

**PERÚ**Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección
Técnica CientíficaDecenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

2021-101-007000

INFORME N° 00126-2021-OEFA/DEAM-STEC

A : **FRANCISCO GARCÍA ARAGÓN**
Director de Evaluación Ambiental

DE : **JULIO ANDRÉS GONZALES ROSSEL**
Coordinador en evaluaciones ambientales en pesquería,
industria y otros de la Subdirección Técnica Científica

MARIELA BERENICE CABALLERO DEL CASTILLO
Especialista en Evaluaciones Ambientales – Especialista I

ASUNTO : Clasificación de coberturas y cambio de uso a partir del
procesamiento de imágenes satelitales, dentro de la Unidad
Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga, administrado por
Palmas del Huallaga SAC en los distritos El Porvenir y
Papalaya, provincia San Martín, departamento San Martín.

EXPEDIENTE DE SUPERVISIÓN : 0063-2021-DSAP-CAGR

CÓDIGO DE ACCIÓN : 0003-6-2021-201

REFERENCIA : Memorando N.° 00357-2021-OEFA/DSAP

FECHA : Lima, 26 de agosto de 2021

Tenemos el agrado de dirigirnos a usted para informarle lo siguiente:

1. INFORMACIÓN GENERAL**Tabla 1.1.** Datos generales de la actividad realizada

a.	Zona supervisada	Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga
b.	Unidades fiscalizables en la zona de estudio o actividades económicas	Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga de la empresa Palmas del Huallaga SAC
c.	Problemática identificada	Necesidad de identificar coberturas y el cambio de uso desde el año 2017 al 2021 como apoyo en la supervisión de la unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga.
d.	Motivo de la actividad	Memorando N.° 00357-2021-OEFA/DSAP
e.	Tipo de evaluación/supervisión	Supervisión Regular
f.	Periodo de ejecución	Mayo-junio del 2021

Profesionales que aportaron a este documento:

Tabla 1.2. Listado de profesionales

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada	N.º de Colegiatura
1	Lázaro Walther Fajardo Vargas	Ingeniero químico	Gabinete	CIP 33273
2	Mariela Berenice Caballero del Castillo	Bióloga	Gabinete	CBP 4896
3	Marco Antonio Miranda Valiente	Ingeniero Ambiental	Gabinete	CIP 180884
4	Lourdes Liseth Espinoza Quiroz	Ingeniera Geógrafa	Gabinete	CIP 235285



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

N.º	Nombres y Apellidos	Profesión	Actividad desarrollada	N.º de Colegiatura
5	Odalys Jazmín Suarez Balcázar	Bachiller en humanidades con mención en geografía y medio ambiente	Gabinete	No aplica

2. ANTECEDENTES

Mediante el Memorando N.º 00357-2021-OEFA/DSAP la Dirección de Supervisión Ambiental en Actividades Productivas (DSAP) solicitó a la Dirección de Evaluación Ambiental (DEAM) la colaboración técnica para realizar un estudio que determine las clases de cobertura, así como el análisis multitemporal (de los últimos 5 años) mediante procesamiento de imágenes satelitales en la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga ubicado en los distritos El Porvenir y Papalaya, provincia San Martín, departamento San Martín.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Identificar clases de coberturas y determinar la extensión dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga para los años 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021, a través de metodologías de clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales Sentinel 2A.

3.2 Objetivos específicos

- Calcular las extensiones de las áreas de cambio de cobertura por cada periodo de análisis (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021) dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga.
- Identificar áreas de conflicto de uso entre la clasificación de coberturas del año 2021 presentada por la empresa Palmas del Huallaga SAC y la capacidad de uso mayor de la ZEE San Martín.

4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprendió la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga de la empresa Palmas del Huallaga SAC que se ubica en los distritos El Porvenir y Papalaya, provincia San Martín, departamento San Martín.

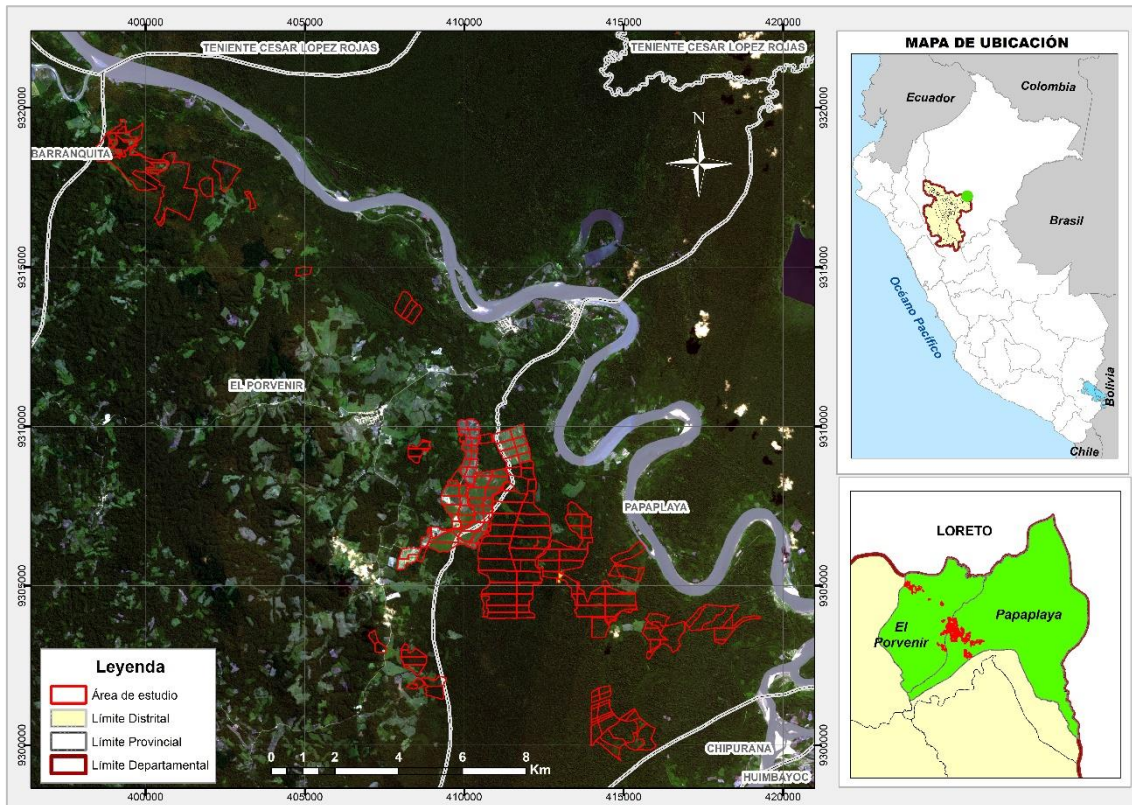


Figura 4.1. Ubicación del área de estudio.

5. METODOLOGÍA

La metodología empleada para clasificar cobertura dentro del área de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga, ha tomado en consideración la descarga de imágenes satelitales multiespectrales de la Plataforma de Google Earth Engine, de las cuales se generaron índices de vegetación y se extrajeron puntos de muestreo por clase de interés. Se utilizó la segmentación, clasificación, pos clasificación y una validación estadística para calcular el error de la clasificación obtenida. Posterior a la clasificación, se realizó la detección de cambios de cobertura por cada periodo de análisis, teniendo como insumo primordial el índice de vegetación NDVI y detección de los umbrales de cambio, clasificando las áreas donde se presentaron variaciones y superponiéndolos en la clasificación inicial, obteniendo la clasificación del siguiente año.

5.1. Guía utilizada para la evaluación

La guía utilizada para la clasificación de coberturas y determinar la extensión por cada clase de cobertura identificada dentro del área de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga se detalla en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Referencias empleadas para el levantamiento fotogramétrico

Guía	Sección	País	Institución/autor	Año
Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales	Toda la guía	Perú	Ministerio de Agricultura y Riego	2018



5.2. Procesamiento metodológico para la evaluación

El procedimiento metodológico se realizó de manera semi-automatizada para identificar las clases de cobertura y calcular las extensiones de las áreas de cambios por período de análisis dentro del área de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga. Se realizó dos (2) etapas de procesamiento, la primera consistió en clasificar el año base (2021), y la segunda en detectar el cambio y clasificar sólo los segmentos de cambio, manteniendo las demás áreas constantes. Ver Figura 5.1 y 5.2.

Se eligió el método de segmentación de la imagen empleado por MINAGRI (2018), el cual consiste en dividir la imagen en agrupaciones de píxeles vecinos, (formados en base a valores espectrales, espaciales y/o de texturas similares). A estas agrupaciones se les denomina segmentos. El algoritmo empleado permitió regular el tamaño de los segmentos, su forma y el grado de compactación.

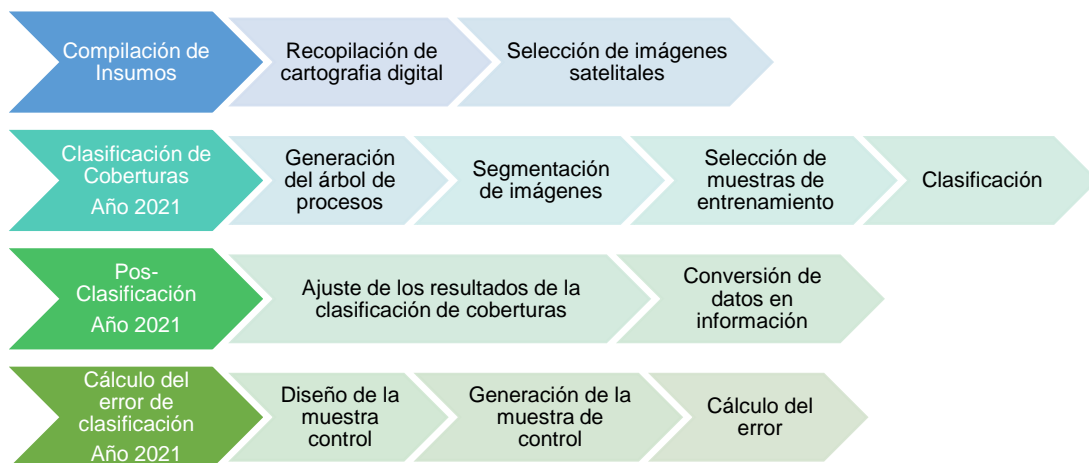


Figura 5.1. Esquema de la metodología semi-automatizada para la clasificación de coberturas para el año 2021.

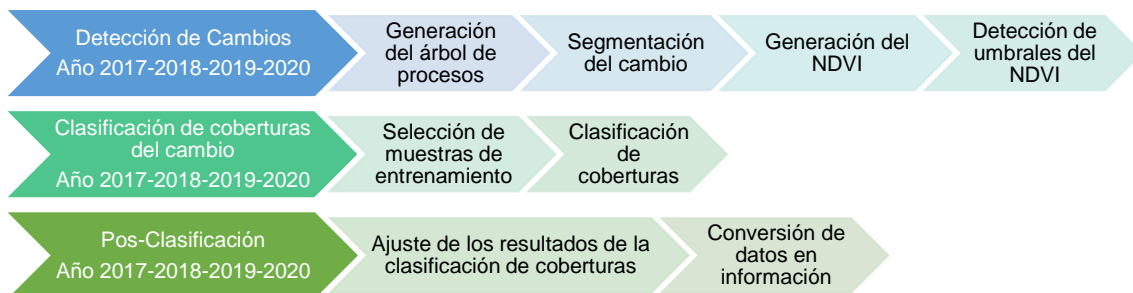


Figura 5.2. Esquema de la metodología semi-automatizada para la detección y clasificación de cambios de cobertura para los años 2017-2018-2019 y 2020.



5.3. Clasificación de coberturas del año 2021

5.3.1. Compilación de insumos

a. Recopilación de cartografía digital

La cartografía digital utilizada como insumo para el estudio se detalla en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Cartografía digital utilizada como insumo para la clasificación

Institución	Cartografía Digital
Palmas del Huallaga SAC	Límites de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga
Ministerio de Agricultura y Riego	Límites de Capacidad de Uso mayor de las tierras – Sector Yurimaguas

b. Selección de imagen satelital

Se trabajó con imágenes satelitales Sentinel 2 de acceso gratuito, de nivel 2A el cual se encuentra ortorectificado y con niveles de reflectancia por encima de la atmósfera (TOA).

Se empleó la plataforma de Google Earth Engine¹, para la consulta y selección de las imágenes satelitales disponibles, las mismas poseen una resolución espacial 10x10 metros.

En la Tabla 5.3 se detallan las características de la imagen.

Tabla 5.3. Característica de la imagen Sentinel 2A

Sentinel-2A Bandas	Longitud de onda (µm)	Resolución (m)
Banda 1 - Coastal aerosol	0,443	60
Banda 2 - Blue	0,490	10
Banda 3 - Green	0,560	10
Banda 4 - Red	0,665	10
Banda 5 - Vegetation Red Edge	0,705	20
Banda 6 - Vegetation Red Edge	0,740	20
Banda 7 - Vegetation Red Edge	0,783	20
Banda 8 - NIR	0,842	10
Banda 8A - Narrow NIR	0,865	20
Banda 9 - Water vapour	0,945	60
Banda 10 - SWIR – Cirrus	1,375	60
Banda 11 - SWIR	1,610	20
Banda 12 - SWIR	2,190	20

La descarga de las imágenes seleccionadas dentro del entorno de la plataforma de Google Earth Engine, fue a través del siguiente código:

¹ Google Earth Engine es una plataforma que aloja imágenes de satélite y las almacena en un archivo de datos público, incluye imágenes históricas de la Tierra que se remontan a más de cuarenta años. (Google, 2019)



- Descarga de imágenes del año 2021

```
//Definición de "geometry"
var table = ee.FeatureCollection("users/OEFA_DSAP_HUALLAGA"),
  geometry =
  /* color: #d63000 */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
  {
  "type": "rectangle"
  }
  ] */
  ee.Geometry.Polygon(
  [[[-75.95640197880452, -6.1146751285926895],
  [-75.95640197880452, -6.345390500068539],
  [-75.69684997685138, -6.345390500068539],
  [-75.69684997685138, -6.1146751285926895]], null, false);

//Imagen para SENTINEL 2A
var IMGSentinel= ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterBounds (geometry)
  .filterDate ('2021-04-01','2021-04-30')
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 30);
var SentinelFiltro = ee.Image(IMGSentinel.median());
var SentinelClip = SentinelFiltro.clip (geometry);

//Imprimimos la lista de imágenes disponibles en la pestaña de Console
print (SentinelFiltro);

//Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores y asignando un nombre de
etiqueta en la vista
Map.addLayer (SentinelClip, {
  max: 5000.0,
  min: 0.0,
  gamma: 1.2,
  bands: ['B4','B3','B2']],
  'Capa Sentinel');

// exportar
Export.image.toDrive({
  image: SentinelClip.select("B2", "B3", "B4", "B8"),
  description: '2021_huallaga_TOA_04',
  scale: 10,

  region: geometry});
```

- Descarga de imágenes del año 2020

```
//Definición de "geometry"
var table = ee.FeatureCollection("users/OEFA_DSAP_HUALLAGA"),
  geometry =
  /* color: #d63000 */
```



```
/* shown: false */
/* displayProperties: [
  {
    "type": "rectangle"
  }
] */
ee.Geometry.Polygon(
  [[[-75.95640197880452, -6.1146751285926895],
    [-75.95640197880452, -6.345390500068539],
    [-75.69684997685138, -6.345390500068539],
    [-75.69684997685138, -6.1146751285926895]]], null, false);

//Imagen para SENTINEL 2A
var IMGSentinel= ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterBounds (geometry)
  .filterDate ('2020-08-01','2020-08-30')
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 30);
var SentinelFiltro = ee.Image(IMGSentinel.median());
var SentinelClip = SentinelFiltro.clip (geometry);

//Imprimimos la lista de imágenes disponibles en la pestaña de Console
print (SentinelFiltro);

//Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores y asignando un nombre de etiqueta
en la vista
Map.addLayer (SentinelClip, {
  max: 5000.0,
  min: 0.0,
  gamma: 1.2,
  bands: ['B4','B3','B2'],
  'Capa Sentinel');

// exportar
Export.image.toDrive({
  image: SentinelClip.select("B2", "B3", "B4", "B8"),
  description: '2020_huallaga_TOA_08',
  scale: 10,

  region: geometry});
```

- Descarga de imágenes del año 2019

```
//Definición de "geometry"
var table = ee.FeatureCollection("users/OEFA_DSAP_HUALLAGA"),
  geometry =
  /* color: #d63000 */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
    {
      "type": "rectangle"
    }
  ] */
```

**ee.Geometry.Polygon**(

```
[[[-75.95640197880452, -6.1146751285926895],  
  [-75.95640197880452, -6.345390500068539],  
  [-75.69684997685138, -6.345390500068539],  
  [-75.69684997685138, -6.1146751285926895]], null, false);
```

//Imagen para SENTINEL 2A

```
var IMGSentinel= ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')  
  .filterBounds (geometry)  
  .filterDate ('2019-09-01','2019-09-30')  
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 30);  
var SentinelFiltro = ee.Image(IMGSentinel.median());  
var SentinelClip = SentinelFiltro.clip (geometry);
```

//Imprimimos la lista de imágenes disponibles en la pestaña de Console

```
print (SentinelFiltro);
```

//Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores y asignando un nombre de etiqueta en la vista

```
Map.addLayer (SentinelClip, {  
  max: 5000.0,  
  min: 0.0,  
  gamma: 1.2,  
  bands: ['B4','B3','B2'],  
  'Capa Sentinel');
```

// exportar

```
Export.image.toDrive({  
  image: SentinelClip.select("B2", "B3", "B4", "B8"),  
  description: '2019_huallaga_TOA_09',  
  scale: 10,  
  region: geometry});
```

- Descarga de imágenes del año 2018

//Definición de "geometry"

```
var table = ee.FeatureCollection("users/OEFA_DSAP_HUALLAGA"),  
  geometry =  
  /* color: #d63000 */  
  /* shown: false */  
  /* displayProperties: [  
    {  
      "type": "rectangle"  
    }  
  ] */  
  ee.Geometry.Polygon(  
    [[[-75.95640197880452, -6.1146751285926895],  
      [-75.95640197880452, -6.345390500068539],  
      [-75.69684997685138, -6.345390500068539],  
      [-75.69684997685138, -6.1146751285926895]], null, false);
```



```
//Imagen para SENTINEL 2A
var IMGSentinel= ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterBounds (geometry)
  .filterDate ('2018-07-01','2018-07-30')
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 30);
var SentinelFiltro = ee.Image(IMGSentinel.median());
var SentinelClip = SentinelFiltro.clip (geometry);

//Imprimimos la lista de imágenes disponibles en la pestaña de Console
print (SentinelFiltro);

//Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores y asignando un nombre de etiqueta
en la vista
Map.addLayer (SentinelClip, {
  max: 5000.0,
  min: 0.0,
  gamma: 1.2,
  bands: ['B4','B3','B2']],
  'Capa Sentinel');

// exportar
Export.image.toDrive({
  image: SentinelClip.select("B2", "B3", "B4", "B8"),
  description: '2018_huallaga_TOA_07',
  scale: 10,
  region: geometry});
```

- Descarga de imágenes del año 2017

```
//Definición de "geometry"
var table = ee.FeatureCollection("users/OEFA_DSAP_HUALLAGA"),
  geometry =
  /* color: #d63000 */
  /* shown: false */
  /* displayProperties: [
  {
    "type": "rectangle"
  }
  ] */
  ee.Geometry.Polygon(
    [[[-75.95640197880452, -6.1146751285926895],
      [-75.95640197880452, -6.345390500068539],
      [-75.69684997685138, -6.345390500068539],
      [-75.69684997685138, -6.1146751285926895]]], null, false);

//Imagen para SENTINEL 2A
var IMGSentinel= ee.ImageCollection ('COPERNICUS/S2')
  .filterBounds (geometry)
  .filterDate ('2017-07-01','2017-07-30')
  .filterMetadata ('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 30);
var SentinelFiltro = ee.Image(IMGSentinel.median());
```



```
var SentinelClip = SentinelFiltro.clip (geometry);

//Imprimimos la lista de imágenes disponibles en la pestaña de Console
print (SentinelFiltro);

//Añadimos la imagen a la vista haciendo una composición de colores y asignando un nombre de etiqueta
en la vista
Map.addLayer (SentinelClip, {
  max: 5000.0,
  min: 0.0,
  gamma: 1.2,
  bands: ['B4','B3','B2']],
  'Capa Sentinel');

// exportar
Export.image.toDrive({
  image: SentinelClip.select("B2", "B3", "B4", "B8"),
  description: '2017_huallaga_TOA_07',
  scale: 10,
  region: geometry});
```

Las imágenes fueron seleccionadas teniendo en consideración dos (2) criterios: El primer criterio fue la fecha en la se tomó la imagen (mayor prioridad la más reciente); y que la imagen satelital tenga el menor porcentaje de cobertura de nubes sobre el área de interés.

5.3.1. Clasificación del año 2021

a. Generación del árbol de procesos

El árbol de procesos se generó a través del empleo del *software eCognition Developer 10.1 Trial*², mediante la siguiente secuencia de procesos:

- Segmentación; configurando el algoritmo de *Multiresolution Segmentation* en el cual se asignó los parámetros de tamaño, escala, forma y peso.
- Importación de muestras; configurando el *Assing Class Thematic Layer* cuya función fue asignar clases al proyecto y *Classified Objects Samples* para vincular las muestras con los segmentos. Las muestras se crearon previamente mediante el *software Arcgis*³.
- Clasificación con los algoritmos de *Classifier* utilizando el método de *Random Forest*.

² Programa especializado para la clasificación de objetos.

³ Programa especializado en geoprocесamientos

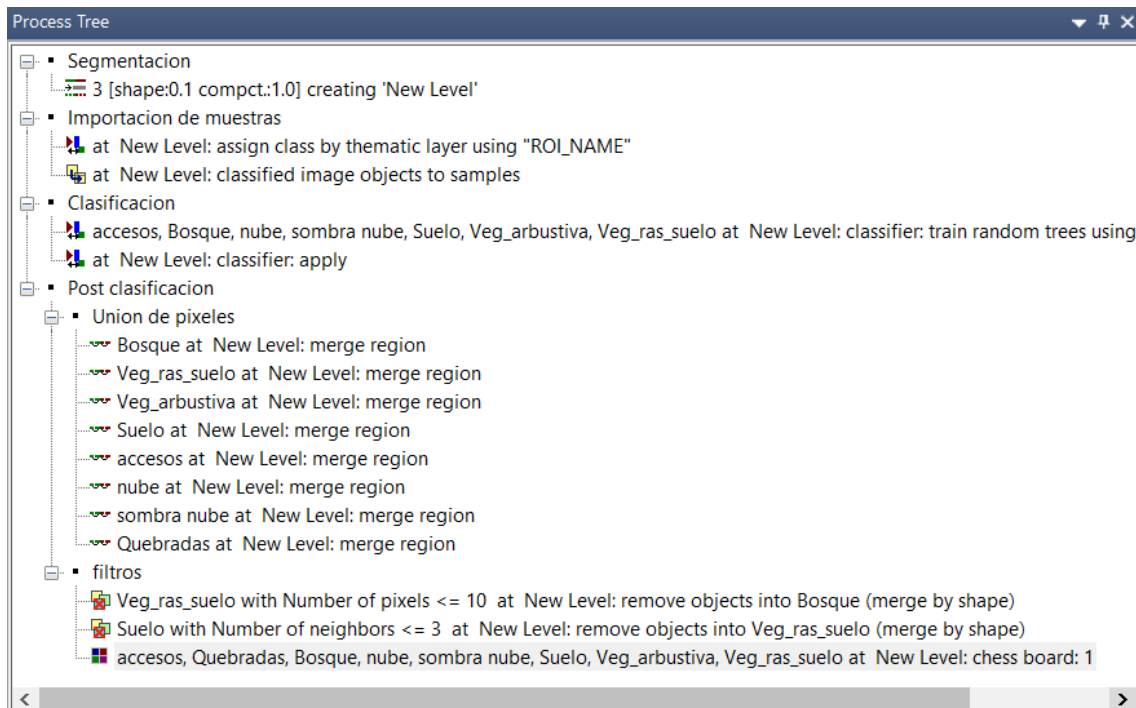


Figura 5.1. Regla de procesos para la Clasificación de coberturas en el software *eCognition Developer 10.1 Trial*, se seleccionaron las métricas utilizadas en las segmentaciones (SAVI, NDVI y ratios), como apoyo para la clasificación.

Índice de vegetación diferenciada normalizada

Conocido como NDVI por sus siglas en inglés (*Normalized difference vegetation index*). Es un indicador de la salud de la vegetación. Esto quiere decir que la degradación o disminución de vigorosidad en el ecosistema refleja un valor bajo en el NDVI.

Se calcula a partir de mediciones de reflectancia de la siguiente manera:

$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

Dónde:

NDVI = Índice Normalizado de Vegetación

NIR = Infrarrojo cercano.

RED = Rojo

Índice de vegetación ajustado al suelo

Conocido como SAVI por sus siglas en inglés (*Soil Adjusted Vegetation Index*). Es el índice de vegetación que se ajusta al suelo, en comparación al NDVI, ajusta la reflectancia del suelo.

Se calcula a partir de mediciones de reflectancia de la siguiente manera:

$$SAVI = ((NIR-RED) / (NIR+RED+L))*(1+L)$$

Dónde:

SAVI = Índice de Vegetación Ajustado del Suelo

NIR = Infrarrojo cercano.

RED = Rojo



L= factor encargado de amortiguar la presencia del suelo

Ratios

Son expresiones algebraicas que son de apoyo en la interpretación de la clasificación.

Asimismo, se consideró la selección de las bandas *RED* y *NIR* como parte de los insumos para la clasificación, ya que con estas bandas se pueden diferenciar las especies vegetales, delimitar cuerpos de agua, y suelos.

b. Segmentación de imágenes

La selección de objetos, se realizó agrupando información relevante, se eliminó el efecto de píxeles aislados. El software *eCognition Developer 10.1 Trial* calcula las características de cada segmento, tales como:

1. Desviación estándar y mediana.
2. Textura (muchos tipos).
3. Extensión (por ejemplo: área, longitud, ancho, etc.).
4. Forma (por ejemplo: redondo, asimétrico, compacto, etc.).
5. Relaciones con los segmentos vecinos (diferencia media con los vecinos).

El proceso de segmentación se configuró utilizando el algoritmo *Multiresolution Segmentation* bajo los siguientes criterios:

- Pesos de las bandas de la imagen; el cual ajusta la cantidad de influencia que tiene cada banda de la imagen en la segmentación. Para ello se utilizaron las bandas *RED* y *NIR*, colocándole los valores de 1, y a las demás bandas el valor nulo (0).
- Parámetro de Escala; el cual determina el tamaño del segmento basándose en una medida de varianza (espectral y de forma). Estos segmentos crecen hasta alcanzar el umbral de varianza del parámetro de escala.
- Parámetro de Forma; el cual modifica el tipo de varianza determinada en la escala, el umbral varía de 0 a 0,9 donde:
 - 0 = La varianza es estrictamente espectral
 - 0,9 = La varianza hace referencia principalmente a la forma
- Parámetro de Compactibilidad; el cual modifica el parámetro de Forma (varianza de forma), variando el umbral de 0 a 1. A medida que se aumenta el umbral de forma la compactibilidad también aumenta.

Para realizar la segmentación se configuraron los siguientes parámetros: *Escale Parameter* = 5, *Shape* = 0,1 y *Compactness* = 1 (Figura 5.2).

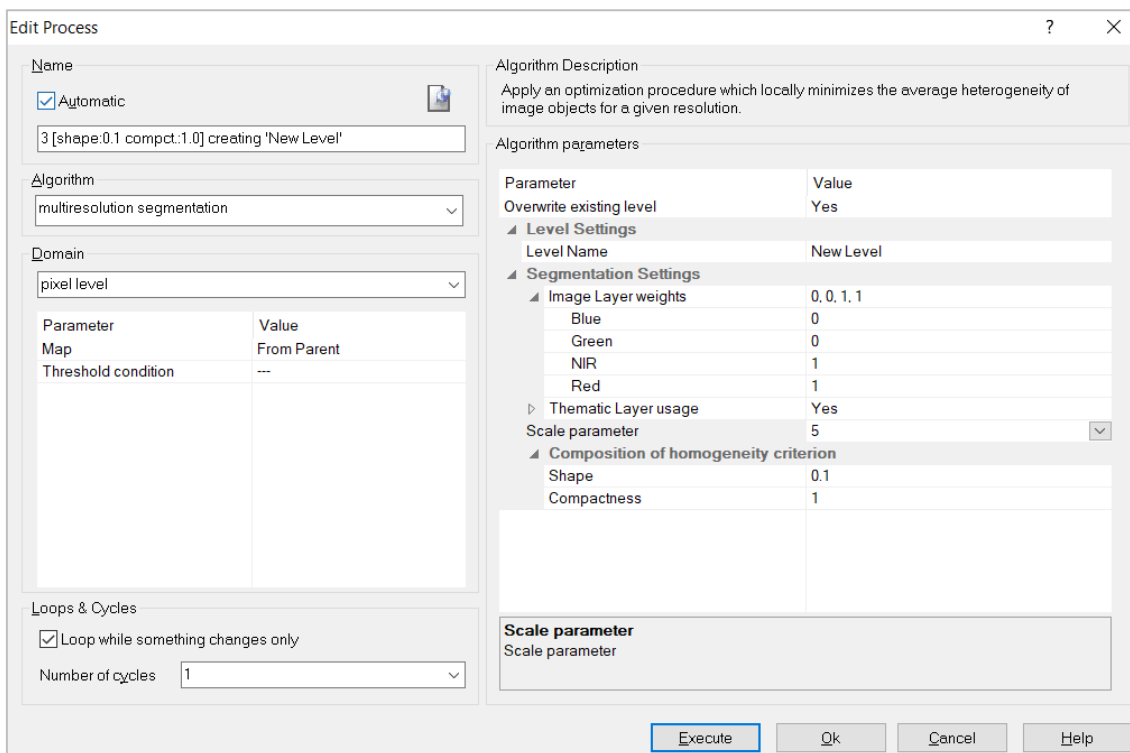


Figura 5.2. Resultado de la configuración de parámetros para la segmentación en *eCognition Developer 10.1 Trial*.

c. Selección de muestras de entrenamiento

La segmentación generó una preclasificación de clases de cobertura, la cual se afinó en base a información secundaria brindada por el administrado Palmas del Huallaga SAC y con apoyo de la fotointerpretación de las imágenes satelitales. En base a todo ello se definieron seis (6) clases de cobertura: Accesos (suelo seco), suelo húmedo (áreas de desbrozadas para cultivos), Vegetación al ras del suelo, vegetación arbustiva, nubes y bosque húmedo. Cabe precisar que los cuerpos de agua, fueron clasificados mediante interpretación visual, por ende, no cuenta con firma espectral ni muestras de entrenamiento.

Con el *software* Envi 5.3⁴ se verificó que las muestras seleccionadas cuentan con la firma espectral característica de cada clase de cobertura, como se detalla en la Figura 5.3. Luego se procedió con la importación del archivo *Shapefile* de las muestras de entrenamiento al inicio de la configuración de las reglas de proceso (Figura 5.1).

4

Programa especializado para el tratamiento digital de imágenes satelitales.



Firma Espectral

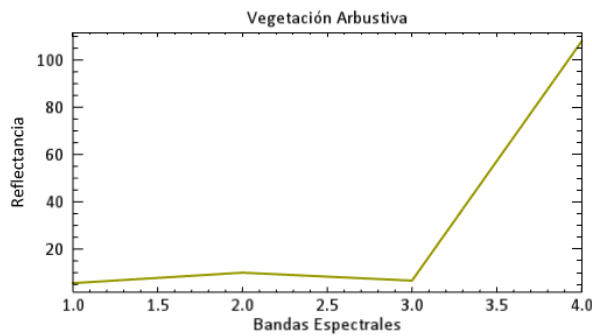
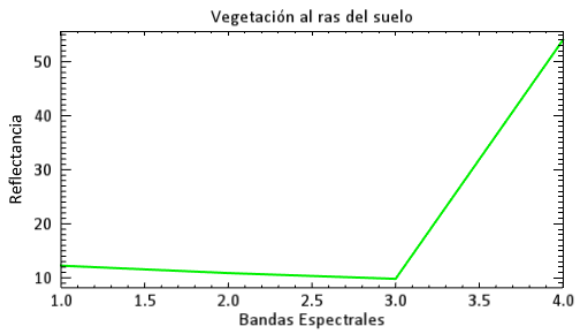
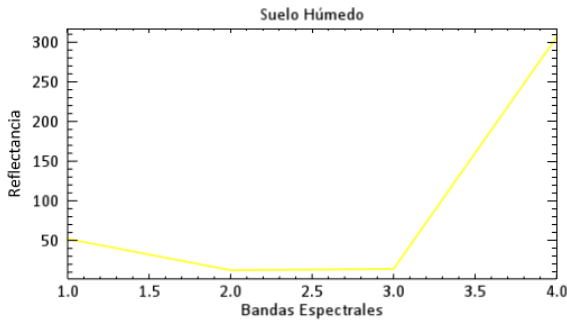
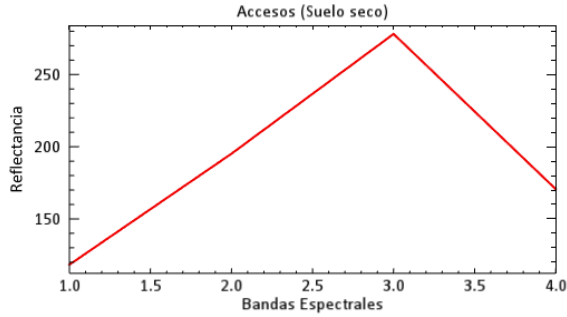
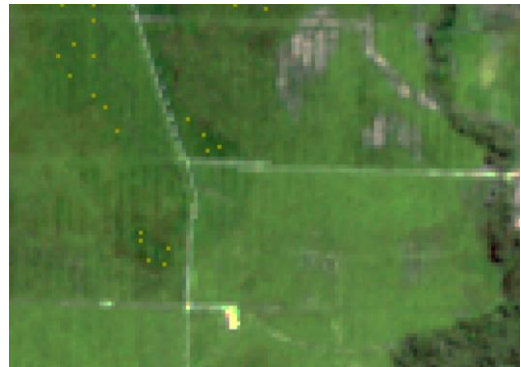
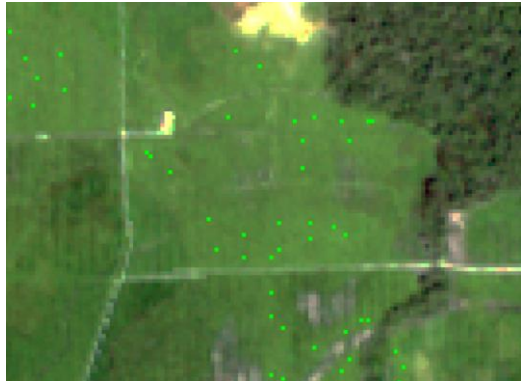
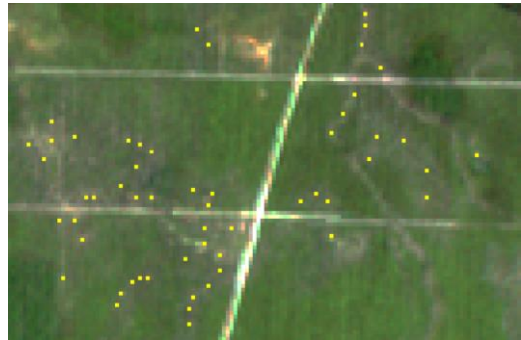
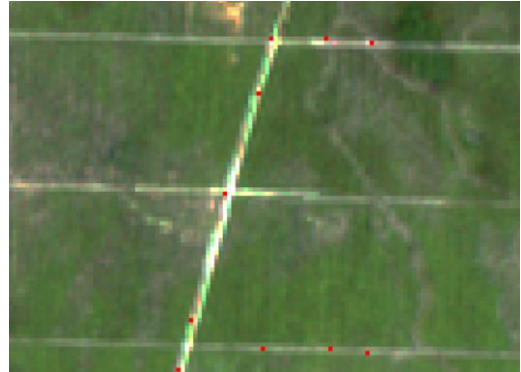


Imagen de referencia





Firma Espectral

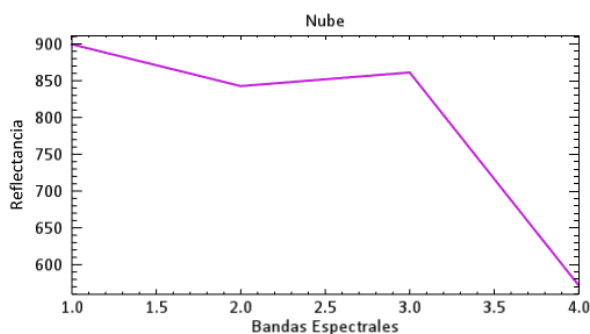
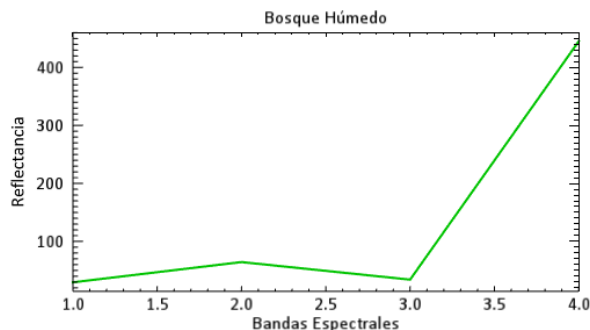


Imagen de referencia

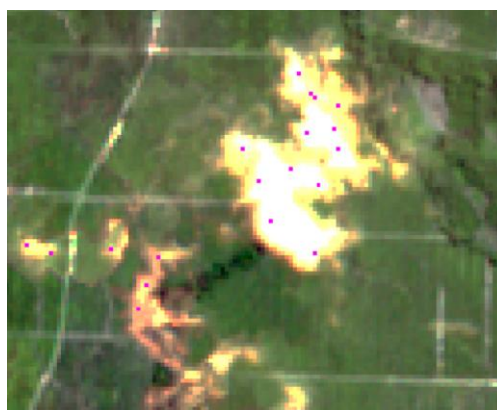


Figura 5.3. Firmas espectrales de las clases identificadas

d. Clasificación

En el *Árbol de Procesos*⁵ se configuraron los parámetros del algoritmo de clasificación que permitieron interactuar con las muestras de entrenamiento. Se introdujeron los índices y ratios, así como las medianas de las bandas *RED* y *NIR* con la finalidad de aportar en la discriminación de las coberturas y obtener mejores resultados en la clasificación.

i. Creación de clases:

En el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se creó un proceso y se configuró el algoritmo *Assign Class by Thematic Layer*, el cual permite relacionar los atributos de las muestras de entrenamiento y crear las clases (jerarquía de las clases), ver Figura 5.4.

⁵ Es la ventana creada por *eCognition Developer 10.1 Trial* donde se escriben conjuntos de reglas en base a funciones. Los conjuntos de reglas son una combinación de procesos individuales, que se muestran en el árbol de procesos y se crean mediante el cuadro de diálogo.

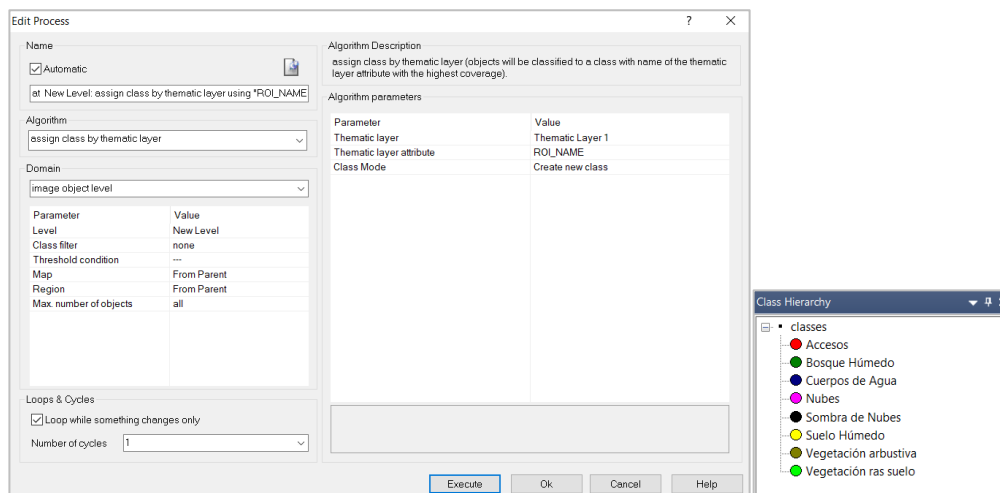


Figura 5.4. Relación de atributos y creación de clases

ii. Asignación de clases a los segmentos:

Posteriormente en el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se configuró el algoritmo *Classified Image Objects to Samples*, el cual convierte las muestras de entrenamiento de puntos a segmentos, relacionando los atributos y asignándole las clases, generando finalmente las muestras a nivel de segmento.

iii. Clasificación mediante la aplicación del algoritmo *Random Forest*

Para la clasificación de imágenes se utilizó el algoritmo *Random Forest* el cual es un clasificador que produce múltiples árboles de decisiones. Estos árboles se crean en base a la selección aleatoria de un subconjunto de muestras y variables de entrenamiento mediante un enfoque de *bagging*. Esto quiere decir que la misma muestra puede ser seleccionada en los subconjuntos varias veces, mientras que otras pueden no ser seleccionada en lo absoluto. Se emplea alrededor de dos tercios de las muestras para entrenar a los árboles y el tercio restante se emplean en una técnica de validación cruzada para estimar que tan bien funciona el modelo de *random forest*. La clasificación final se da en base al promedio de las probabilidades de la asignación de clases calculadas por todos los árboles producidos. Cada árbol de decisión vota por una etiqueta de clase. La etiqueta con el máximo de votos será la que se seleccione finalmente (*Belgiu & Drăgu, 2016; Breiman, 2001*).

En el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se configuró el algoritmo *Classifier* usando como clasificador el *Random Trees*. Se seleccionaron las muestras de entrenamiento, así como los valores de las medianas de las bandas de la imagen (Red y Nir) y de los índices generados (SAVI, NDVI y ratios) que influyen en la clasificación, tal como muestra la Figura 5.5.

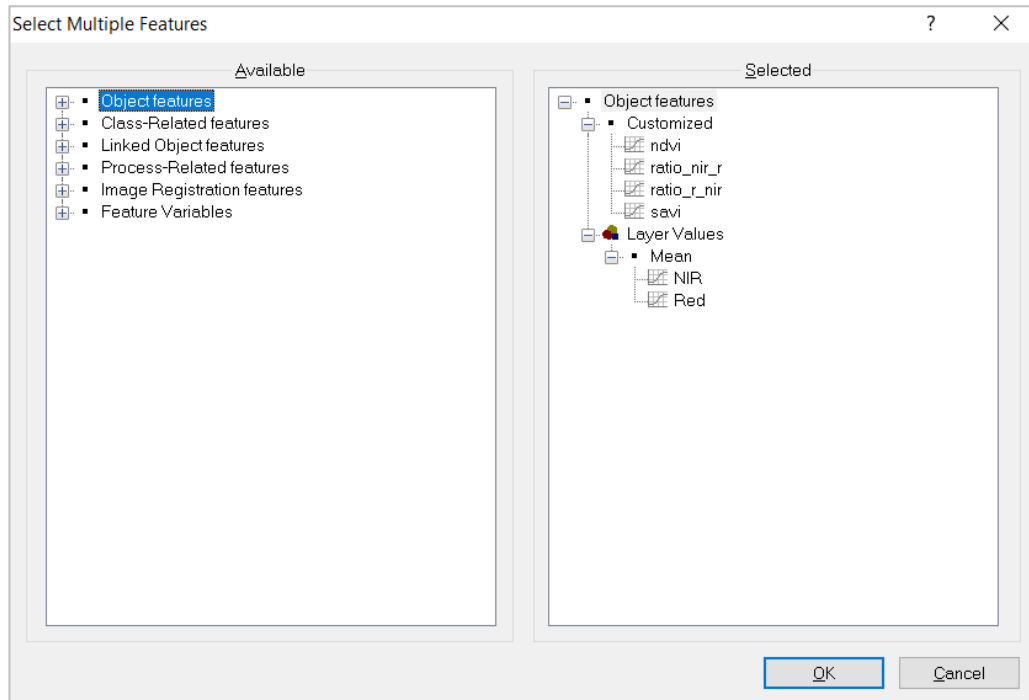


Figura 5.5. Ventana de Select Múltiple Feature, permite agregar parámetros e índices a la clasificación

Como clasificador, se escogió el algoritmo *Random Forest* indicando que el número de iteraciones sea 500, tal como muestra la Figura 5.6.

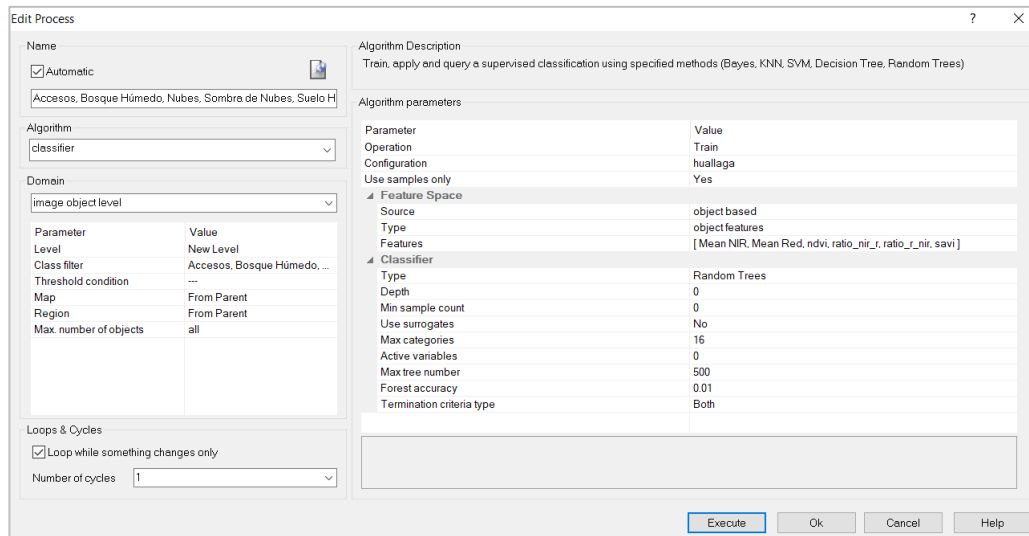


Figura 5.6. Configuración del clasificador del algoritmo *Random Forest*

Se configuró un nuevo algoritmo *Classifier* indicando que la operación deberá aplicarse, tal como muestra la Figura 5.7.

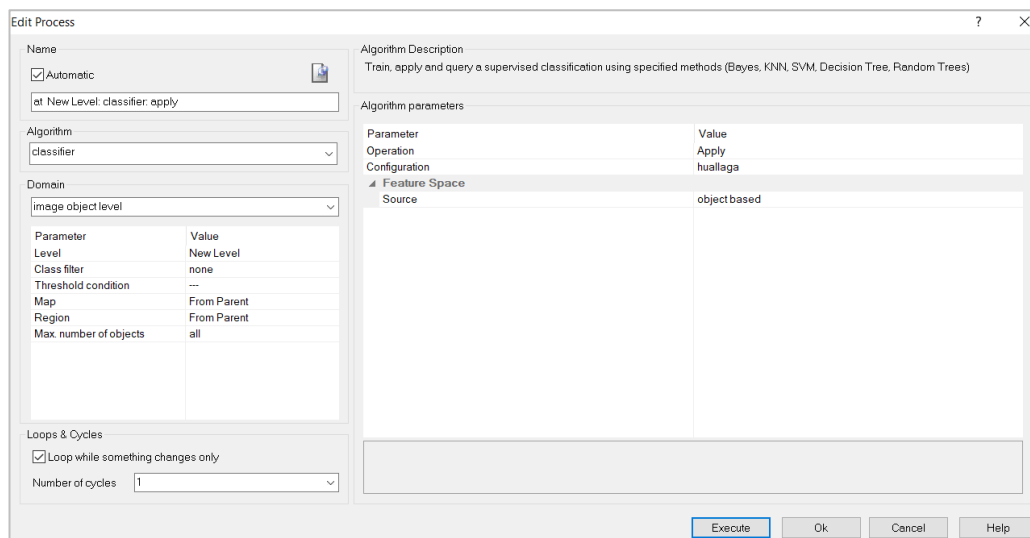


Figura 5.7. Configuración de la aplicación del algoritmo Classifier

5.3.2. Pos-Clasificación

a. Ajuste de los resultados de la clasificación de coberturas

Sobre los resultados de la clasificación de coberturas se realizó un ajuste manual en las zonas que presentaron imperfecciones propias del procesamiento por clasificaciones erróneas. Este pos-procesamiento se realizó mediante la técnica de la foteinterpretación. Para ello se utilizó el *software eCognition Developer 10.1 Trial* y se realizaron los siguientes pasos:

- Selección de la clasificación y la clase a ajustar.
- Selección automática de polígonos de píxeles menores a 5 con la herramienta *Manual Editing Tool*.
- Traslado de polígonos seleccionados a la nueva clase con la herramienta *classify image objects*.

b. Conversión de datos en información

Para la conversión de datos en información se emplearon herramientas de geoprocésamiento del *software ArcGIS*, se realizaron los siguientes pasos:

- Vectorización del ráster de clases de cobertura mediante la aplicación de la herramienta *raster to polygon*.
- Cálculo de áreas (en hectáreas) mediante la aplicación de la herramienta *calculate geometry*.

5.3.3. Cálculo del error de clasificación del año 2021

Para el cálculo del error de la clasificación obtenida, se utilizó la matriz de confusión, de acuerdo con Comber *et al* (2012) y Ariza *et al* (2018), la matriz de confusión se aplica como un estándar para informar sobre la exactitud y la calidad temática de cualquier producto derivado de la teledetección. En esta matriz se contabiliza el grado de semejanza entre: un conjunto de datos bajo control y un conjunto de datos de referencia. Este último corresponde a los datos de muestreo que se han seleccionado previamente, los cuales representan la realidad del terreno. El grado de certeza se verá reflejado en las celdas de la diagonal la cual contiene las cantidades correspondientes a los ítems bien clasificados, es decir donde



hay una coincidencia; mientras que las cantidades fuera de esta diagonal representan los errores o la no coincidencia.

A partir de la matriz de confusión se deducen índices relativos a la exactitud de la clasificación, a través del software *Envi 5.3* se analizó el comportamiento y exactitud de dicha clasificación. Los resultados de la matriz se exponen en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Matriz de confusión

CLASES	Bosque Húmedo	Vegetación al ras del suelo	Vegetación Arbustiva	Suelo Húmedo	Accesos (Suelo seco)	Nube	Total
Bosque Húmedo	89	2	0	0	0	0	91
Vegetación al ras del suelo	0	283	16	57	2	0	358
Vegetación Arbustiva	0	11	126	5	0	0	142
Suelo Húmedo	0	3	0	232	6	6	247
Accesos (Suelo seco)	0	0	0	0	57	0	57
Nube	0	0	0	0	0	38	38
Total	89	299	142	294	65	44	933

Hay dos versiones de resultados equivalentes en la matriz; la primera, cuyas entradas se expresan en píxeles y la segunda en que se expresan como porcentajes. Los elementos en negro de la diagonal indican los píxeles que fueron correctamente clasificados. Todos los elementos fuera de la diagonal indican errores de omisión o de comisión. Los errores de omisión corresponden a los elementos no diagonales de las columnas. Los errores de comisión corresponden a los elementos no diagonales de las filas.

A partir de la matriz de confusión se calculó la exactitud global, dividiendo el número total de píxeles correctamente clasificados por el número total de píxeles de referencia y expresándolo como porcentaje. En el presente estudio se obtuvo:

$$\text{Exactitud global} = (825/933) * 100 = 88,42 \%$$

Cabe precisar que este índice es global y no nos indica cómo la exactitud se reparte entre las diversas categorías individuales.

Luego de calcular la matriz de confusión se usó el coeficiente de kappa (K) para definir la exactitud, según Congalton (1991), este coeficiente sirve también para medir la exactitud de un mapa, pero de forma más precisa que la matriz de confusión puesto que mide la diferencia entre la exactitud lograda en la clasificación con un clasificador automático y la chance de lograr una clasificación correcta con un clasificador aleatorio. Asimismo, incluye dentro del cálculo todos los valores de la matriz y no solamente sus extremos.

El coeficiente kappa se define como:

$$K = (\text{exactitud observada} - \text{chance de acierto}) / (1 - \text{chance de acierto})$$

Mediante la siguiente fórmula computarizada:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r (x_{ii}) - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}$$

Donde;



r = Número de filas en la matriz

x_{ii} = Número de observaciones en el elemento de la fila i y la columna i (es decir sobre la diagonal mayor)

x_{i+} = Total de observaciones en la fila i (es el total marginal a la derecha de la matriz)

x_{+i} = Total de observaciones en la columna i (es el total marginal al pie de la matriz)

N = Número total de observaciones incluidas en la matriz

El valor de K varía usualmente entre 0 y 1. En el presente estudio, el coeficiente kappa resultó 0,8467.

5.4. Detección del cambio y clasificación de coberturas del año 2017-2018-2019 y 2020

5.4.1 Detección de cambios

a. Generación del árbol de procesos

Para la generación del árbol de procesos se empleó el *software eCognition Developer 10.1 Trial*⁶, siendo necesario generar una secuencia de procesos que contenga lo siguiente:

- Segmentación; configurando el algoritmo de *Multiresolution Segmentation* en el cual se asignan los parámetros de tamaño, escala, forma y peso.
- Detección de Cambios, configurando el algoritmo de *assing class* y definiendo los valores de los parámetros del NDVI para detectar los cambios ocurridos.
- Importación de muestras; configurando el *Assing Class Thematic Layer* cuya función es asignar clases al proyecto y *Classified Objects Samples* para vincular las muestras con los segmentos. Las muestras han sido creadas previamente mediante el *software Arcgis*⁷.
- Clasificación usando los algoritmos de; *assing class thematic layer* cuya función es asignar clases al proyecto, *classified objects samples* que permite relacionar las clases de las muestras con los segmentos de detección de cambios y, el algoritmo *classifier* usando el método de Random Forest.

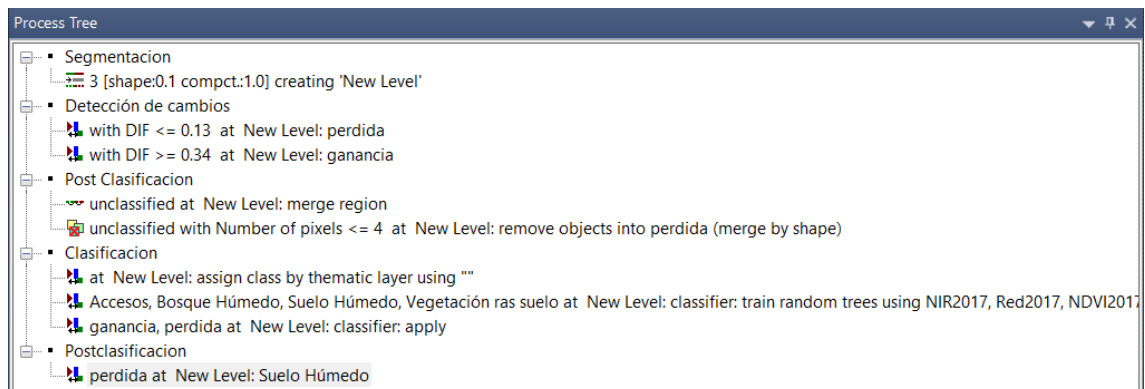


Figura 5.8. Regla de procesos para la detección y clasificación de coberturas en *eCognition Developer 10.1 Trial*.

⁶ Programa especializado para la clasificación de objetos.

⁷ Programa especializado en geoprocesamientos



b. Segmentación de imágenes

Para la detección de las áreas de cambio del Año 1 (base) al Año 2 (cambio) mediante una selección de objetos, fue necesario realizar una sola segmentación (algoritmo *Multiresolution Segmentation*) y que esta sea capaz de detectar todos los cambios ocurridos en este periodo. Para ello se realizaron pruebas donde se concluyó que las bandas red y nir (insumos para el NDVI) de cada año ayudan a una discriminación más exacta frente a las otras bandas de la imagen.

El proceso de segmentación se configuró utilizando los siguientes criterios:

- Los pesos correspondientes a la banda *RED* y *NIR* de ambos años tengan valores a uno (1), y a las demás bandas dejar con valor nulo (cero), dada la importancia de las bandas para segmentar dos imágenes de diferente año.
- Parámetro de Escala; el cual determina el tamaño del segmento basándose en una medida de varianza (espectral y de forma). Estos segmentos crecen hasta alcanzar el umbral de varianza del parámetro de escala.
- Parámetro de Forma; el cual modifica el tipo de varianza determinada en la escala, el cual el umbral varía de 0 a 0,9 donde:
 - 0 = La varianza es estrictamente espectral
 - 0,9 = La varianza hace referencia principalmente a la forma
- Parámetro de Compactibilidad; el cual modifica el parámetro de Forma (varianza de forma), variando el umbral de 0 a 1. A medida que se aumenta el umbral de forma la compactibilidad también aumenta.

Para realizar la segmentación se configuraron los siguientes parámetros: *Escale Parameter* = 3, *Shape* = 0,1 y *Compactness* = 1 (Figura 5.9).

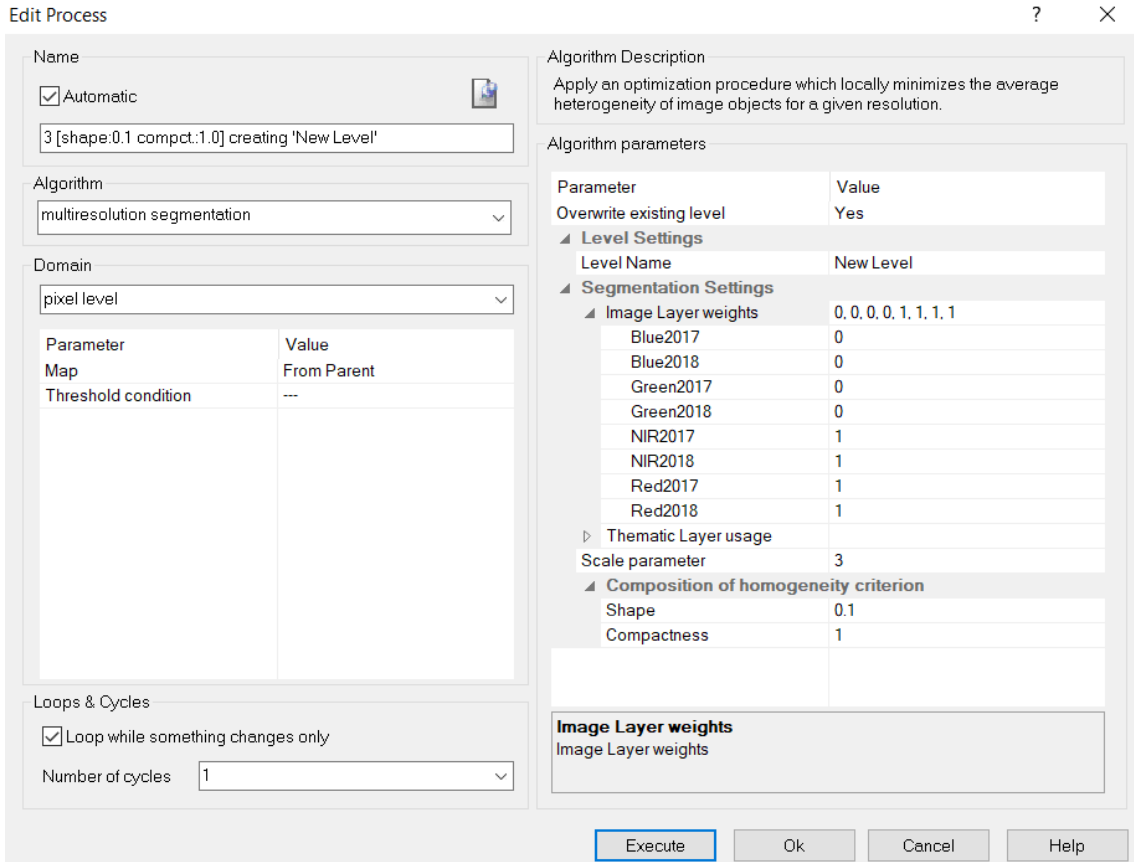


Figura 5.9. Resultado de la configuración de parámetros para la segmentación en eCognition Developer 10.1 Trial.

c. Generación del Índice de Vegetación Normalizada (NDVI)

Para el proceso de detección de cambios es de suma importancia contar con los NDVI de cada año, y con este resultado se hizo un proceso matemático simple, que es una diferencia de ambos NDVI (Año 1-Año 2), lo que nos generó los cambios producidos en una determinada superficie de la tierra.

Esta diferencia de NDVIs, permitió reconocer donde hubo pérdida de cobertura boscosa, así como también cambios suscitados entre clase y clase.

En el software eCognition Developer 10.1 Trial, se comprobó “visualmente” los cambios suscitados en una determinada superficie realizando la siguiente combinación de bandas: R: Infrarroja cercana 2011, G: Infrarroja cercana 2013, B: Infrarroja cercana año 1.

Al hacer esta combinación, se observó dos tonalidades fuertemente marcadas: el color magenta, representa los cambios y/o pérdidas dentro una superficie cualquiera, por otro lado el color verdoso, indica que se está produciendo algún tipo de revegetación de una zona que ha sido intervenido en el año 1, a lo que uno puede interpretar como una ganancia de la cobertura vegetal.



d. Detección de Cambios de Usos en base a Umbrales del NDVI

Se utilizó el algoritmo *assign class* configurando los umbrales que cubren todos los sectores de pérdida y/o ganancia de la imagen. Todos los objetos que no están dentro de este rango son discriminados para el análisis de detección de cambio.

Se definió que el umbral más adecuado para la pérdida son todos aquellos valores menores a 0.13, y aquellos valores que representan la ganancia son mayores a 0.34.

5.4.2 Clasificación de la detección

a. Selección de muestras de entrenamiento

La segmentación y detección del cambio generaron muestras de entrenamiento (puntos) con sus respectivos atributos (nombre de clases) con apoyo de la fotointerpretación de las imágenes satelitales. Se definieron clases de cobertura por cada periodo de años analizados considerando el mismo criterio de selección de muestras mencionado en el ítem 5.1.2. Sección c.

b. Clasificación

Esta clasificación se realizó para el año de cambio, para lo cual en el *Árbol de Procesos*⁸ se configuraron los parámetros del algoritmo de clasificación que permitieron interactuar con las muestras de entrenamiento. Se introdujeron los índices y ratios, así como las medianas de las bandas RED y NIR con la finalidad de aportar en la discriminación de las coberturas y obtener mejores resultados en la clasificación.

i. Creación de clases:

En el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se generó un proceso y se configuró el algoritmo *Assign Class by Thematic Layer*, el cual permitió relacionar los atributos de las muestras de entrenamiento y crear las clases (jerarquía de las clases), ver Figura 5.10.

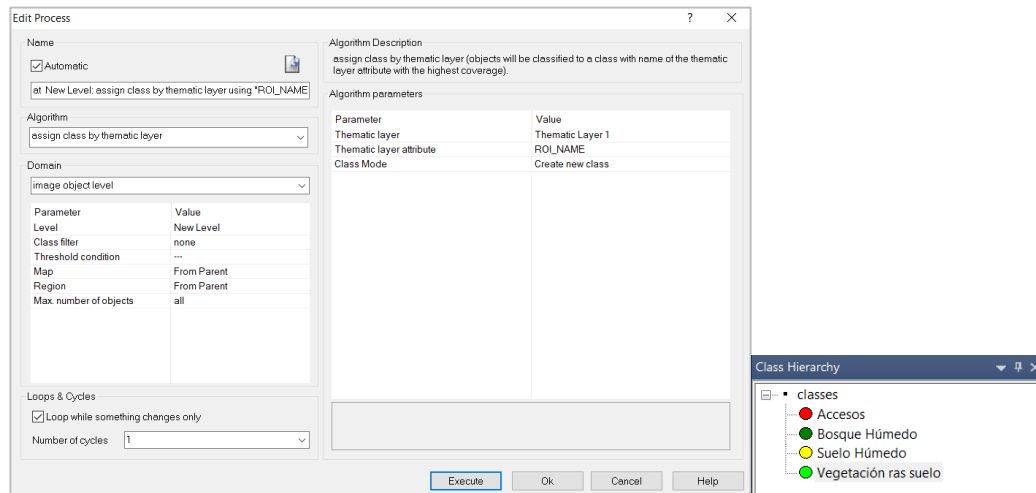


Figura 5.10. Relación de atributos y creación de clases

⁸ Es la ventana creada por *eCognition Developer 10.1 Trial* donde se escriben conjuntos de reglas en base a funciones. Los conjuntos de reglas son una combinación de procesos individuales, que se muestran en el árbol de procesos y se crean mediante el cuadro de diálogo.



ii. Asignación de clases a los segmentos:

Posteriormente en el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se configuró el algoritmo *Classified Image Objects to Samples*, el cual convirtió las muestras de entrenamiento de puntos a segmentos, relacionando los atributos y asignándole las clases, generando finalmente las muestras a nivel de segmento.

iii. Clasificación usando el algoritmo *Random Forest*

Para la clasificación de imágenes se utilizó el algoritmo *Random Forest* el cual es un clasificador que produce múltiples árboles de decisiones. Estos árboles se crean en base a la selección aleatoria de un subconjunto de muestras y variables de entrenamiento mediante un enfoque de *bagging*. Esto quiere decir que la misma muestra puede ser seleccionada en los subconjuntos varias veces, mientras que otras pueden no ser seleccionada en lo absoluto. Se emplea alrededor de dos tercios de las muestras para entrenar a los árboles y el tercio restante se emplean en una técnica de validación cruzada para estimar que tan bien funciona el modelo de *random forest*. La clasificación final se da en base al promedio de las probabilidades de la asignación de clases calculadas por todos los árboles producidos. Cada árbol de decisión vota por una etiqueta de clase. La etiqueta con el máximo de votos será la que uno seleccione finalmente (*Belgiu & Drăgu, 2016; Breiman, 2001*).

En el software *eCognition Developer 10.1 Trial* se configuró el algoritmo *Classifier* usando como clasificador el *Random Trees*. Se seleccionaron las muestras de entrenamiento, así como los valores de las medianas de las bandas de la imagen (*RED* y *NIR*) y de los índices generados (*SAVI*, *NDVI* y ratios) que influyen en la clasificación, tal como muestra la Figura 5.11.

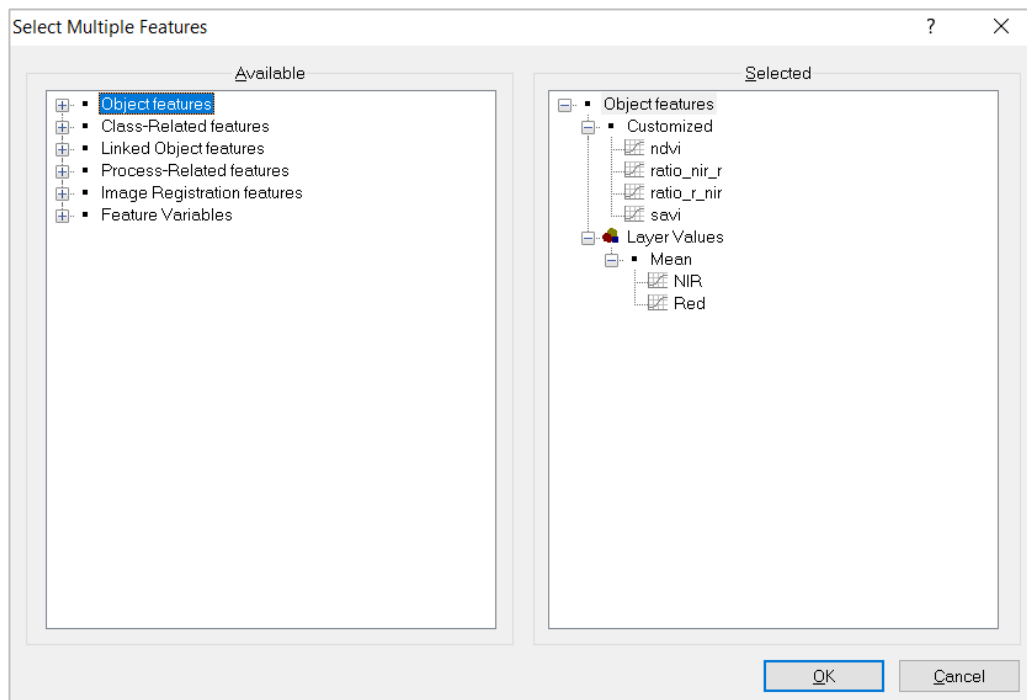


Figura 5.11. Ventana de Select Múltiple Feature, que permite agregar parámetros e índices a la clasificación



Se escogió como clasificador el algoritmo *Random Forest* indicando que el número de iteraciones sea 250. Asimismo, en la opción *Class filter* se seleccionaron las clases entrenadas tal como muestra la Figura 5.12.

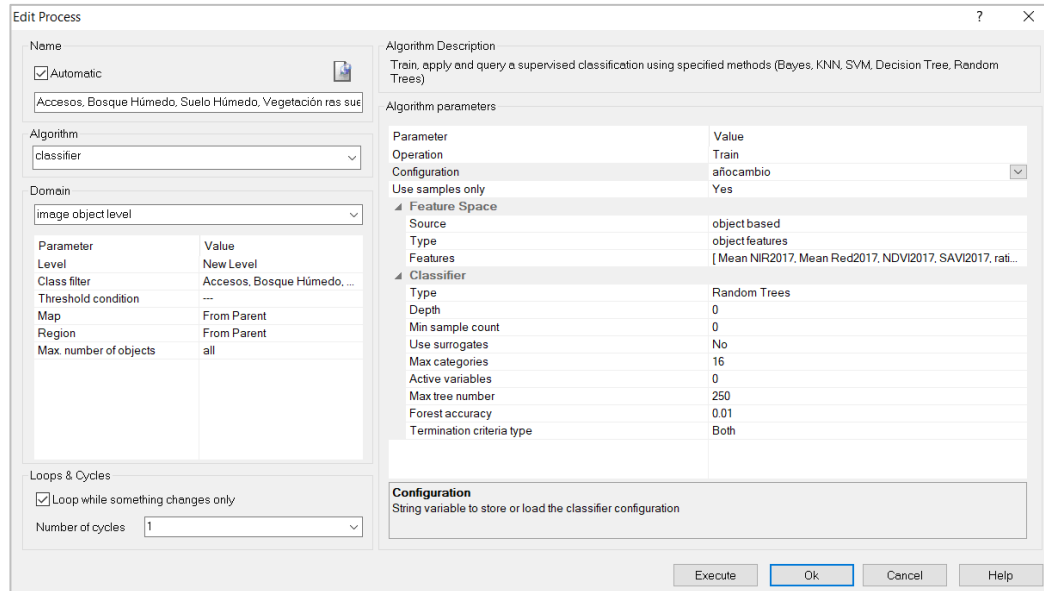


Figura 5.12. Configuración del clasificador del algoritmo *Random Forest*

Posteriormente se configuró un nuevo algoritmo *Classifier* indicando en la opción *Class filter* las áreas de detección de cambio para su clasificación, tal como muestra la Figura 5.13.

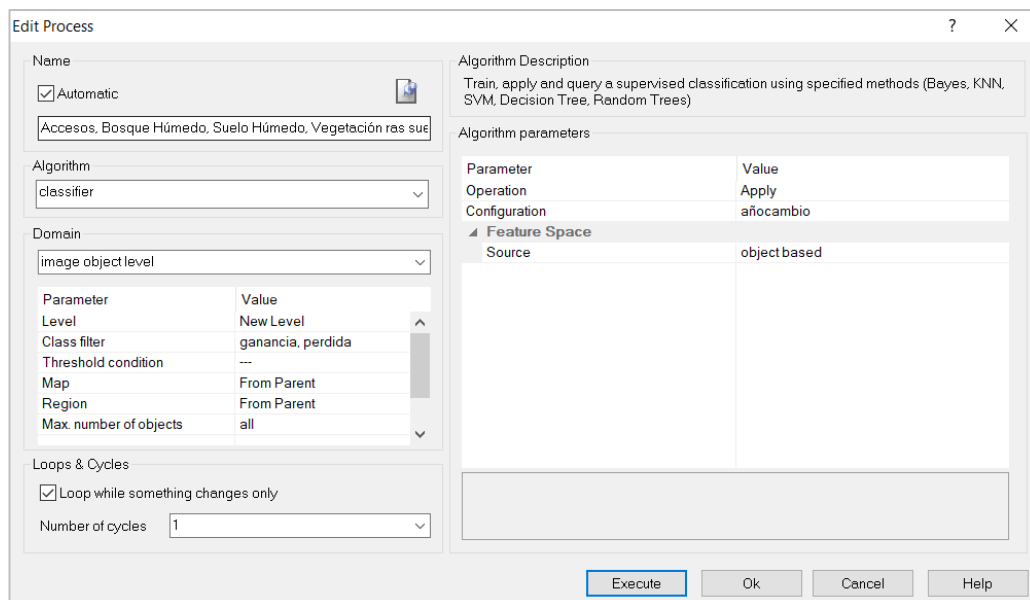


Figura 5.13. Configuración de la aplicación del algoritmo *Classifier*

5.4.3 Pos-Clasificación

a. Ajuste de los resultados de la clasificación de coberturas

Sobre los resultados de la clasificación de coberturas en las áreas de cambio se realizó un ajuste manual en las zonas que presentaron imperfecciones propias del procesamiento por clasificaciones erróneas. Este pos-procesamiento se apoyó en la técnica de la



fotointerpretación. Para ello se usó el *software eCognition Developer 10.1 Trial* y se realizaron los siguientes pasos:

- Selección de la clasificación y la clase a ajustar.
- Selección automática de polígonos de píxeles menores a 5 con la herramienta *Manual Editing Tool*.
- Traslado de polígonos seleccionados a la nueva clase con la herramienta *classify image objects*.

b. Conversión de datos en información

Para la conversión de datos en información se emplearon herramientas de geoprocetamiento del *software ArcGIS*, para lo que se realizaron los siguientes pasos:

- Vectorización del ráster de clases de cobertura mediante la herramienta *raster to polygon*.
- Cálculo de áreas (en hectáreas) mediante la herramienta *calculate geometry*

6. RESULTADOS

Como resultado del análisis realizado se tiene:

- a. Se identificaron clases de cobertura y se determinaron las extensiones dentro del área de estudio para los años 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021.
 - Para el año 2017 se identificaron cinco (5) clases de coberturas; Bosque húmedo con una extensión de 2183,23 ha, vegetación al ras del suelo con una extensión de 381,09 ha, vegetación arbustiva con una extensión de 14,55 ha, suelo húmedo con una extensión de 200,20 ha y accesos (suelo seco) con una extensión de 16,46 ha. Ver Figura 6.1 y 6.2.



Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

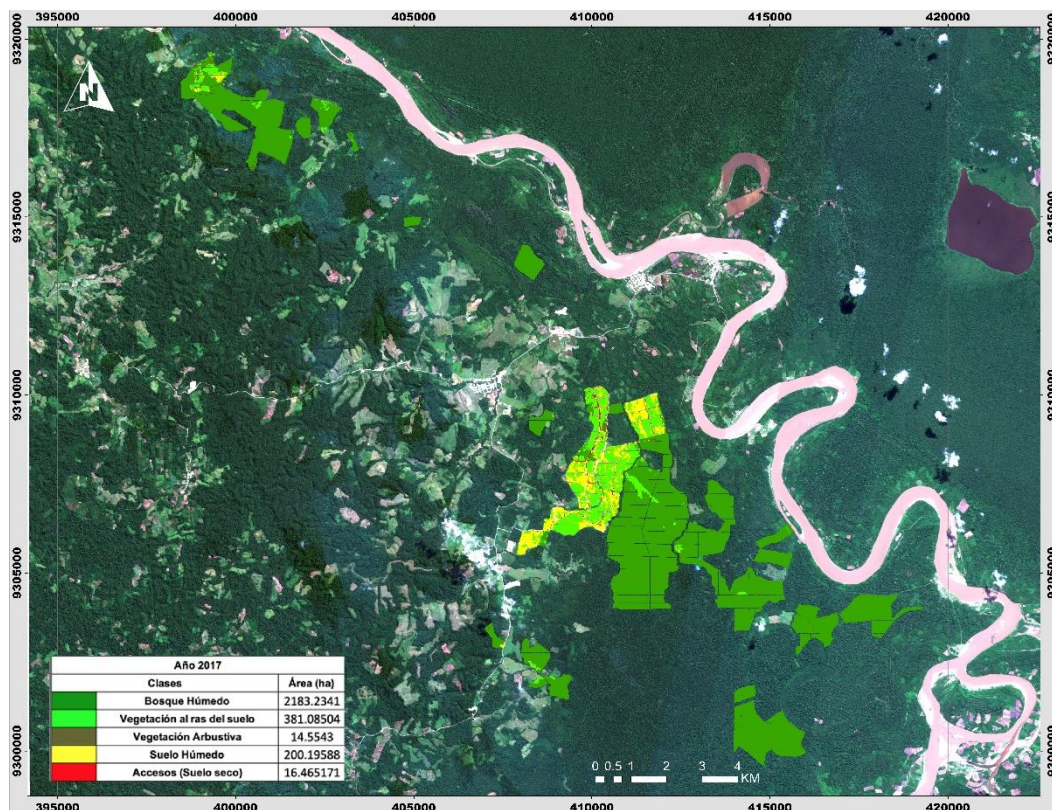


Figura 6.1. Clases de cobertura del año 2017 dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga



Figura 6.2. Extensión de cobertura para el año 2017

- Para el año 2018 se identificaron cinco (5) clases de coberturas; Bosque húmedo con una extensión de 1286,49 ha, vegetación al ras del suelo con una extensión de 792,75 ha, vegetación arbustiva con una extensión de 93,33 ha, suelo húmedo con una extensión de 591,14 ha y accesos (suelo seco) con una extensión de 31,80 ha. Ver Figura 6.3 y 6.4.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

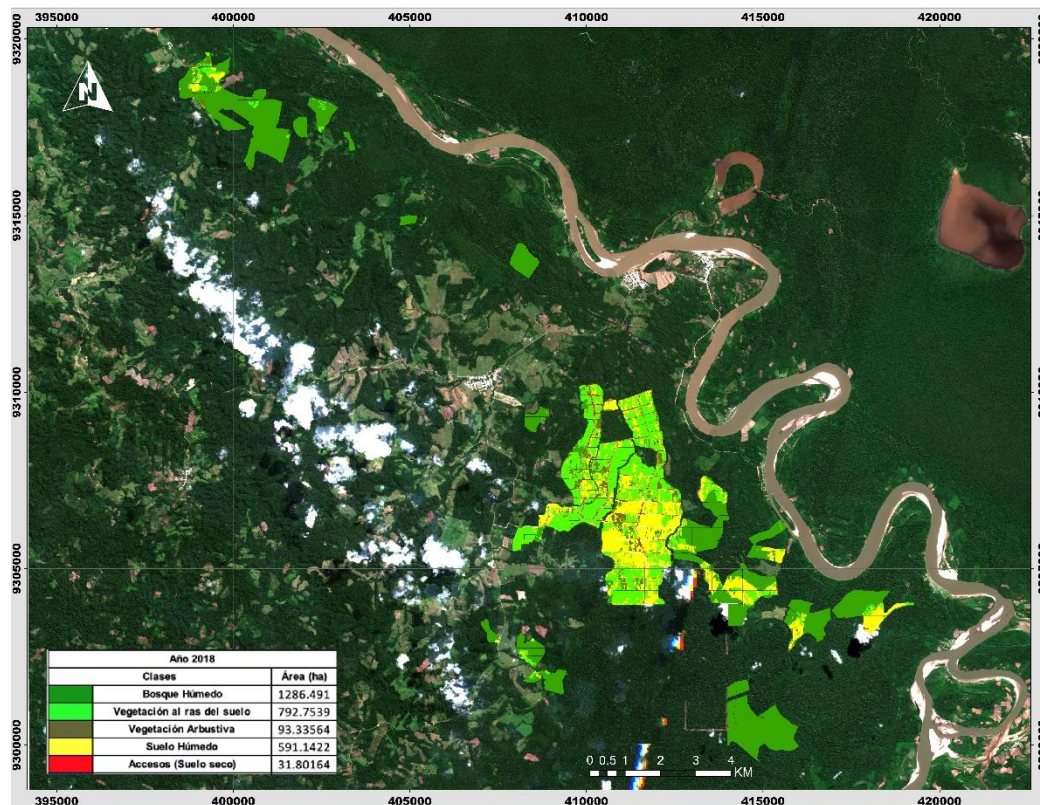


Figura 6.3. Clases de cobertura del año 2018 dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga



Figura 6.4. Extensión de cobertura para el año 2018



- Para el año 2019 se identificaron cinco (5) clases de coberturas; Bosque húmedo con una extensión de 948,43 ha, vegetación al ras del suelo con una extensión de 946,25 ha, vegetación arbustiva con una extensión de 152,88 ha, suelo húmedo con una extensión de 704,42 ha y accesos (suelo seco) con una extensión de 43,54 ha. Ver Figura 6.5 y 6.6.

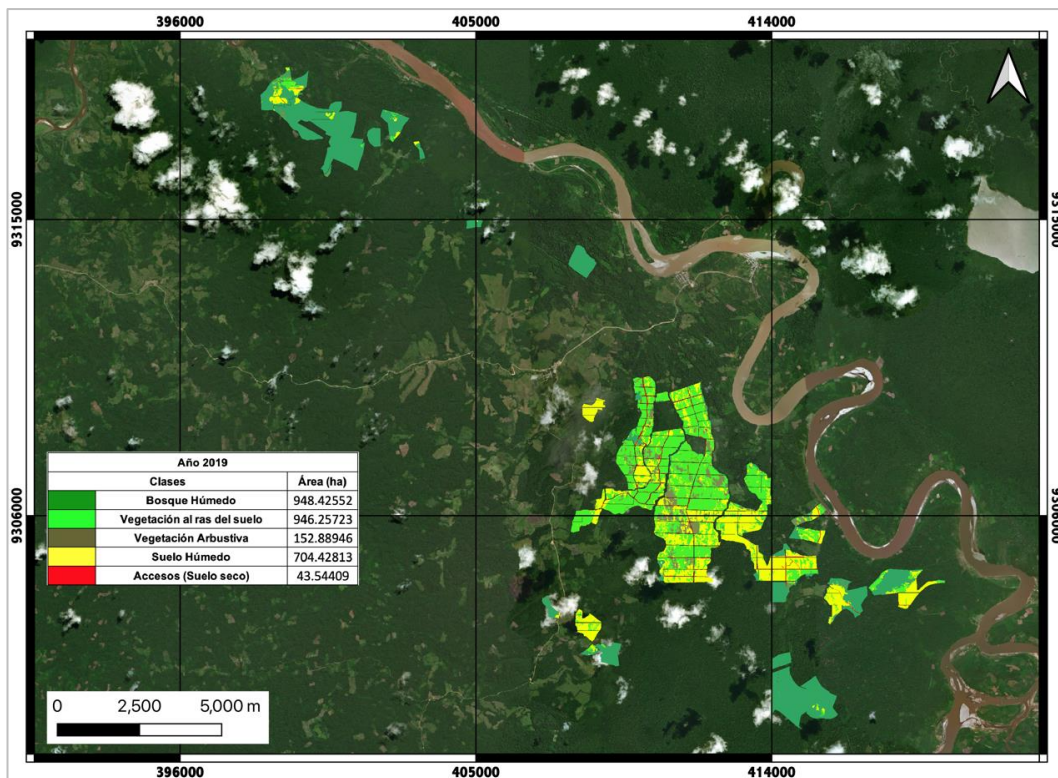


Figura 6.5. Clases de cobertura del año 2019 dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga



Figura 6.6. Extensión de cobertura para el año 2019



- Para el año 2020 se identificaron cinco (5) clases de coberturas; Bosque húmedo con una extensión de 924,75 ha, vegetación al ras del suelo con una extensión de 1021,11 ha, vegetación arbustiva con una extensión de 256,82 ha, suelo húmedo con una extensión de 548,22 ha y accesos (suelo seco) con una extensión de 44,62 ha. Ver Figura 6.7 y 6.8.

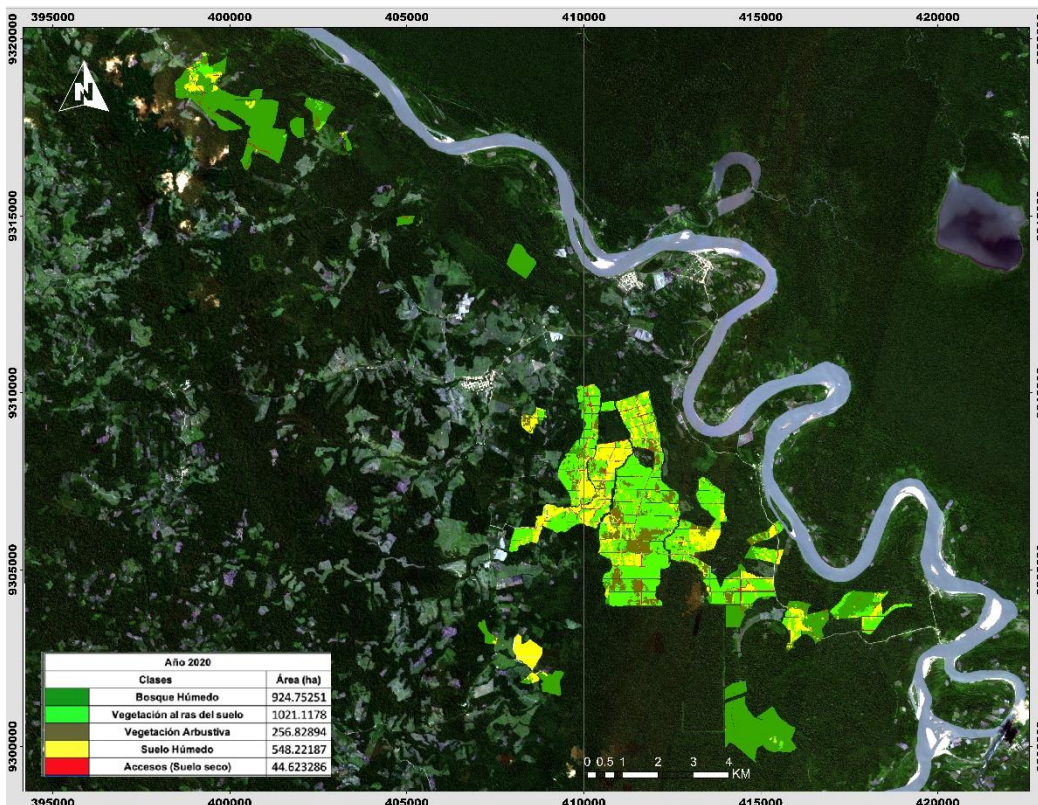


Figura 6.7. Clases de cobertura del año 2020 dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga



Figura 6.8. Extensión de cobertura para el año 2020



- Para el año 2021 se identificaron siete (7) clases de coberturas; Bosque húmedo con una extensión de 854,11 ha, vegetación al ras del suelo con una extensión de 1023,81 ha, vegetación arbustiva con una extensión de 378,48 ha, suelo húmedo con una extensión de 429,48 ha, accesos (suelo seco) con una extensión de 56,21 ha, Cuerpos de agua con una extensión de 0.93 ha y nubes con una extensión de 54,50 ha. Ver Figura 6.9 y 6.10.

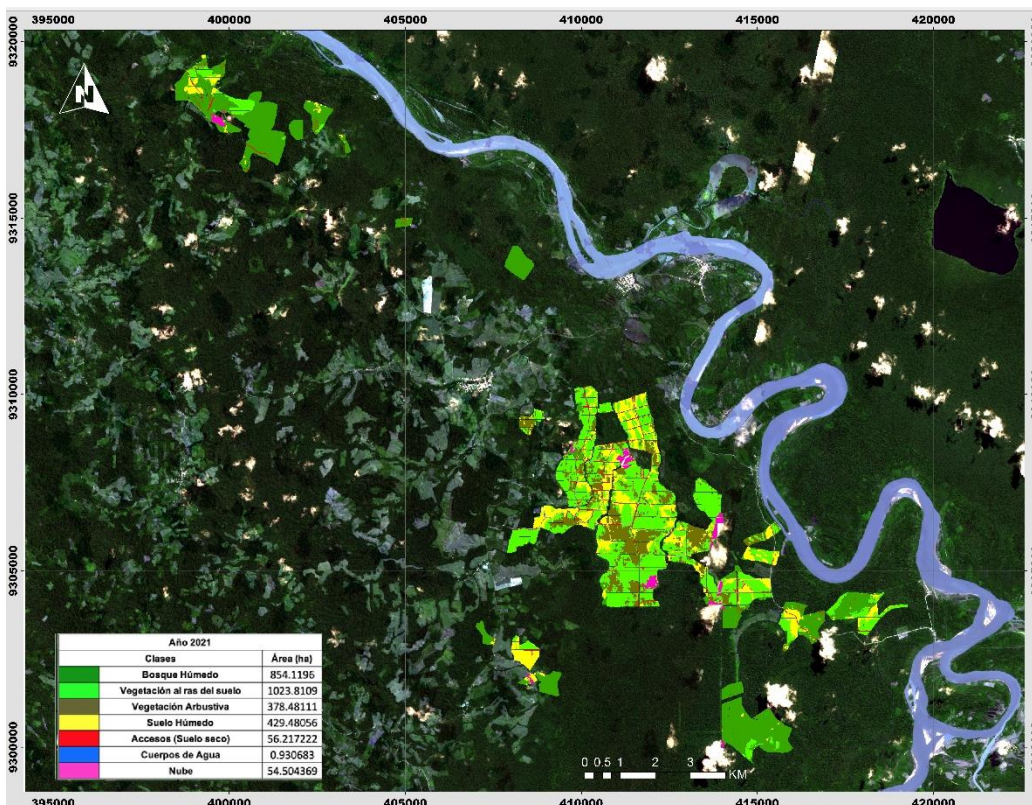


Figura 6.9. Clases de cobertura del año 2020 dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga



Figura 6.10. Extensión de cobertura para el año 2021



Haciendo un análisis general desde al año 2017 al 2021 (Tabla 6.1), se tiene que el Bosque húmedo ha tenido una pérdida de cobertura de 1329,11 ha (equivalente al 61% de su cobertura inicial). Dentro de estas áreas de pérdida, se evidencia que las clases de coberturas; suelo húmedo (suelo desbrozado para cultivo), vegetación al ras del suelo y vegetación arbustiva han aumentado debido al crecimiento en la producción agrícola de la zona. Asimismo, el acceso ha aumentado 39.8 ha. Para el año 2021 se ha considerado la cobertura de Nubes debido a que la imagen satelital a disposición presentaba nubosidad en partes del área de la unidad fiscalizable.

Tabla 6.1. Superficie de coberturas por año clasificado

Clases	Año 2017	Año 2018	Año 2019	Año 2020	Año 2021
Bosque Húmedo	2,183.23	1,286.49	948.43	924.75	854.12
Vegetación al ras del suelo	381.09	792.75	946.26	1,021.12	1,023.81
Vegetación Arbustiva	14.55	93.34	152.89	256.83	378.48
Suelo Húmedo	200.20	591.14	704.43	548.22	429.48
Accesos (Suelo seco)	16.47	31.80	43.54	44.62	56.22
Cuerpos de Agua	-	-	-	-	0.93
Nube	-	-	-	-	54.50
Total	2,795.53	2,795.52	2,795.54	2,795.54	2,797.54

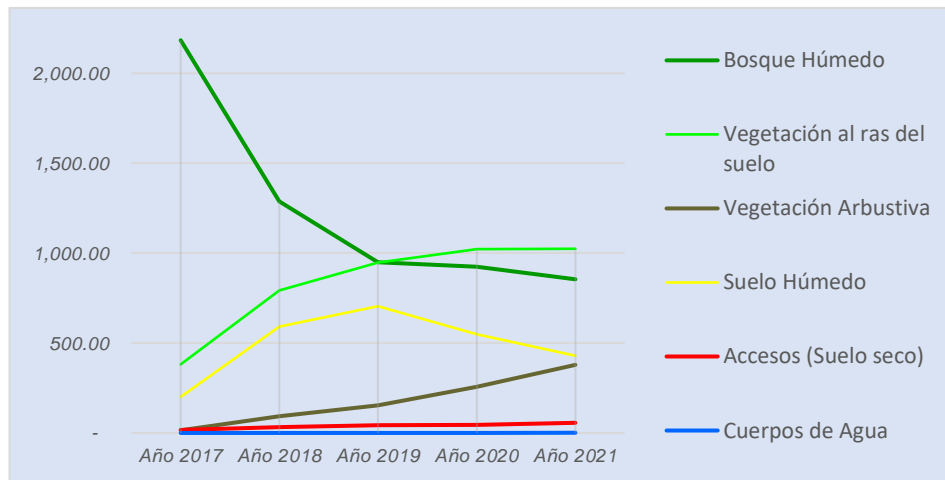


Figura 6.11. Análisis multitemporal (2017-2021) de coberturas

b. Se calcularon extensiones de las áreas de cambio de cobertura por cada periodo de análisis (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021) dentro de la unidad fiscalizable.

Clases	2018					
	Bosque Húmedo	Vegetación al ras del suelo	Vegetación Arbustiva	Suelo Húmedo	Accesos (Suelo seco)	Total
2017 Bosque Húmedo	1,288.09	355.53	55.53	471.72	12.20	2,183.07
Vegetación al ras del suelo	-	331.19	15.59	32.92	1.64	381.34
Vegetación Arbustiva	-	0.29	14.36	0.05	-	14.70
Suelo Húmedo	-	104.16	7.92	85.34	2.42	199.84
Accesos (Suelo seco)	-	0.80	-	0.15	15.50	16.45

**PERÚ**Ministerio
del AmbienteOrganismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFASTEC: Subdirección
Técnica CientíficaDecenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

Total	1,288.09	791.97	93.40	590.18	31.76	2,795.4
--------------	----------	--------	-------	--------	-------	---------

2019

	Clases	2019					Total
		Bosque Húmedo	Vegetación al ras del suelo	Vegetación Arbustiva	Suelo Húmedo	Accesos (Suelo seco)	
2018	Bosque Húmedo	949.29	85.79	20.05	229.05	3.91	1,288.09
	Vegetación al ras del suelo	-	698.22	8.16	81.73	3.86	791.97
	Vegetación Arbustiva	-	0.13	93.25	0.02	-	93.40
	Suelo Húmedo	-	158.79	31.96	393.30	6.12	590.17
	Accesos (Suelo seco)	-	1.92	0.06	0.24	29.54	31.76
	Total		949.29	944.85	153.48	704.34	43.43

2020

	Clases	2020					Total
		Bosque Húmedo	Vegetación al ras del suelo	Vegetación Arbustiva	Suelo Húmedo	Accesos (Suelo seco)	
2019	Bosque Húmedo	925.57	2.43	10.39	8.00	2.92	949.31
	Vegetación al ras del suelo	-	765.62	25.64	147.23	6.36	944.85
	Vegetación Arbustiva	-	0.51	149.89	2.96	0.12	153.48
	Suelo Húmedo	-	243.59	70.09	385.10	5.57	704.35
	Accesos (Suelo seco)	-	8.25	0.70	5.19	29.29	43.43
	Total		925.57	1,020.40	256.71	548.48	44.26

2021

	Clases	2021							Total
		Bosque Húmedo	Vegetación al ras del suelo	Vegetación Arbustiva	Suelo Húmedo	Accesos (Suelo seco)	Cuerpos de Agua	Nube	
2020	Bosque Húmedo	853.89	36.54	7.55	12.10	1.25	-	14.24	925.57
	Vegetación al ras del suelo	-	856.16	43.65	88.24	8.40	0.06	23.89	1,020.40
	Vegetación Arbustiva	-	1.55	253.77	1.04	0.23	0.09	0.03	256.71
	Suelo Húmedo	-	127.59	71.88	326.50	6.60	0.21	15.70	548.48
	Accesos (Suelo seco)	-	1.83	1.07	1.20	39.06	0.58	0.52	44.26
	Total		853.89	1,023.67	377.92	429.08	55.54	0.94	54.38



c. Se identificaron áreas de conflicto de uso entre la clasificación de coberturas del año 2021 y la capacidad de uso mayor de la ZEE San Martín, donde las áreas de color rojo pertenecen a zonas que por su capacidad de uso mayor debieron mantenerse como coberturas de aptitud forestal, sin embargo, se presentan actividades de cultivos, siendo áreas de conflicto de uso. Las áreas de color verde son áreas que según su capacidad de uso mayor son suelos aptos para cultivos agrícolas y se han desarrollado actividades agroforestales, por ende, son áreas sin conflicto. Ver Tabla 6.1 y Figura 6.12

Tabla 6.1. Análisis de clases de cobertura 2021 y el mapa de CUM San Martín

Clases Año 2021	Capacidad de Uso Mayor - CUM				Total
	A3S	F3SE	F3SW	F3SW_A3S	
Bosque Húmedo	73.62	61.99	171.53	545.52	852.66
Vegetación al ras del suelo	275.94	0.23	180.50	566.13	1,022.80
Vegetación Arbustiva	78.29	3.67	91.96	203.98	377.90
Suelo Húmedo	153.92	3.77	55.12	215.44	428.25
Accesos (Suelo seco)	19.78	0.89	7.26	27.27	55.20
Cuerpos de Agua	-	-	0.44	0.50	0.94
Nube	16.40	1.98	9.57	26.42	54.37
Total	617.95	72.53	516.38	1,585.26	2,792.12

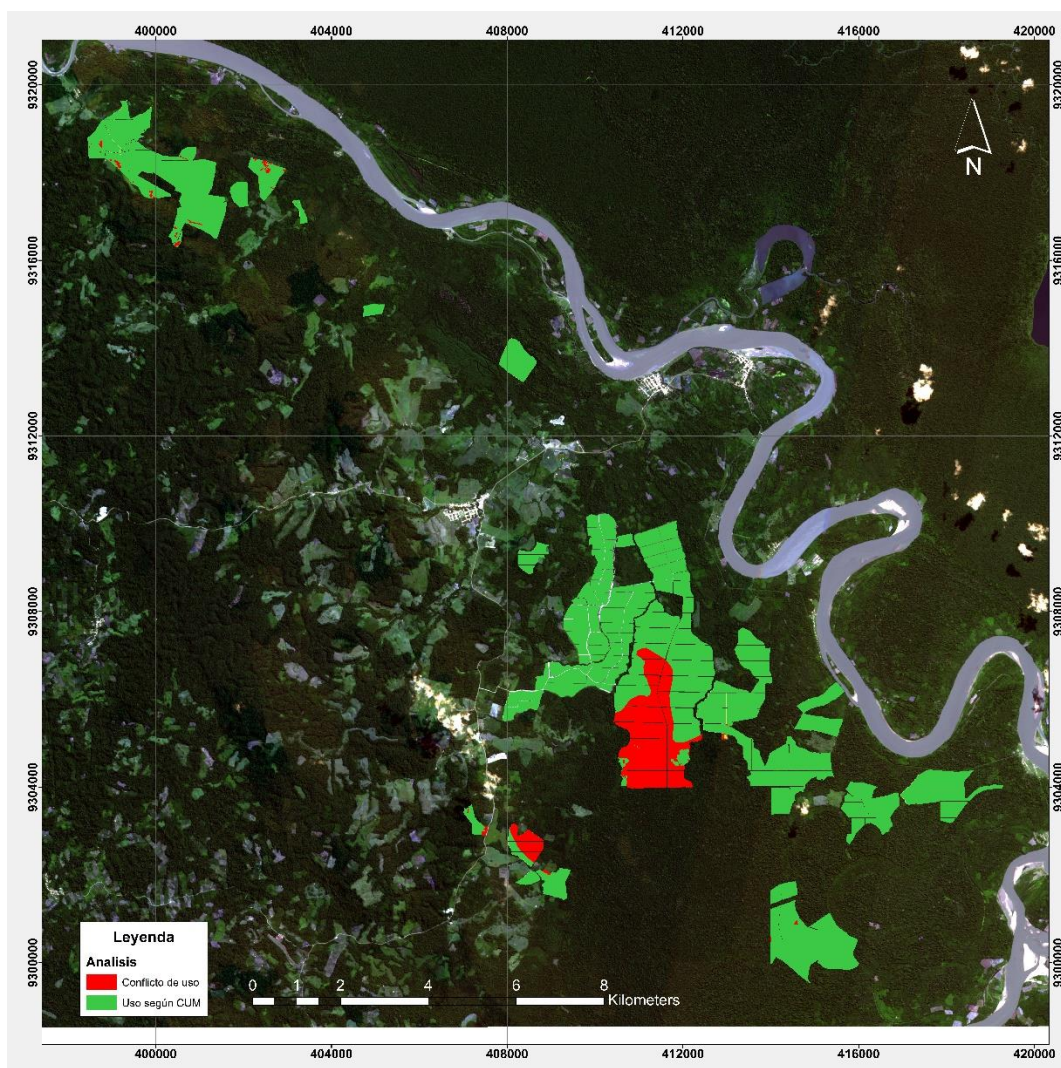


Figura 6.12. Conflicto de uso entre las coberturas del año 2021 y su CUM



7. CONCLUSIONES

- i. Se identificaron cinco (5) clases de cobertura: bosque húmedo, vegetación al ras del suelo, vegetación arbustiva, suelo húmedo y accesos para los años 2017, 2018, 2019 y 2020, y adicionalmente las clases de coberturas: cuerpos de agua y nubes para el año 2021, a través de un análisis metodológico de teledetección e interpretación de imágenes Sentinel 2A.
- ii. Se calcularon las extensiones de las áreas de cambio de cobertura por cada periodo de análisis (2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 y 2020-2021) dentro de la Unidad Fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga.
- iii. Se realizaron las identificaciones de áreas con conflicto de uso entre la clasificación de coberturas del año 2021 y la capacidad de uso mayor (CUM).

8. RECOMENDACIONES

- i. Se recomienda complementar la información obtenida en este estudio con imágenes de mayor resolución, siendo una opción las imágenes aerotransportadas con resolución espacial centimétrica, posibles de obtener por levantamiento fotogramétrico con RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*), que ayude a validar y mejorar la discriminación de clases de cobertura.
- ii. Se recomienda remitir el presente informe a la DSAP para los fines que se estimen convenientes.

9. ANEXOS

Anexo 1: Mapa de clasificación de coberturas de los años 2017, 2018, 2019, 2020 y 2021 en la unidad fiscalizable Plantación Palmas del Huallaga mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2A

Atentamente:

[JGONZALEZ]



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Organismo de Evaluación y
Fiscalización Ambiental - OEFA

STEC: Subdirección
Técnica Científica

Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres
Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia

[MCBALLERO]

Visto este informe la Dirección de Evaluación Ambiental ha dispuesto su aprobación.

Atentamente:

[FGARCIA]



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por el OEFA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. N° 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sistemas.oefa.gob.pe/verifica> e ingresando la siguiente clave: 04781186"



04781186