



Pérdida de Vegetación y Vegetación Secundaria

Apéndice

Colección 4
Cobertura y Uso del Suelo

Zuley Cáceres
Jose Victorio
Joao Siqueira

ÍNDICE

1. Visión General	3
2. Metodología	3
2.1 Datos de Entrada: Mapas de cobertura y uso del suelo Colección 4	3
2.2 Análisis de trayectoria de clasificación	4
2.2.1 Reglas temporales	6
2.2.2 Esquema de clasificación	7
2.3 Postprocesamiento	8
3. Resumen metodológico	9
4. Bibliografía	9

Índice de tablas

Tabla 1. Esquema de la agrupación de las clases de la serie temporal anual LULC	3
Tabla 2. Descripción de las clases de dinámica de la vegetación producidas por el método presentado	7

Índice de figuras

Figura 1. Flujo general del algoritmo utilizado para generar la serie temporal de pérdida de vegetación y vegetación secundaria	5
---	---

1. Visión General

Este documento describe la metodología aplicada para generar los mapas anuales de pérdida de vegetación y vegetación secundaria, generados a partir de los mapas anuales de cobertura/uso del suelo (LULC) proporcionados por MapBiomás Perú Colección 4 ([Metodología de los Mapas Anuales de cobertura y uso del suelo Perú](#)). Se produjo una serie temporal de la dinámica de la cobertura vegetal natural de todo el territorio peruano que abarca el período 1990-2025, análisis de trayectorias de clasificación por píxel y la aplicación secuencial de reglas temporales que permiten identificar eventos de pérdida de vegetación, procesos de recuperación y la evolución de la vegetación secundaria, preservando la memoria histórica de cada píxel.

2. Metodología

El objetivo principal de este método es identificar eventos de pérdida de vegetación y el crecimiento de vegetación secundaria después de algún periodo de uso del suelo, independientemente de las clases específicas de vegetación o uso del suelo involucradas. Estos módulos son subproductos de los mapas anuales de cobertura y uso del suelo de Perú.

2.1 Datos de Entrada: Mapas de cobertura y uso del suelo Colección 4

Las 26 clases de la leyenda de los Mapas de cobertura y uso del suelo Colección 4 se reclasificaron en tres categorías: Áreas antrópicas, Vegetación natural y No incluido (Tabla 1). Si bien la serie temporal de entrada inicia en 1988, utilizando los dos primeros años (1988–1989) únicamente para la aplicación de las reglas de trayectoria temporal, los resultados finales se generan **a partir de 1990-2025**. El análisis de trayectoria aplicado se describe en la siguiente sección de este documento.

Tabla 1 - Esquema de la agrupación de las clases de la serie temporal anual LULC.

Clase agregada	Clases mapeadas	Valor Raster
Área Antrópica	Mosaico agropecuario ID:21, Plantación forestal ID:9, Palma aceitera ID:35, Arroz ID:40, Pasto ID:15, Minería ID:30, Infraestructura urbana ID:24, Otra área antrópica sin vegetación ID:25, Acuicultura ID:31.	1
Vegetación Natural	Bosque ID:3, Bosque seco ID:4, Manglar ID:5, Bosque inundable ID:6, Herbazal inundable de tierras bajas ID:51, Herbazal inundable altoandino ID:82, Formación herbácea ID:12, Matorral y otros arbustales ID:66, Loma costera ID:70.	2

No incluido	Playa ID:23, Superficie rocosa ID:92, Superficie salina costera ID:52, Superficie de salar ID:61, Otra área natural sin vegetación ID:68, Río, Lago u Océano ID:33, Glaciar ID:34.	7
-------------	--	---

Estas tres categorías corresponden únicamente a la reclasificación inicial de los mapas LULC. Durante el análisis temporal, los píxeles evolucionan hacia estados adicionales que representan procesos de recuperación y pérdida de vegetación, descritos en las siguientes secciones.

2.2 Análisis de trayectoria de clasificación

El análisis de trayectorias de clasificación se realiza sobre la serie temporal anual de cobertura y uso del suelo, evaluando la evolución de cada píxel a lo largo del período de estudio. El objetivo es identificar de manera consistente los eventos de pérdida de vegetación, los procesos de recuperación y el establecimiento de vegetación secundaria, minimizando los efectos del ruido temporal inherente a las clasificaciones anuales categóricas.

A diferencia de un análisis basado únicamente en la comparación entre años consecutivos, el algoritmo interpreta la trayectoria temporal completa de cada píxel mediante la aplicación secuencial de un conjunto de reglas temporales. Este enfoque responde a que la recuperación de la vegetación constituye un proceso gradual, cuya duración puede variar en función del tipo de vegetación, el uso previo del suelo, la disponibilidad de fuentes de propágulos, el clima, la topografía y otros factores ecológicos (Aide et al., 2000; Ferreira et al., 2015; Sobrinho et al., 2016; Uriarte et al., 2010). En consecuencia, las reglas temporales consideran el contexto temporal previo y posterior de cada transición para distinguir procesos de cambio persistentes de fluctuaciones aisladas ocasionadas por incertidumbres en la clasificación o variaciones temporales de corta duración (Xie et al., 2020).

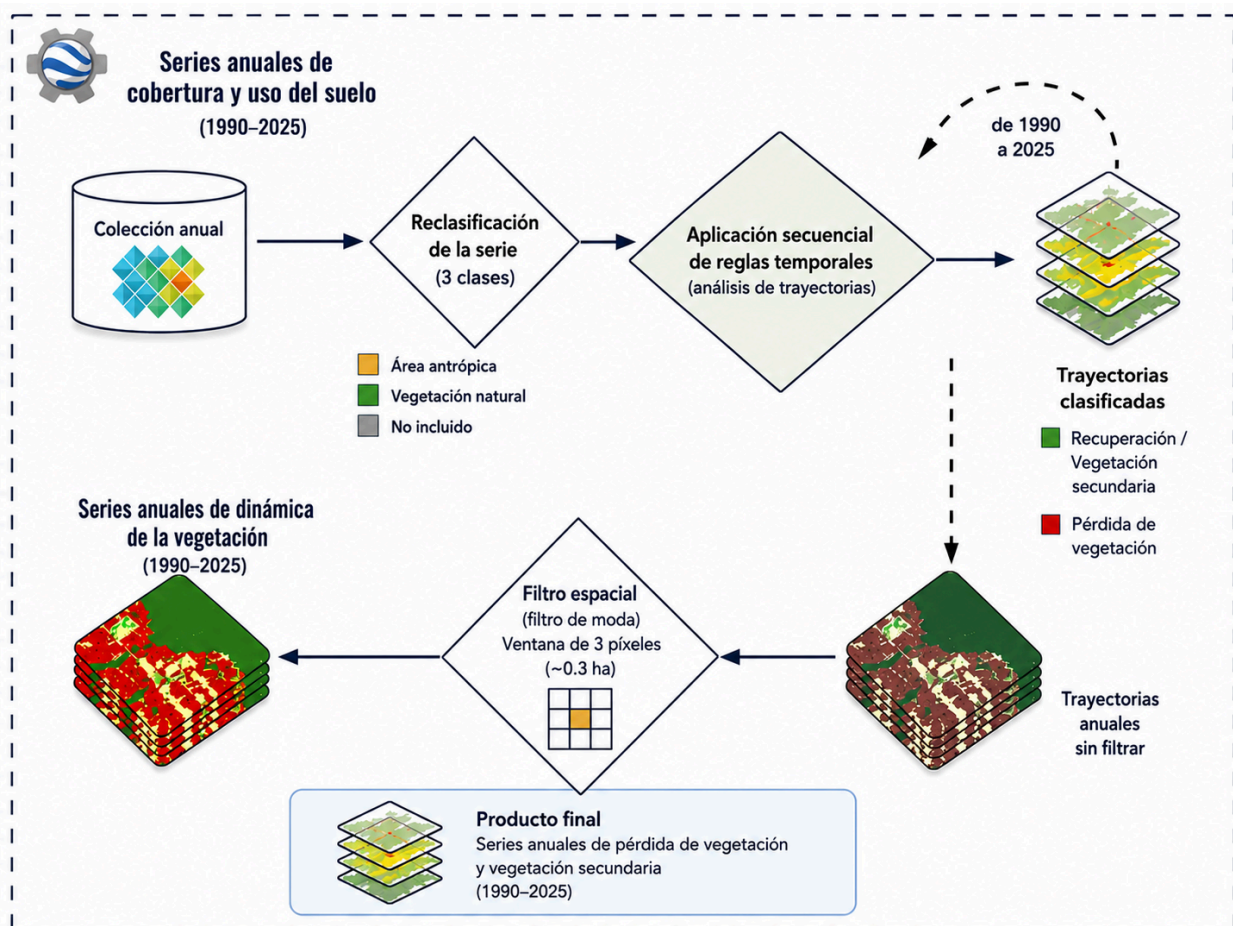
El procedimiento comienza con la serie anual reclasificada en las categorías **Área antrópica**, **Vegetación natural** y **No incluido**. Sobre esta serie se aplican reglas temporales que eliminan transiciones inconsistentes y permiten identificar los principales procesos de cambio asociados a la dinámica de la vegetación. Posteriormente, las reglas incorporan la memoria histórica del píxel, preservando la consistencia temporal de la serie y diferenciando entre vegetación primaria, vegetación secundaria y sus respectivos eventos de pérdida.

Las reglas son ejecutadas de manera secuencial, de modo que el resultado producido por cada etapa constituye la entrada de la siguiente. Este enfoque permite que los estados asignados durante el procesamiento formen parte del historial del píxel y sean considerados en la interpretación de transiciones posteriores, reconstruyendo así la trayectoria de cambio de cada ubicación en lugar de evaluar cada año de forma independiente.

Como parte del procesamiento también se incorporan reglas específicas para los últimos años de la serie temporal, donde no existen observaciones futuras suficientes para confirmar determinadas transiciones mediante ventanas temporales convencionales. Asimismo, se aplican correcciones basadas en el historial de uso antrópico del píxel para garantizar la coherencia entre la vegetación primaria, la vegetación secundaria y sus respectivos eventos de pérdida. Estas etapas finales permiten mantener la consistencia temporal del producto y reducir sesgos asociados al borde de la serie de análisis.

Como resultado de este procedimiento se genera una serie temporal anual compuesta por siete estados o clases que representan tanto coberturas como procesos de cambio: **Uso antrópico**, **Vegetación primaria**, **Vegetación secundaria**, **Pérdida de vegetación primaria**, **Inicio de recuperación**, **Pérdida de vegetación secundaria** y **Otras transiciones**, los cuales describen la dinámica de la vegetación durante el período 1990–2025.

Figura 1. Flujo general del algoritmo utilizado para generar la serie temporal de pérdida de vegetación y vegetación secundaria.



2.2.1 Reglas temporales

El análisis temporal se basa en la aplicación secuencial de un conjunto de reglas que evalúan patrones de cambio sobre la serie anual de cobertura y uso del suelo. Cada regla identifica configuraciones temporales específicas asociadas a procesos de pérdida de vegetación, recuperación o persistencia, utilizando ventanas móviles y reglas ancladas al final de la serie cuando es necesario. Dado que las reglas se ejecutan de forma secuencial, el resultado generado por cada una constituye la entrada para la siguiente, permitiendo construir progresivamente el historial temporal de cada píxel.

Las reglas temporales utilizadas son las siguientes:

- a) Eliminación de ruido temporal.
En una primera etapa se eliminan pulsos aislados de vegetación que aparecen únicamente durante un año entre dos periodos antrópicos consecutivos. Estos cambios se consideran inconsistencias temporales y se reclasifican como uso antrópico, lo que reduce la generación de falsos positivos asociados a fluctuaciones de clasificación.
- b) Identificación de procesos de recuperación y establecimiento de vegetación secundaria.
Posteriormente se identifican las trayectorias compatibles con el inicio de procesos de recuperación. El primer año en que la vegetación reaparece después de un período antrópico persistente se clasifica como **Recuperación a vegetación secundaria**. Si la vegetación permanece durante los años siguientes, el píxel pasa a clasificarse como **Vegetación secundaria**, preservando este estado en las evaluaciones posteriores mediante reglas de continuidad temporal.
- c) Identificación de la pérdida de vegetación.
La pérdida de vegetación se identifica cuando un período persistente de vegetación es seguido por un cambio sostenido hacia uso antrópico. Dependiendo del historial del píxel, el evento se clasifica como **Pérdida de vegetación primaria** o **Pérdida de vegetación secundaria**, permitiendo distinguir ambos procesos dentro de la serie temporal.
- d) Correcciones basadas en la memoria histórica del píxel.
Una vez identificados los principales eventos de cambio, el algoritmo incorpora reglas que preservan el historial temporal del píxel. Estas reglas impiden que áreas previamente intervenidas vuelvan a clasificarse como vegetación primaria únicamente porque recuperaron cobertura natural, garantizando que mantengan la condición de vegetación secundaria mientras no exista evidencia que justifique otra transición. Asimismo, permiten diferenciar correctamente las pérdidas de vegetación primaria y secundaria considerando la trayectoria completa del píxel.
- e) Correcciones para los años finales de la serie temporal.

Finalmente, se aplican reglas específicas para los últimos años de la serie (2024 y 2025), donde no existen observaciones futuras suficientes para confirmar determinadas transiciones mediante ventanas móviles convencionales. Estas reglas permiten reconocer procesos recientes de recuperación o pérdida de vegetación, además de aplicar mecanismos de control que evitan la generación de vegetación secundaria no confirmada en los años finales del período de análisis.

2.2.2 Esquema de clasificación

Los mapas anuales generados por el análisis de trayectorias contienen siete clases que representan tanto coberturas como procesos de cambio. Estas clases describen la condición temporal de cada píxel y constituyen la salida final del algoritmo. La definición de cada clase y los criterios utilizados para su asignación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de las clases de dinámica de la vegetación producidas por el método presentado.

Clase	Descripción	Criterio de asignación	Valor Raster
Antrópico	Píxel clasificado como antrópico en el conjunto de datos de entrada y que no experimentó cambios en el año de análisis.	Corresponde a áreas clasificadas como uso antrópico que no cumplen las condiciones para ser identificadas como pérdida de vegetación o inicio de recuperación.	1
Vegetación Primaria	Vegetación natural que persiste desde el inicio de la serie (1990) hasta el año de análisis. Se consideraron todas las clases de vegetación natural del conjunto de datos de entrada.	Clasificación persistente como Natural en el conjunto de datos de entrada, desde el inicio de la serie hasta el año de análisis.	2
Vegetación Secundaria	Áreas que presentan un histórico de uso Antrópico seguido de cambio a vegetación natural previo al año de análisis.	Clasificada como natural en el conjunto de datos de entrada en el año de análisis y se confirma la persistencia de la recuperación y mantiene la memoria histórica del píxel como vegetación secundaria.	3
Pérdida de Vegetación	Áreas que cambian de Vegetación Primaria a	Se identifica cuando las reglas temporales confirman una	4

Primaria	Antrópico en el año de análisis.	transición persistente desde vegetación primaria hacia uso antrópico.	
Inicio de Recuperación	Áreas que presentan un histórico de uso Antrópico seguido de cambio a vegetación natural específicamente en el año de análisis (año de primer cambio a clase natural).	Representa el inicio del proceso de regeneración antes de que la vegetación secundaria sea confirmada por las reglas temporales.	5
Pérdida de Vegetación Secundaria	Áreas que cambian de Vegetación Secundaria a Antrópico en el año de análisis.	Se identifica cuando las reglas temporales detectan la pérdida de una cobertura previamente reconocida como vegetación secundaria, preservando la memoria histórica del píxel.	6
Otras transiciones	Zonas cartografiadas en el conjunto de datos de entrada como otras clases que no son antrópicas o naturales. Entre otras, incluye las clases de Río, Lago y Océano, Glaciar, Acuicultura, Salina.	Incluye las clases reclasificadas como No incluido durante la preparación de la serie temporal y que no participan en el análisis de trayectorias.	7

Fuente: Elaboración propia

2.3 Postprocesamiento

Como etapa final del procesamiento se aplica un filtro espacial con el objetivo de reducir la presencia de píxeles aislados y pequeños parches generados por incertidumbres locales en la clasificación, mejorando la consistencia espacial de la serie anual de pérdida de vegetación y vegetación secundaria.

Para ello, se construyen de manera independiente máscaras acumuladas de los píxeles que fueron clasificados al menos una vez como Vegetación secundaria y Pérdida de vegetación a lo largo de toda la serie temporal. Estas máscaras permiten delimitar las áreas sobre las cuales se aplica el filtrado espacial, preservando las regiones donde ocurrieron procesos de cambio durante el período analizado.

El filtrado se realiza mediante un filtro de moda utilizando una ventana móvil de 3×3 píxeles (aproximadamente 0.3 ha). Los píxeles o pequeños parches que no alcanzan el umbral espacial establecido son reclasificados de acuerdo con la clase predominante en

su vecindad inmediata, reduciendo el efecto de píxeles inconsistentes sin alterar la coherencia espacial de los patrones de cambio.

Como resultado, se obtiene una serie temporal con mayor continuidad espacial y menor presencia de ruido, conservando únicamente los patrones de cambio consistentes identificados durante el análisis de trayectorias.

3. Resumen metodológico

El método aquí presentado conceptualiza categorías de dinámica de la vegetación basadas en trayectorias de clasificación LULC por píxel, lo que exige la adopción de algunas premisas. Por ejemplo, cualquier vegetación natural presente al inicio de la serie temporal de entrada se considera Vegetación Primaria hasta que cambie a otras clases, aunque algunas de esas áreas de cobertura vegetal natural hayan sido intervenidas antes de 1990. Además, el mapeo de la Vegetación Secundaria siguiendo el método presentado no es capaz de informar sobre la calidad de la vegetación en desarrollo y, por lo tanto, puede representar procesos ecológicos contrastantes, como regeneración, restauración o invasión biológica (por ejemplo, Damasceno et al., 2018; Fernandes et al., 2016; Pinheiro & Durigan, 2009).

Aunque la calidad de los mapas producidos está estrechamente vinculada a la precisión del conjunto de datos de entrada (MapBiomas), se está elaborando un protocolo de validación para permitir la evaluación de la calidad por bioma de la clasificación de la dinámica de la vegetación. El objetivo principal es reducir las incertidumbres y eliminar los sesgos a la hora de estimar el área y las métricas de precisión para las clases de dinámica de la vegetación que no son prevalentes en el territorio.

4. Bibliografía

- Aide, T. M., Zimmerman, J. K., Pascarella, J. B., Rivera, L., & Marciano-Vega, H. (2000). Forest Regeneration in a Chronosequence of Tropical Abandoned Pastures: Implications for Restoration Ecology. *Restoration Ecology*, 8(4), 328–338. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80048.x>
- Damasceno, G., Souza, L., Pivello, V. R., Gorgone-Barbosa, E., Giroldo, P. Z., & Fidelis, A. (2018). Impact of invasive grasses on Cerrado under natural regeneration. *Biological Invasions*, 20(12), 3621–3629. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1800-6>
- Fernandes, G. W., Coelho, M. S., Machado, R. B., Ferreira, M. E., Aguiar, L. M. de S., Dirzo, R., Scariot, A., & Lopes, C. R. (2016). Afforestation of savannas: an impending ecological disaster. *Natureza & Conservação*, 14(2), 146–151. <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2016.08.002>
- Ferreira, M. C., Walter, B. M. T., & Vieira, D. L. M. (2015). Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*, 23(6), 723–728. <https://doi.org/10.1111/rec.12252>
- Pinheiro, E. D. S., & Durigan, G. (2009). Dinâmica espaço-temporal (1962-2006) das fitofisionomias em unidade de conservação do Cerrado no sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 32(3), 441–454. <https://doi.org/10.1590/S0100-84042009000300005>

Rosa, M. R., Brancalion, P. H. S., Crouzeilles, R., Tambosi, L. R., Piffer, P. R., Lenti, F. E. B., Hirota, M., Santiãmi, E., & Metzger, J. P. (2021). Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. *Science Advances*, 7(4). <https://doi.org/10.1126/sciadv.abc4547>

Sobrinho, M. S., Tabarelli, M., Machado, I. C., Sfair, J. C., Bruna, E. M., & Lopes, A. V. (2016). Land use, fallow period and the recovery of a Caatinga forest. *Biotropica*, 48(5), 586–597. <https://doi.org/10.1111/btp.12334>

Uriarte, M., Schneider, L., & Rudel, T. K. (2010). Land Transitions in the Tropics: Going Beyond the Case Studies. *Biotropica*, 42(1), 1–2. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00580.x>

Xie, Z., Pontius, R. G., Huang, J., & Nitivattananon, V. (2020). Enhanced intensity analysis to quantify categorical change and to identify suspicious land transitions: A case study of Nanchang, China. *Remote Sensing*, 12(20), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs12203323>