal estable, sin saltos inconsistentes que puedan afectar los reportes estadísticos y la clasificación en sí misma, de igual manera se pueden excluir años de la serie temporal para ajustar más el comportamiento a lo observado en los mosaicos, esto ocurre principalmente en años intermedios, cuando una serie de años se encuentra estable pero en otros periodos específicos no.

5.4.4. Integración

Al obtener la clasificación de las zonas mineras, se realizó una primera integración de todas las zonas identificadas con minas para cada país y este resultado se integró al mapa general de clasificación nacional junto con las demás clases identificadas (ver fig. 19).

La integración se lleva a cabo en base a una serie de reglas de prevalencia u orden de integración, que definen la prioridad entre clases en caso de superposición. Considerando el orden de integración, se obtiene como resultado el mapa final con la presencia de minería en el bioma Amazonía de Ecuador:

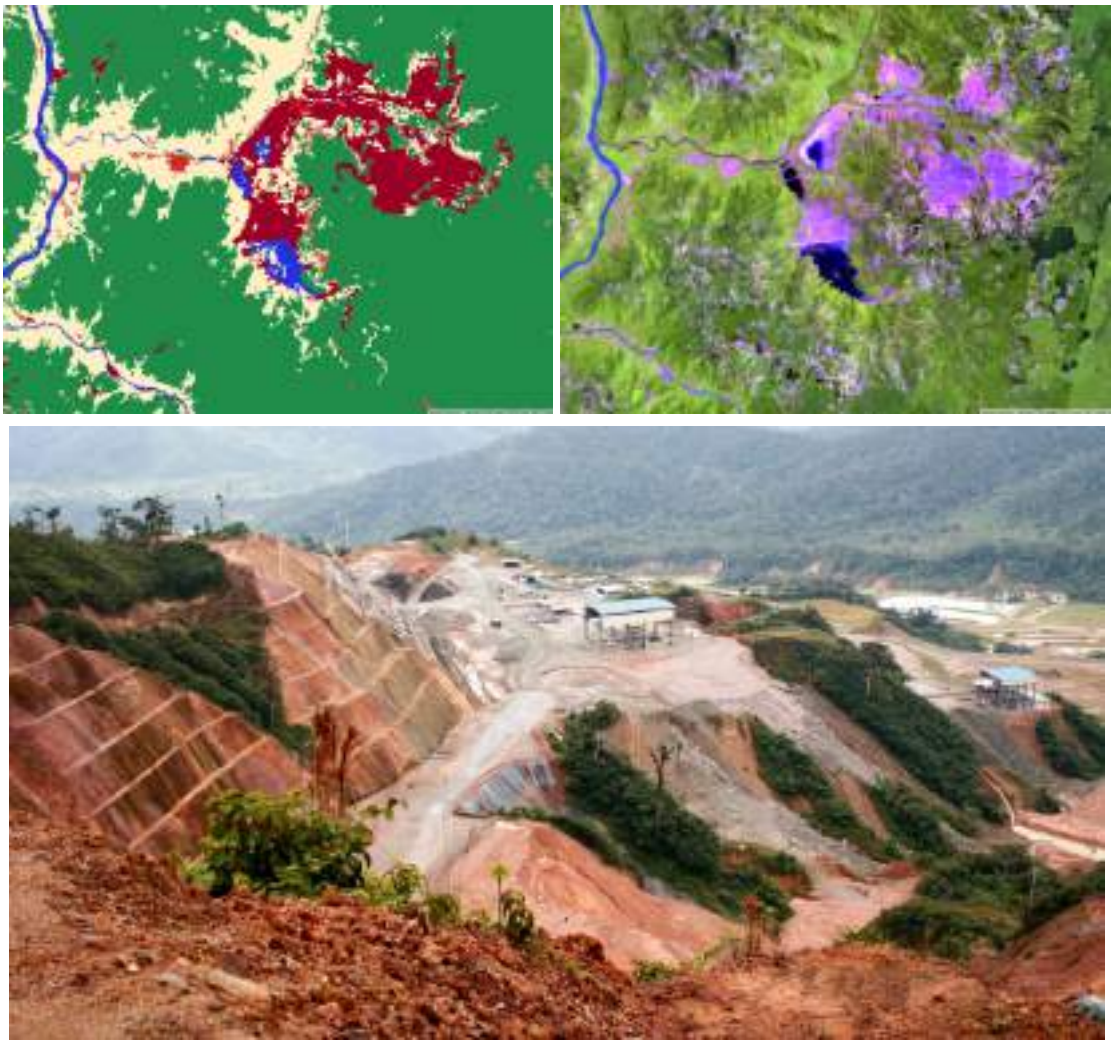


Figura 19: Integración clase minera. Izquierda, clasificación integrada de las clases identificadas en el mapa general de la Colección 4 MapBiomas Ecuador. Derecha Imágen satelital de la zona. Abajo Imagen de paisaje de la zona minera identificada. Foto: Ministerio de Energía, Flickr.

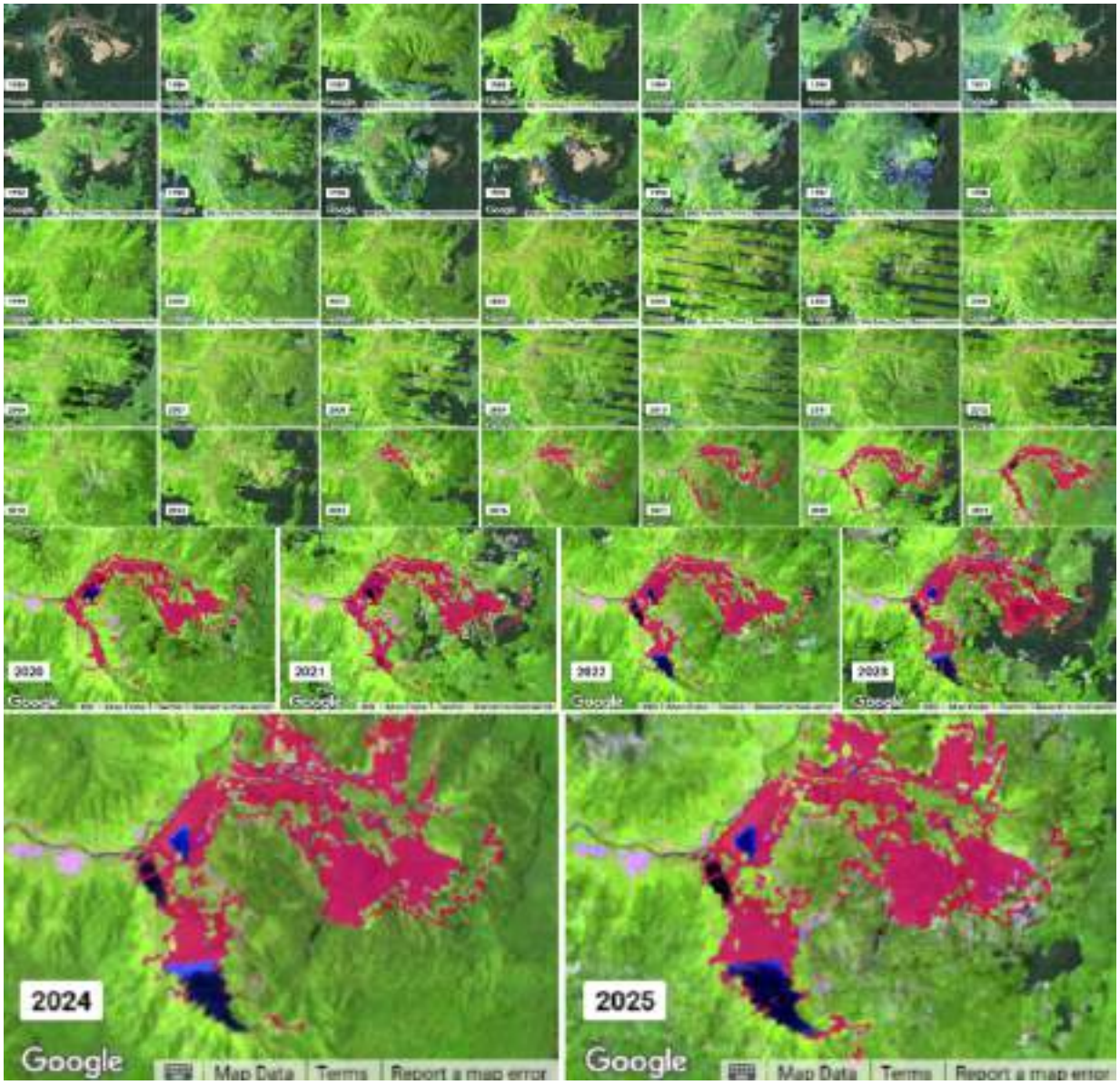


Figura 20: Clasificación multitemporal Tundayme. Elaboración: EcoCiencia

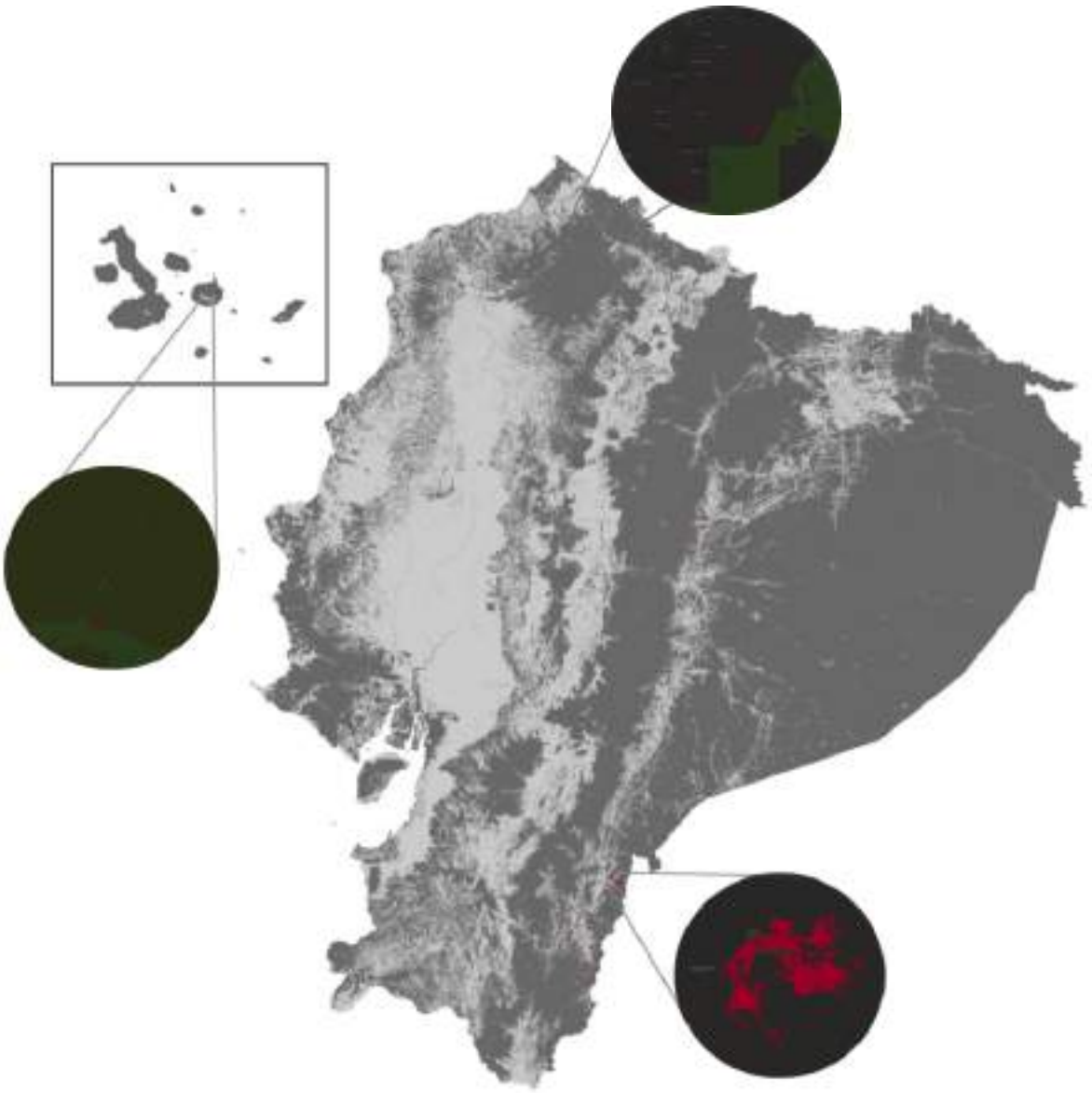


Figura 21: Mapa de minería 2025. Elaboración: EcoCiencia

6. Referencias

- *Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324*
- *Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021).* mapa de cobertura y uso de la tierra y sistemas productivos agropecuarios del Ecuador continental. *Disponible en: http://geoportal.agricultura.gob.ec/*
- *Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables. (2022).* Mapa de catastro minero.