



Apéndice - Área agropecuaria

Tema transversal

Colección 4.0

Equipo responsable

Zuley Cáceres
Milagros Miguel
Kathrin Hopfgartner
Andrea Bravo
Valeria Llactayo
Lucy Flores

ÍNDICE

1. Introducción	4
2. Marco teórico	4
2.1. Mosaico Agropecuario	4
2.2. Pasto (beta)	5
2.3. Plantación forestal	5
2.4. Palma aceitera	5
3. Metodología	6
3.1. Área de estudio	6
3.2. Generación de mosaicos anuales	12
3.3. Índices espectrales	13
3.4. Clasificación	15
3.4.1. Mapas de Referencia	15
3.4.2. Muestras de entrenamiento	15
3.4.3. Algoritmo de clasificación	18
3.5. Posclasificación	20
3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill	20
3.5.2. Filtro espacial	21
3.5.3. Filtro temporal	21
3.5.4. Filtro frecuencia	22
3.5.5. Filtro incidencia	22
3.6. Integración	23
3.7. Resumen metodológico	24
4. Referencias	25

Índice de tablas

Tabla 1. Regiones de clasificación para la clase Mosaico agropecuario, Palma aceitera y Pasto	11
Tabla 2. Regiones de clasificación para la clase Arroz	11
Tabla 3. Regiones de clasificación para la clase Plantación forestal	12
Tabla 4. Variables y sus reductores de mayor importancia	14
Tabla 5. Mapa de referencia	15
Tabla 6. Clases objetivo y clases complementarias utilizadas en la clasificación binaria del transversal Área agropecuaria	18
Tabla 7. Umbral de probabilidad aplicado en cada región de la clase plantación forestal	20

Índice de figuras

Figura 1. Regiones de clasificación de la clase Mosaico agropecuario, Pasto, Palma aceitera en el bioma Amazonía	7
Figura 2. Región de clasificación de la clase Mosaico agropecuario, en el bioma Desierto costero	8
Figura 3. Regiones de clasificación de la clase Arroz	9
Figura 4. Regiones de clasificación de la clase Plantación forestal	10
Figura 5. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat	13
Figura 6. Mosaico agropecuario, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth	16
Figura 7. Áreas de pastoreo en la amazonía, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth	16
Figura 8. Plantación forestal, a la derecha ejemplos de mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografías de Google Earth	17
Figura 9. Cultivos de palma en Perú, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth	17
Figura 10. Cultivos de arroz, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth	18
Figura 11. Flujograma metodológico para obtener la importancia de variables	19
Figura 12. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill.	21
Figura 13. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial	21
Figura 14. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal	22
Figura 15. Esquema de la funcionalidad del filtro frecuencia	22
Figura 16. Esquema de la funcionalidad del filtro incidencia	23
Figura 17. Flujograma metodológico resumido de Área agropecuaria	24
Figura 18. Flujograma metodológico descriptivo de Área agropecuaria	24

1. Introducción

En la Colección 3.0 de MapBiomás Perú, la clasificación de las coberturas asociadas al área agropecuaria incorporó procedimientos específicos orientados a mejorar la diferenciación entre agricultura, pasto y otras coberturas relacionadas con el uso productivo del territorio. Para ello, se emplearon estrategias como la selección de muestras por rangos de años, la definición de áreas de interés mediante geometrías y mapas de referencia, y la utilización de variables espectrales y auxiliares adaptadas a las características de cada región de clasificación. Estos procedimientos permitieron mejorar la representación de las áreas agropecuarias y establecer una base metodológica para su posterior refinamiento.

En la Colección 4.0 de MapBiomás Perú, esta metodología fue actualizada y ajustada a partir de la experiencia adquirida en la colección anterior, incorporando mejoras en la selección de variables, generación y reutilización de muestras, parametrización regional, clasificación mediante Random Forest y aplicación de filtros de posclasificación. Asimismo, se fortaleció la diferenciación temática de las coberturas asociadas al área agropecuaria, permitiendo identificar de manera independiente las clases Mosaico agropecuario (ID 21), Pasto (ID 15), Plantación forestal (ID 9), Palma aceitera (ID 35) y Arroz (ID 40).

De esta manera, Área agropecuaria se consolidó en la Colección 4.0 como un tema transversal orientado a integrar distintos procedimientos de clasificación para estas coberturas, considerando las particularidades espectrales, temporales y espaciales de cada región del territorio peruano.

2. Marco teórico

Como parte de la clasificación temática desarrollada para la Colección 4.0 de MapBiomás Perú, la clase Área agropecuaria corresponde a un tema transversal que agrupa los procedimientos utilizados para identificar y clasificar coberturas asociadas a actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Estas coberturas comprenden superficies en las que la vegetación natural ha sido modificada, reemplazada o manejada para distintos usos productivos y presentan características diferenciadas según el tipo de cobertura, manejo y contexto ambiental. En este tema transversal se incluyen las clases Mosaico agropecuario (ID 21), Pasto (ID 15), Plantación forestal (ID 9), Palma aceitera (ID 35) y Arroz (ID 40). Área agropecuaria no constituye una clase independiente de la leyenda final de la Colección 4.0, sino el conjunto metodológico mediante el cual se generan y organizan estas clases.

Por otro lado, las clases Pasto (ID 15) y Arroz (ID 40) fueron incorporadas en condición beta, debido a que corresponden a productos temáticos en una etapa inicial de desarrollo y refinamiento metodológico.

2.1. Mosaico Agropecuario

El mosaico agropecuario (ID 21) corresponde a áreas en las que se presenta una asociación heterogénea de coberturas relacionadas con la agricultura, el pasto y la agroforestería, como resultado de la modificación o sustitución de la vegetación natural. Esta clase también incluye áreas agrícolas en descanso. Debido a la diversidad y distribución espacial de estas

coberturas, no siempre es posible separar individualmente las áreas agrícolas y de pastoreo.

En los Andes, esta clase comprende áreas de uso agropecuario donde no fue posible diferenciar la clase Mosaico agropecuario y Pasto, e incluye también sistemas agroforestales. En esta región predominan actividades ganaderas y cultivos de cereales, tubérculos y hortalizas, principalmente en fondos y laderas de los valles interandinos. En el bosque seco ecuatorial, el mosaico agropecuario está conformado principalmente por asociaciones de agricultura y pasto, con predominio de cultivos de cereales, hortalizas y frutales en los valles fluviales. De manera similar, en el desierto costero comprende áreas de agricultura y pasto localizadas principalmente en valles fluviales, además de áreas verdes asociadas a zonas urbanas.

2.2. Pasto (beta)

La clase pasto (ID 15) comprende superficies ocupadas predominantemente por vegetación herbácea, principalmente gramíneas, vinculadas en su mayoría a la actividad pecuaria. Estas áreas pueden corresponder tanto a pasto cultivado como a coberturas originadas mediante procesos de sucesión secundaria posteriores al desmonte. También se incluyen pastizales en descanso y áreas degradadas o abandonadas que anteriormente estuvieron destinadas a la actividad ganadera.

En los Andes, además del pasto vinculado a la actividad pecuaria, se considera el pasto natural altoandino, conformado principalmente por gramíneas, pseudogramíneas y hierbas, así como especies forrajeras cultivadas como alfalfa, avena, rye grass, dactylis y trébol.

2.3. Plantación forestal

La clase plantación forestal (ID 9) corresponde a superficies forestadas mediante especies introducidas o exóticas, principalmente *Pinus* sp. y *Eucalyptus* sp., establecidas con fines productivos o de protección. En la región andina, estas plantaciones se localizan aproximadamente entre los 3000 y 3800 m s. n. m., en áreas con aptitud forestal (García et al., 2024).

Se caracterizan por presentar masas arbóreas establecidas bajo un diseño definido en cuanto a especies, distribución y extensión. Además de su finalidad productiva, las plantaciones forestales pueden cumplir funciones de protección de los suelos, regulación hídrica y provisión de servicios ecosistémicos, contribuyendo al control de la erosión y a la regulación de la escorrentía superficial (MIDAGRI, 2015). Su desarrollo se favorece principalmente en condiciones climáticas subhúmedas a húmedas, con precipitaciones superiores a aproximadamente 500 mm anuales.

2.4. Palma aceitera

La clase palma aceitera (ID 35) corresponde a áreas en las que la cobertura natural ha sido modificada o reemplazada por cultivos permanentes de palma aceitera, principalmente de la especie *Elaeis guineensis*. Se trata de una cobertura asociada a sistemas agrícolas permanentes, conformada por plantaciones destinadas a la producción comercial de aceite

de palma. Estas áreas corresponden a cultivos intensivos de palma aceitera, que pueden establecerse mediante el cambio de uso de coberturas naturales (Camacho Villalobos et al., 2018).

2.5. Arroz (beta)

La clase arroz (ID 40) comprende áreas destinadas al cultivo de este cereal bajo diferentes condiciones de manejo y disponibilidad de agua. En la Amazonía, el cultivo puede desarrollarse en ambientes tropicales húmedos, aprovechando los ciclos naturales de inundación en áreas conocidas como barrizales o mediante sistemas de cultivo bajo secano en las restingas.

En el desierto costero, el cultivo de arroz se desarrolla principalmente en los valles irrigados, bajo condiciones climáticas áridas y secas, aprovechando suelos de tipo fluvisol y dependiendo de sistemas de riego para garantizar la disponibilidad de agua durante el ciclo productivo (Calda et al., 2020).

3. Metodología

3.1. Área de estudio

Uno de los primeros pasos fue la creación de regiones de clasificación específicas para mapear las clases, basándonos en características comunes; ya sea por similitud en tipos de cultivo, zonas de mayor o menor actividad agrícola, etc. Esta regionalización se realizó mediante el agrupamiento de áreas con características similares, bajo el supuesto de que la respuesta espectral dentro de cada región presentaría un comportamiento comparable, reduciendo posibles confusiones durante la clasificación mediante Random Forest. Para ello, se dividió en regiones de Amazonía, Andes y Desierto Costero.

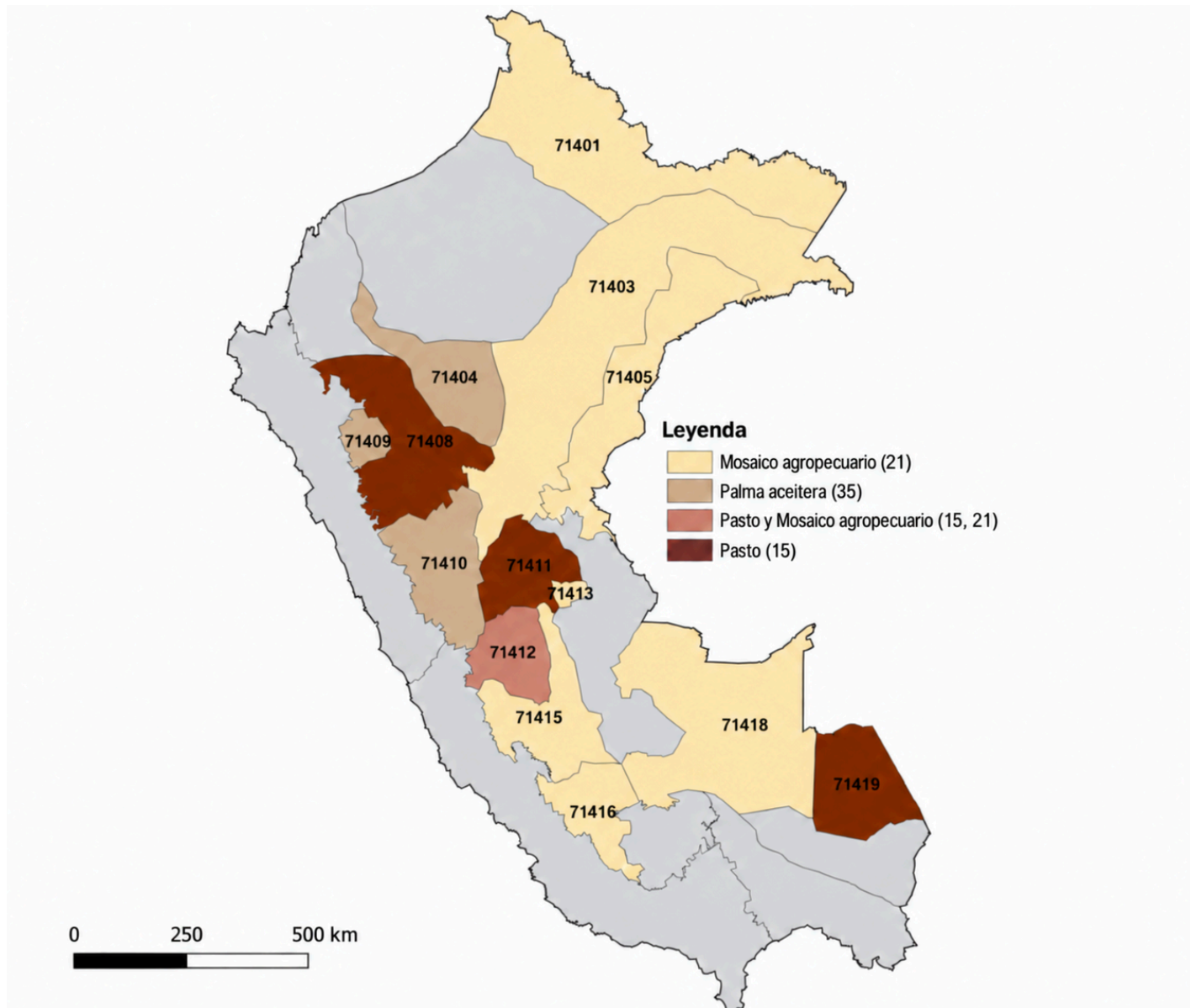


Figura 1. Regiones de clasificación de la clase Mosaico agropecuario, Pasto y Palma aceitera en el bioma Amazonía.



Figura 2. Región de clasificación de la clase Mosaico agropecuario, en el bioma Desierto costero.



Figura 3. Regiones de clasificación de la clase Arroz.



Figura 4. Regiones de clasificación de la clase Plantación forestal.

Tabla 1. Regiones de clasificación para la clase Mosaico agropecuario, Palma aceitera y Pasto.

Clase agropecuaria	Nombre de región	Códigos
Mosaico Agropecuario	Amazonía	71401
		71403
		71404
		71405
		71408
		71409
		71410
		71411
		71412
	Desierto Costero	70503
Pasto	Amazonía	71408
		71411
		71419
Palma aceitera	Amazonía	71404
		71409
		71410

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Regiones de clasificación para la clase Arroz.

Clase agropecuaria	Nombre de región	Códigos
Arroz	Amazonía	70101
		70102
		70103
		70201
		70202
	Andes	70301
		70302
	Desierto Costero	70501
		70502
		70503
		70504

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Regiones de clasificación para la clase Plantación forestal.

Clase agropecuaria	Nombre de región	Códigos
Plantación Forestal	Andes	70301
		70302
		70309
		70313
		70402
		70403
		70405
		70406
		70407
		70408

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Generación de mosaicos anuales

Para la clasificación de las clases del tema transversal Área agropecuaria se utilizaron los mosaicos anuales de imágenes Landsat generados previamente para la clasificación general de Cobertura y Uso del Suelo de MapBiomias Perú Colección 4.0, correspondientes al periodo 1985–2025. Estos mosaicos constituyeron la base de información espectral utilizada para la clasificación de Mosaico agropecuario (ID 21), Pasto (ID 15), Plantación forestal (ID 9), Palma aceitera (ID 35) y Arroz (ID 40).

Los mosaicos fueron elaborados a partir de imágenes Landsat disponibles para cada año de la serie temporal, mediante procedimientos de selección, enmascaramiento y composición definidos para la clasificación general. Su generación consideró parámetros asociados a la temporalidad de las imágenes, sensores disponibles, cobertura de nubes, exclusión de escenas con problemas de calidad y cálculo de reductores estadísticos para la construcción de las variables espectrales utilizadas posteriormente en la clasificación.

La descripción detallada de los sensores, parámetros de selección de imágenes, procedimientos de enmascaramiento de nubes y sombras, reductores estadísticos y demás criterios empleados para la generación de los mosaicos anuales se encuentra en el ATBD General de MapBiomias Perú Colección 4.0.

La Figura 5 presenta de manera esquemática el proceso general de generación de los mosaicos anuales utilizados como insumo en la clasificación del tema transversal Área agropecuaria.

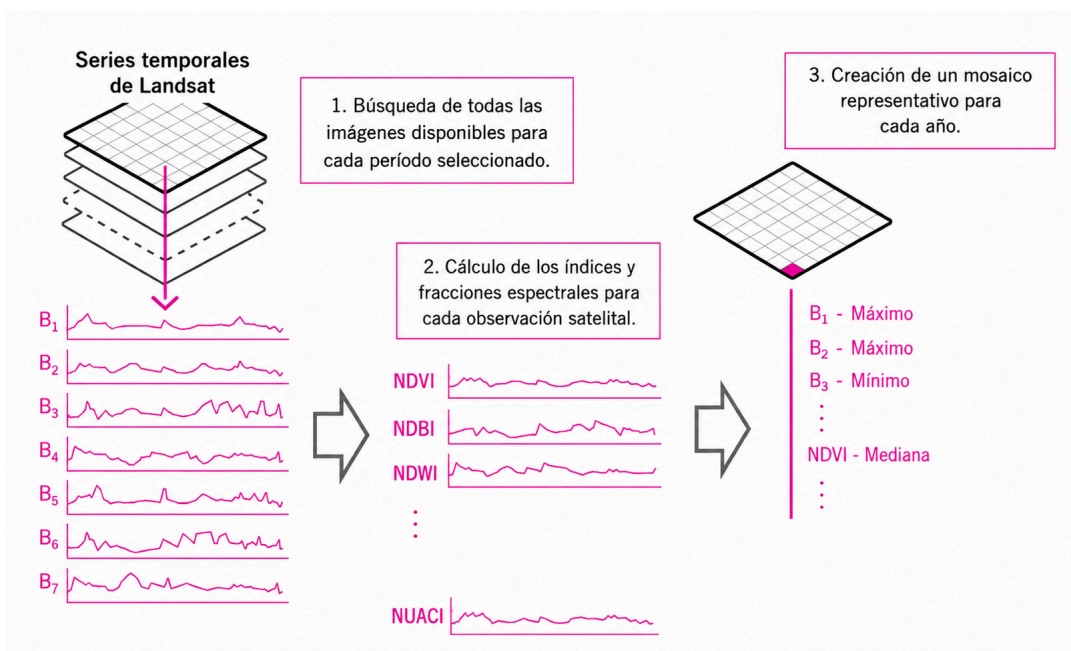


Figura 5. Proceso de cálculo de bandas que componen los mosaicos anuales de imágenes Landsat.

3.3. Índices espectrales

Se calcularon índices espectrales (*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 en total¹ que incluyen: las bandas landsat espectrales, índices espectrales, información fraccional y de textura derivada de las mismas e índices de las fracciones espectrales. Adicionalmente se usaron 7 variables estáticas: HAND, shademask2, slppost, altitud, pendiente, latitud y longitud; que ayudaron a la clasificación de clases que espectralmente son muy similares pero se logran diferenciar por estos aspectos topográficos.

A las imágenes disponibles en cada año, se aplicó el cálculo de **reductores estadísticos** para generar los valores de cada píxel. Estos reductores son:

- Mediana: Mediana² de todos los valores disponibles en el mosaico anual para esa ubicación (píxel).
- Mediana época seca: Cálculo de la mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 25 (con los menores valores) de NDVI (proxy de época seca).
- Mediana época húmeda: Cálculo de mediana estadística aplicada a los píxeles del cuartil 75 (con los mayores valores) de NDVI (proxy de época lluviosa).
- Amplitud: Extensión de la variación entre todos los píxeles disponibles en el mosaico anual.

¹ Disponibles para descarga en la plataforma MapBiomás Perú.

² Mediana es el valor que separa la mitad superior de la mitad inferior de una muestra de datos o una población. [Documentación](#) de la herramienta en Google Earth Engine.

- 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 (proxy de época seca).
- Mínimo del periodo húmedo: Cálculo del menor valor de todos los píxeles disponibles de las imágenes del cuartil con los mayores valores de NDVI (proxy de 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 (proxy de 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 (proxy de época lluviosa).
- QMO del período seco: composición obtenida mediante el método Quality Mosaic, utilizando EVI2 como variable de calidad para seleccionar, en cada píxel, la observación correspondiente al mayor valor de EVI2 dentro del período seco.
- QMO del período húmedo: composición obtenida mediante el método Quality Mosaic, utilizando EVI2 como variable de calidad para seleccionar, en cada píxel, la observación correspondiente al mayor valor de EVI2 dentro del período húmedo.

Previo a un análisis, se obtuvieron variables específicas o de mayor importancia para la clasificación de la clase área agropecuaria, estas variables con sus reductores fueron incorporadas a las 156 bandas (ver Tabla 4).

Tabla 4. Variables y sus reductores de mayor importancia.

Bandas	min	median	max	qmo
green_dry		x		x
red_dry	x	x	x	x
nir_dry		x		x
swir1_dry		x	x	x
swir2_dry	x	x		x
green_wet	x	x		x
red_wet			x	
nir_wet		x		x
swir1_wet	x	x	x	x
swir2_wet		x	x	x
NDWI_wet	x	x	x	x

CEI_wet	x			
NDWI_dry	x			

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Clasificación

3.4.1. Mapas de Referencia

Asimismo, se utilizaron imágenes de Google Earth para realizar la verificación correspondiente de las áreas agropecuarias.

Tabla 5. Mapa de referencia.

País	Nombre	Fuente	Año
Perú	Mapa Nacional de Superficie Agrícola, según departamento	MIDAGRI	2020

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Muestras de entrenamiento

Para cada clase del transversal Área agropecuaria se implementó una clasificación binaria. Las muestras de entrenamiento estuvieron conformadas por la clase objetivo y una clase complementaria No definido/No clase (ID 27). Así, para Mosaico agropecuario se utilizaron muestras correspondientes a las clases 21 y 27; para Pasto, las clases 15 y 27; y de manera equivalente para las demás clases específicas. La cantidad de muestras por clase se ajustó de acuerdo con las características de cada región de clasificación, procurando mantener una representación equilibrada entre la clase objetivo y la clase complementaria.

Pasto y Mosaico Agropecuario

La colecta de puntos se realizó para un año específico o para un período determinado. Las muestras fueron obtenidas a partir del mapa de referencia descrito en la sección 3.4.1 y mediante la interpretación visual de imágenes de Google Earth, debido a su mayor resolución espacial.

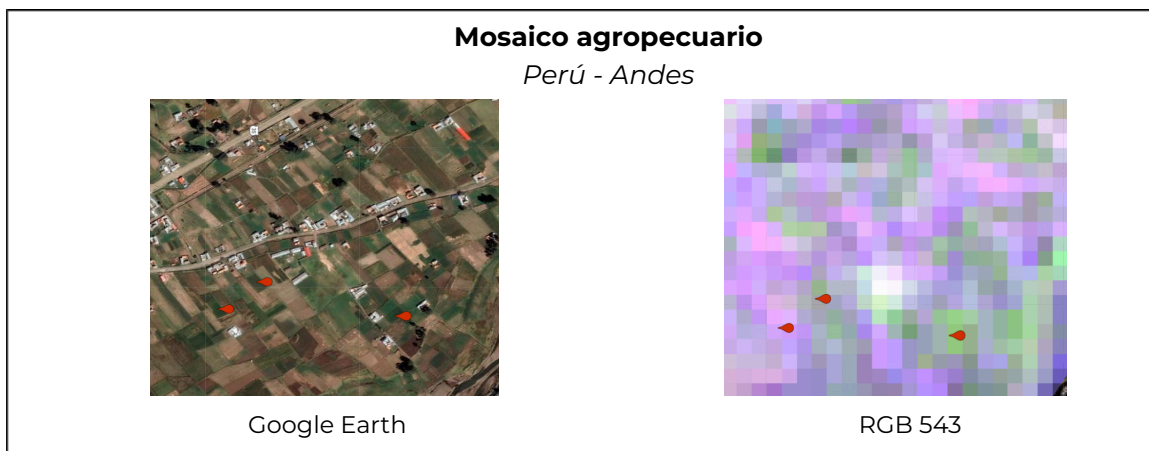


Figura 6. Mosaico agropecuario, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth.

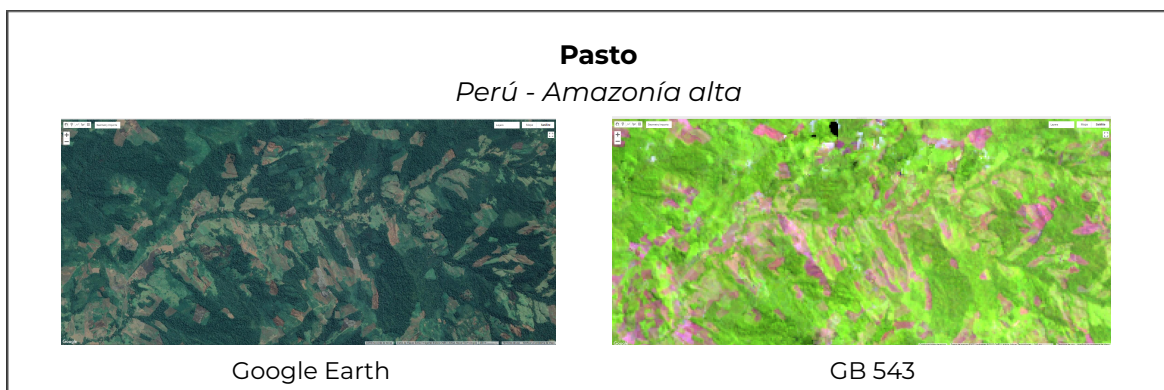


Figura 7. Áreas de pastoreo en la amazonía, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth.

Plantación Forestal

Se consideraron muestras estables aquellas cuya clase permaneció sin cambios durante toda la serie temporal 1985–2025. Se consideraron muestras no estables aquellas cuya pertenencia a la clase se observó únicamente durante uno o más períodos de la serie temporal.

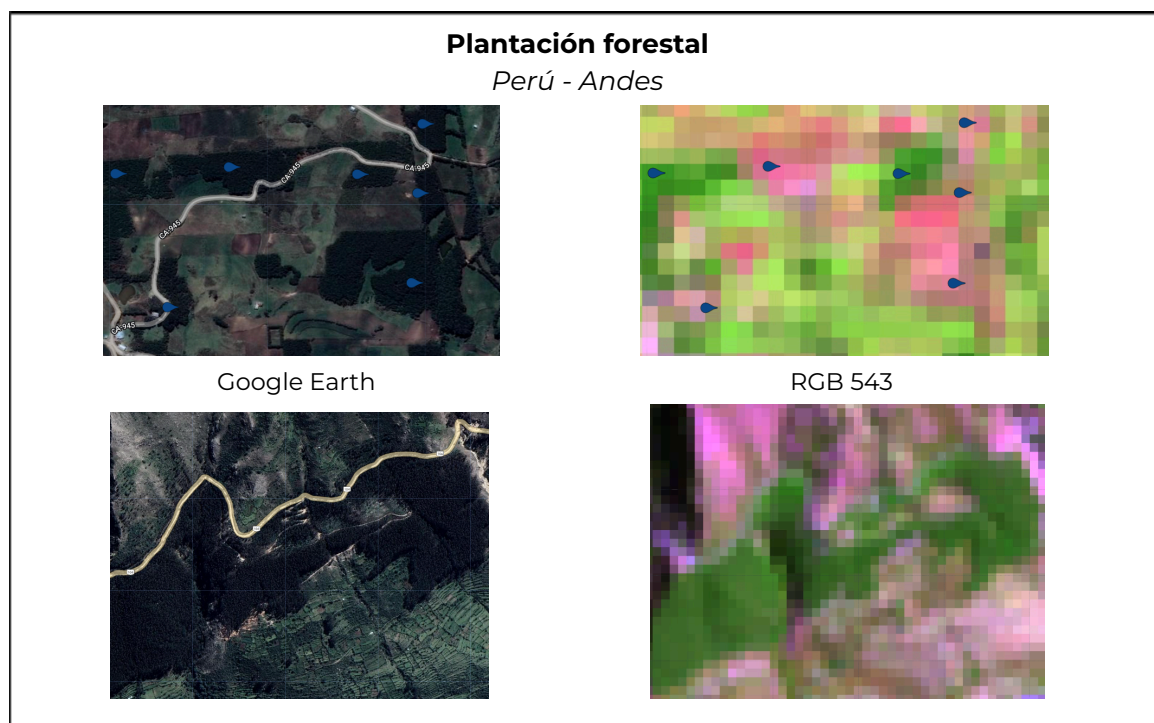


Figura 8. Plantación forestal, a la derecha ejemplos de mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografías de Google Earth.

Palma aceitera

Se realizó la colecta de puntos para un período determinado. Las muestras fueron obtenidas a partir del mapa de referencia descrito en la sección 3.4.1 y mediante la interpretación visual de imágenes de Google Earth, debido a su mayor resolución espacial.

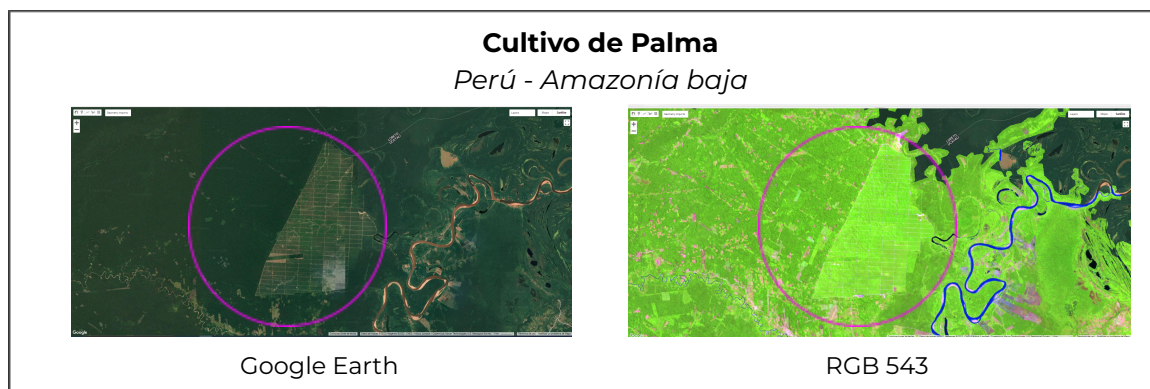


Figura 9. Cultivos de palma en Perú, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth.

Arroz

La colecta de puntos se realizó para un año específico o para un período determinado. Las muestras fueron obtenidas a partir del mapa de referencia descrito en la sección 3.4.1.



Figura 10. Cultivos de arroz, a la derecha mosaico Landsat RGB y a la izquierda fotografía de Google Earth.

3.4.3. Algoritmo de clasificación

La clasificación de las clases pertenecientes a Área agropecuaria se realizó de manera independiente para cada clase mediante modelos binarios del algoritmo de aprendizaje automático Bosques Aleatorios (Random Forest) (Breiman, 2001) mediante la plataforma Google Earth Engine (GEE). El proceso de clasificación se inició con la generación de las variables espectrales e índices derivados de las imágenes Landsat, a partir de los cuales se evaluó la importancia relativa de cada variable para la discriminación de las clases de interés. Esta evaluación permitió identificar las variables con mayor capacidad para diferenciar las coberturas analizadas y, con base en ellas, definir el conjunto de variables utilizado en el entrenamiento del clasificador.

Tabla 6. Clases objetivo y clases complementarias utilizadas en la clasificación binaria del transversal Área agropecuaria.

Clasificación	Id de clase objetivo	Clase complementaria
Mosaico agropecuario	21	27
Pasto	15	27
Plantación forestal	9	27
Palma aceitera	35	27
Arroz	40	27

Fuente: Elaboración propia.

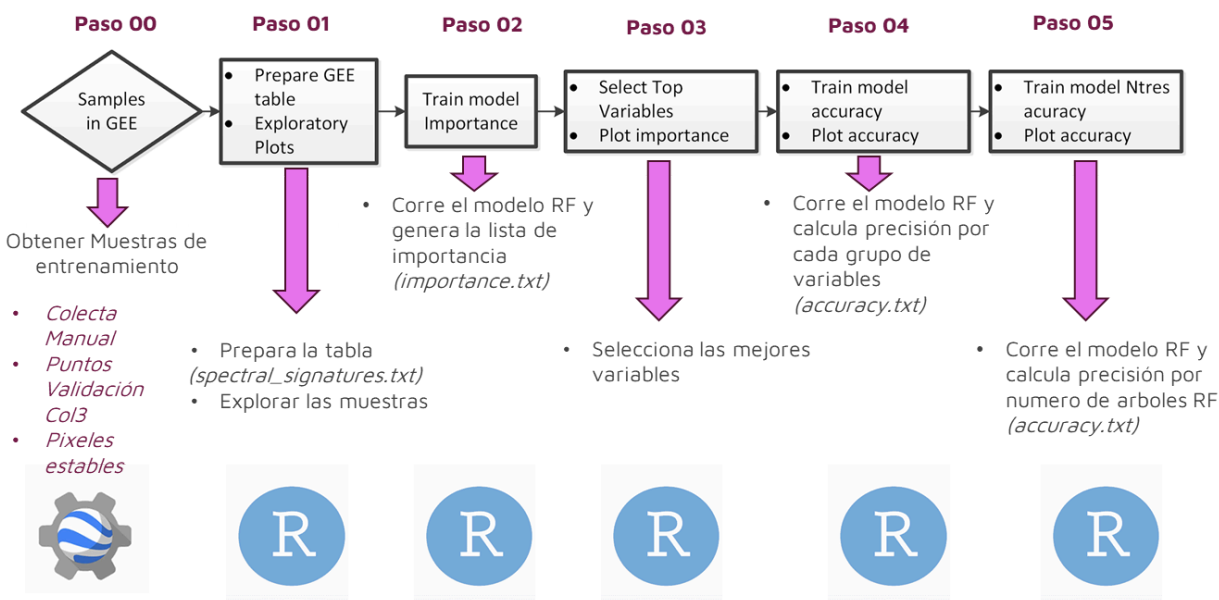


Figura 11. Flujograma metodológico para obtener la importancia de variables.

Posteriormente, se generaron y revisaron muestras de entrenamiento representativas para cada clase, las cuales fueron utilizadas para entrenar el modelo Random Forest configurado con 60 árboles. El algoritmo aprendió las características espectrales y temporales de las clases a partir de estas muestras y de las variables seleccionadas, para posteriormente asignar cada píxel de la imagen a la clase con mayor correspondencia.

En el caso particular de plantación forestal se incorporó adicionalmente un mapa de probabilidad derivado del clasificador Random Forest, generado en Google Earth Engine a partir de la proporción de votos de los árboles del modelo para la clase de interés. Este producto permitió representar espacialmente el grado de probabilidad de que cada píxel correspondiera a una plantación forestal y, de esta manera, complementar la clasificación obtenida mediante el algoritmo. A partir de este mapa se establecieron umbrales de probabilidad diferenciados para cada región de clasificación, seleccionados de acuerdo con las características de la cobertura, el comportamiento de los resultados en cada área y una mejora visual. Los valores definidos fueron utilizados como criterio adicional para delimitar la clase de Plantación forestal y mejorar su identificación espacial. Los umbrales aplicados en cada región se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Umbral de probabilidad aplicado en cada región de la clase plantación forestal.

Región ID	Umbral de probabilidad
70301	No aplicado
70302	0,6
70309	0,55
70403	No aplicado
70313	No aplicado

70402	No aplicado
70405	0,6
70406	0,1
70407	0,55
70408	No aplicado

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Posclasificación

Debido a la naturaleza basada en píxeles del método de clasificación y la serie temporal muy larga, se aplicó una cadena de filtros de clasificación posterior. El proceso de posclasificación incluye la aplicación de un filtro de relleno (gapfill), temporal, espacial, de frecuencia e incidencia.

La secuencia de aplicación de los filtros varió según los resultados obtenidos en cada región de clasificación y el criterio técnico del analista; sin embargo, se recomienda iniciar con el filtro de llenado de vacíos (gap fill).

3.5.1. Llenado de vacíos de información - Filtro Gap fill

En una serie de tiempo larga de regiones severamente afectadas por nubes, se espera que los vacíos puedan ocurrir en el resultado de la mediana. En este filtro, los vacíos son reemplazados por la clasificación temporalmente más cercana. En este procedimiento, si no hay disponibilidad de un valor en el año siguiente, entonces el espacio se reemplaza con el valor del año precedente. Se pueden utilizar hasta tres años anteriores para cubrir vacíos. Por lo tanto, las brechas solo deberían existir si un píxel dado se ha clasificado permanentemente como sin información en toda la serie temporal.

Para realizar un seguimiento de los orígenes temporales de los píxeles, se construyó una máscara de años, como se muestra en la Figura 12.

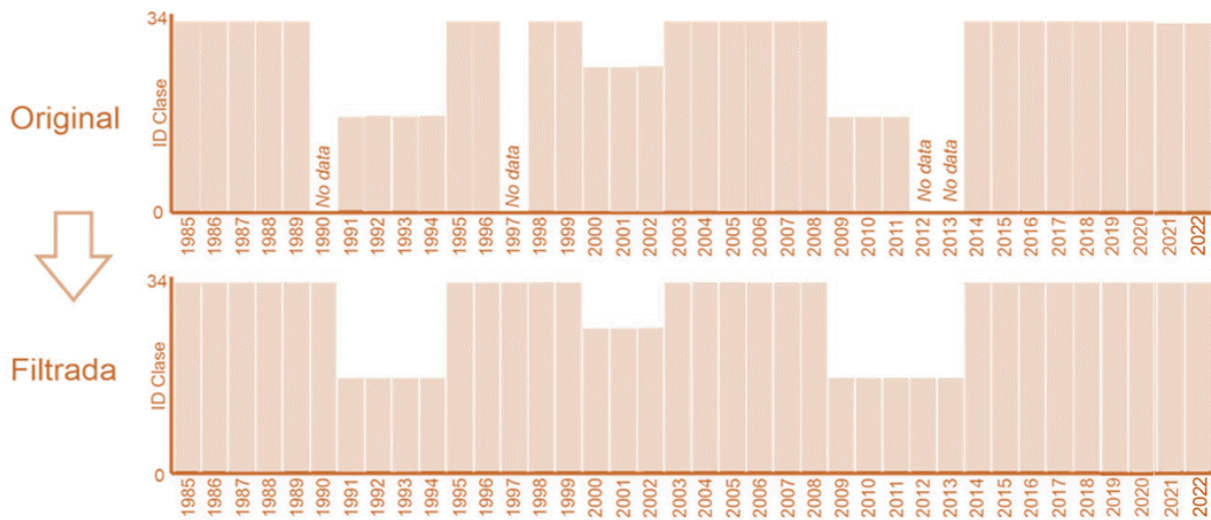


Figura 12. Esquema de funcionalidad de filtro Gap Fill.

3.5.2. Filtro espacial

El filtro espacial está basado en la función "connectedPixelCount", que identifica al conjunto de píxeles (vecindario) que comparten un mismo valor de píxel. En consecuencia, sólo los píxeles que no presentan conexión considerando una cantidad mínima predefinida de píxeles idénticos son definidos como píxeles aislados y reclasificados (Figura 13).

Para la clase área agropecuaria, la conexión mínima establecida fue de 3 píxeles (aprox. 0.3 ha).

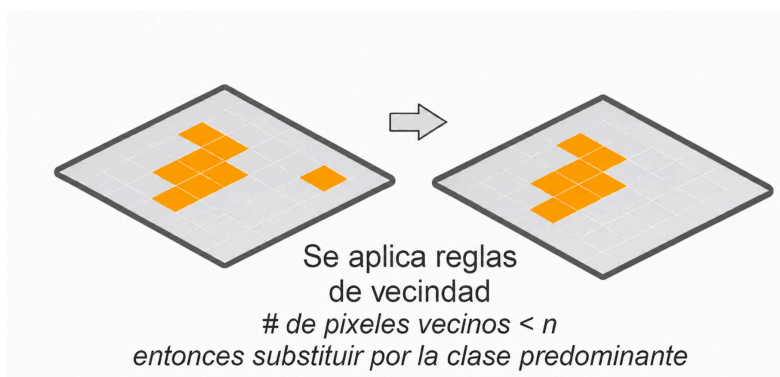


Figura 13. Esquema de la funcionalidad del filtro espacial.

3.5.3. Filtro temporal

Se aplicó un filtro temporal mediante ventanas móviles de 3, 4 y 5 años a lo largo de la serie 1985–2025, considerando las particularidades de cada región de clasificación. El procedimiento evalúa la trayectoria temporal de cada píxel para identificar transiciones incoherentes o cambios aislados. Se aplicaron reglas generales a los años intermedios de la

serie, así como reglas específicas para el primer y último año. Cuando se detectó una inconsistencia temporal, el valor del píxel fue reemplazado por la clase consistente con los años vecinos dentro de la ventana analizada.



Figura 14. Esquema de la funcionalidad del filtro temporal.

3.5.4. Filtro frecuencia

Este filtro considera la ocurrencia de la clase a lo largo de la serie temporal para normalizar la trayectoria histórica de la clase. Teniendo en cuenta que el comportamiento de área agropecuaria manifiesta una tendencia incremental y de expansión hacia los últimos años, se aplicó el filtro con el fin de regular el aumento consistente de los píxeles de área agropecuaria y evitar fluctuaciones anómalas de un año a otro.

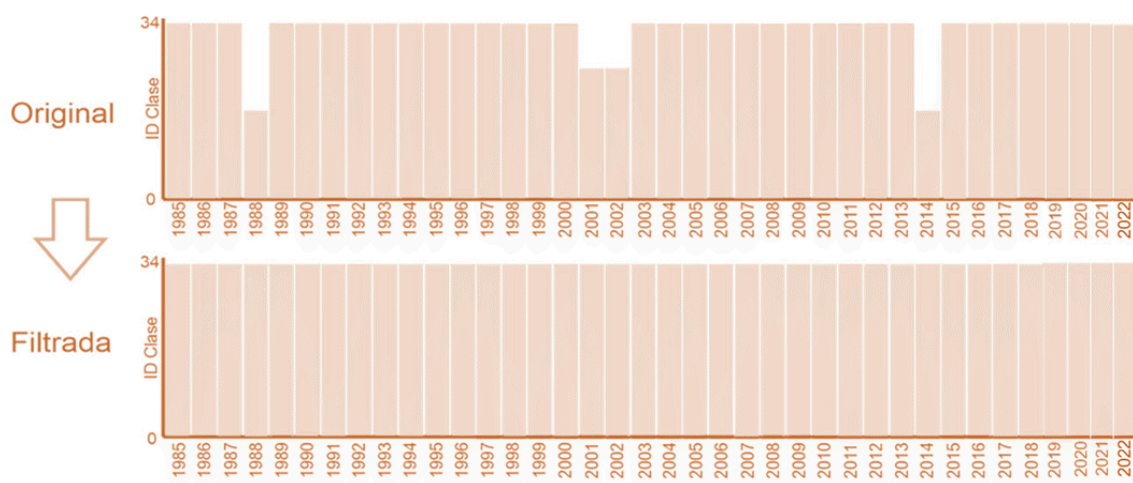


Figura 15. Esquema de la funcionalidad del filtro frecuencia.

3.5.5. Filtro incidencia

El filtro de incidencia estabiliza el valor de píxeles de clase área agropecuaria que cambiaron demasiadas veces a lo largo de la serie temporal de 41 años. Todos los píxeles que cambian más

de una cantidad de veces definida por el usuario y que están conectados con por lo menos n píxeles, fueron reemplazados por el valor de la clase de moda de ese píxel. Esto reduce cambios a lo largo de los bordes de las clases y ayuda a estabilizar las transiciones erradas por ruidos.

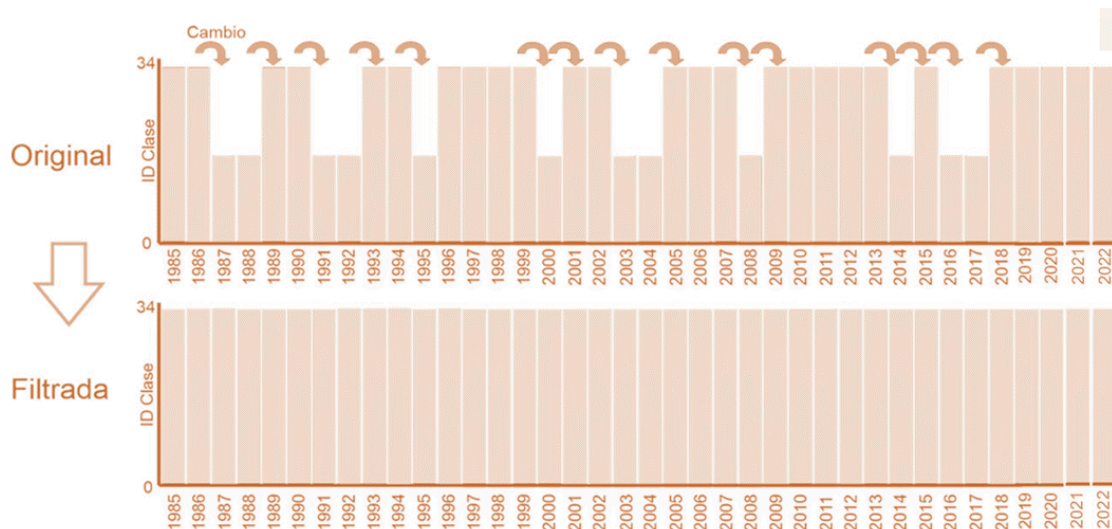


Figura 16. Esquema de la funcionalidad del filtro incidencia.

De manera complementaria, se aplicaron ajustes específicos de carácter temporal, espacial, de frecuencia e incidencia en función de las características y necesidades identificadas en cada región de clasificación o período analizado, y con base a un control de calidad visual. Estas herramientas permitieron resolver inconsistencias puntuales, preservar patrones de clasificación consolidados y mejorar la continuidad y coherencia de las trayectorias de cambio a lo largo de la serie temporal. En este sentido, la secuencia de posclasificación no se estableció como un procedimiento rígido y uniforme para todo el territorio, sino como un conjunto de herramientas aplicadas de manera contextual, cuya selección y configuración dependen de las condiciones espaciales y temporales de cada área, contribuyendo a optimizar la consistencia final de la clasificación.

3.6. Integración

Una vez finalizada la clasificación de las diferentes regiones de clasificación, se procedió a integrar los resultados obtenidos para conformar una clasificación a escala nacional. Este proceso permitió consolidar las clases identificadas en las distintas regiones y garantizar su articulación espacial dentro del territorio peruano. Posteriormente, los resultados del presente transversal fueron integrados con las clases provenientes de los demás ATBD transversales y del mapa general, con el propósito de generar un producto cartográfico nacional unificado y consistente con la leyenda general de MapBiomás Perú.

3.7. Resumen metodológico

Los siguientes diagramas muestran el resumen por pasos de la metodología de área agropecuaria.

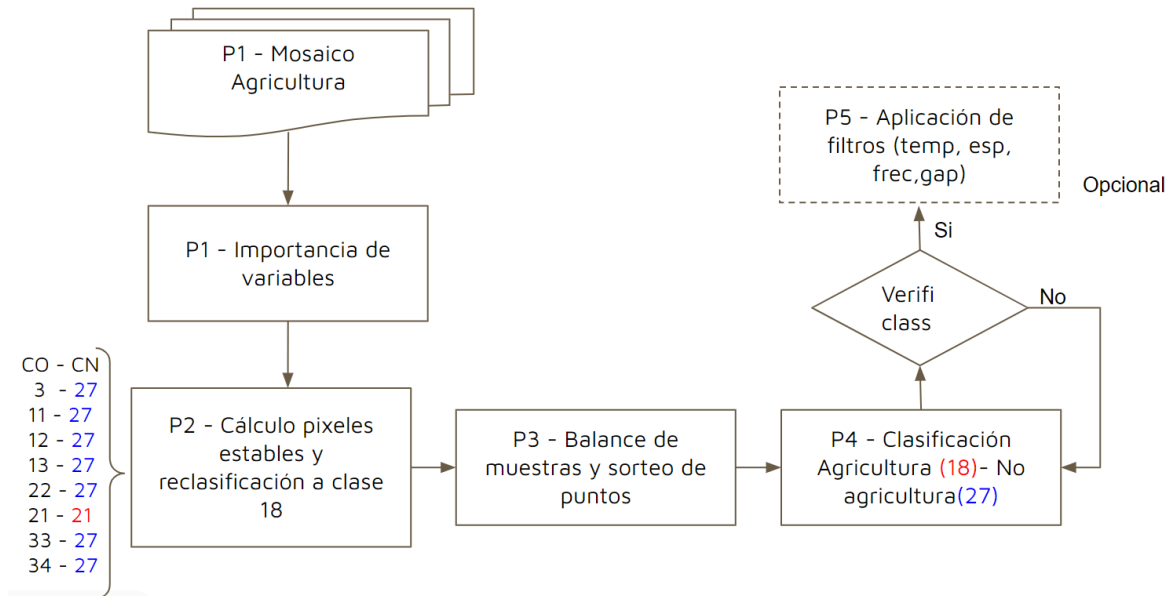


Figura 17. Flujograma metodológico resumido de Área agropecuaria.

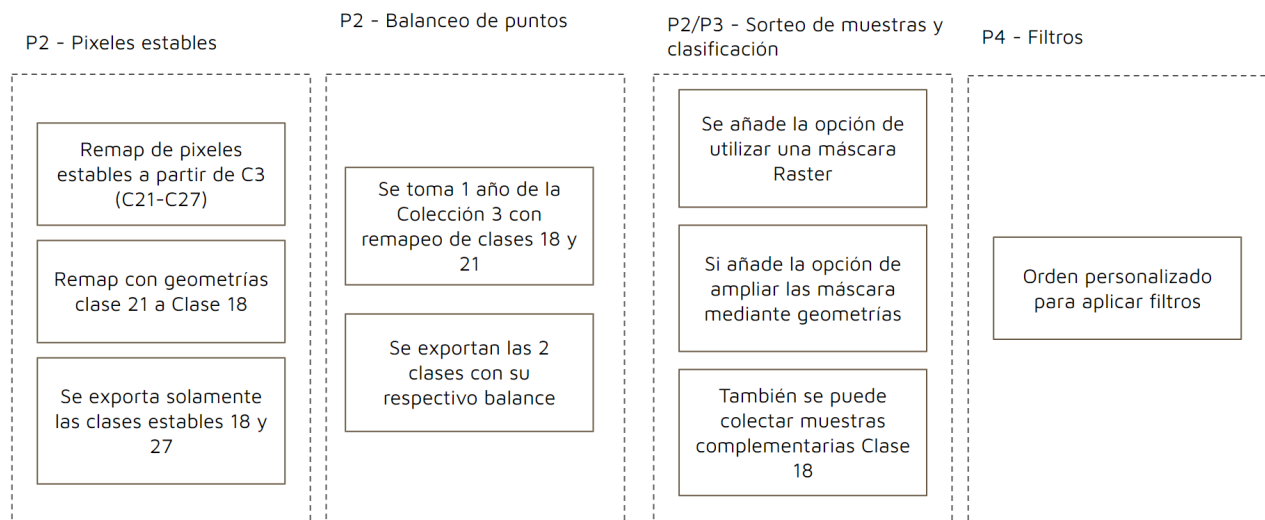


Figura 18. Flujograma metodológico descriptivo de Área agropecuaria.

La metodología permitió mejorar la diferenciación entre las principales coberturas agropecuarias en el territorio peruano. Sin embargo, en determinadas áreas persistieron dificultades de separación debido al tamaño reducido y la mezcla espacial de las coberturas, particularmente entre Mosaico agropecuario y Pasto, considerando la resolución espacial de 30 m de las imágenes Landsat.

4. Referencias

Breiman, L. (2001). Random Forest. Statistics Department University of California Berkeley. 1-30.

Caldas Cueva, J. F., & Lizárraga Travaglini, A. (2020). *Guía técnica: Manejo del cultivo de arroz bajo el sistema de riego con secas intermitentes en las regiones de Tumbes, Piura, Lambayeque y La Libertad*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/items/6583552c-9968-48ba-ab8b-970033f1d55e>

Camacho Villalobos, A. A., Hidalgo Rios, L. F., & Flores Jaramillo, J. D. (2018). *Guía para caracterización morfoagronómica y productiva de palma aceitera (Elaeis guineensis) del núcleo genealógico de la Estación Experimental Agraria Pucallpa*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/741>

García, J. A., et al. (2024). [Estudio sobre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* en Cajamarca]. *Bosque*, 45(1), 103–118. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002024000100103>

Hartshorn, Scott. *Machine Learning With Random Forests And Decision Trees A Visual Guide For Beginners*. Amazon.com Services LLC, 2016.

MapBiomas. Agriculture and Forest Plantation - Appendix, Brazil 2020.

Ministerio de Agricultura y Riego (MIDAGRI). (2015). *Decreto Supremo N.º 020-2015-MINAGRI, Reglamento para la Gestión de las Plantaciones Forestales y los Sistemas Agroforestales*. Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/decreto-supremo-que-aprueba-reglamento-gestion-las-plantaciones>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (s. f.). *Superficie agrícola oficial*. Sistema Integrado de Estadística Agraria. <https://siea.midagri.gob.pe/herramientas/superficie-agricola>