

Manual del usuario

Procesos para la obtención de índices de restauración en un sistema de monitoreo a partir de teledetección y la plataforma SEPAL



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

SERFOR
Servicio
Nacional
Forestal y
de Fauna
Silvestre

 **Siempre
con el pueblo**

MINISTERIO DE DESARROLLO AGRARIO Y RIEGO

Ministro de Desarrollo Agrario y Riego

Andrés Rimsky Alencastre Calderón

Viceministro de Desarrollo de Agricultura Familiar e Infraestructura Agraria y Riego

Hugo Fernando Obando Concha

Viceministro de Políticas y Supervisión del Desarrollo Agrario

Juan Rodo Altamirano Quispe

SERVICIO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE (SERFOR)

Director Ejecutivo (e)

Nelly Paredes del Castillo

Director General de la Dirección General de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal y de Fauna Silvestre

Dave Gregory Pogois Loayza

Director de la Dirección de Gestión Sostenible del Patrimonio Forestal

Henry Sanabria Villalva

Equipo Técnico

Alberto Mamani Cahuana

Frida Blanca Ismenia González Cabello

Omar Amador Carrión Moreno

Investigador Principal Víctor Milla

Co-investigador Iván Ávila Pérez

Diseño y diagramación Dessiré Cubas Céspedes

Primera edición digital, agosto 2022

Hecho el Depósito Legal digital en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2022-08474

Esta publicación ha sido posible gracias a la asistencia técnica de la cooperación alemana para el desarrollo, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del proyecto NDC Perú: apoyo a la implementación de la Estrategia Nacional ante el Cambio Climático, por encargo del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Seguridad Nuclear y Protección al Consumidor (BMUV) de Alemania, con fondos procedentes de la Iniciativa Internacional del Clima (IKI).

© Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR)

Av. Javier Prado Oeste N° 2442 Urb. Orrantia, Magdalena del Mar. Lima-Perú.

Teléfono: (511) 225-9005

www.gob.pe/serfor

informes@serfor.gob.pe

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio, total o parcialmente, sin permiso expreso.

Cita sugerida SERFOR. 2022. Manual del usuario. Procesos para la obtención de índices de restauración en un sistema de monitoreo a partir de teledetección y la plataforma SEPAL. Lima, Perú.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Introducción	12
Capítulo 1 Introducción a la plataforma SEPAL	17
Capítulo 2 Creación de un mosaico de imágenes satelitales	24
Capítulo 3 Clasificación de mosaicos y detección de cambios en cobertura forestal	34
Capítulo 4 Detección de cambios en cobertura forestal mediante algoritmo BFAST	53
Capítulo 5 Estimación de biomasa arriba del suelo y cálculo de carbono secuestrado a partir de sensor RADAR	65
Capítulo 6 Cálculo del área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos	76
Referencias	90
Anexo 1 Producto 1 // Plan de trabajo	92
Anexo 2 Producto 2 // Experiencias sobre monitoreo de la restauración nacional e internacional de ecosistemas forestales	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Página principal de SEPAL	18
Figura 2	Formulario de registro	18
Figura 3	Página de inicio de sesión	19
Figura 4	Interfaz inicial de SEPAL	20
Figura 5	Selección de opción “Aplicar para una cuenta de GEE”	21
Figura 6	Formulario de solicitud de cuenta de GEE	22
Figura 7	Ubicación de la opción “Administrar perfil de usuario”	22
Figura 8	Ventana de la opción “Administrar perfil de usuario”	23
Figura 9	Opción de conectar la cuenta de Google	23
Figura 10	Flujo de trabajo para la generación de un mosaico óptico	25
Figura 11	Opciones de procesamiento por defecto de la plataforma SEPAL	25
Figura 12	Ventana de procesamiento para la generación del mosaico óptico	26
Figura 13	Configuración de la opción de Área de Interés según País	26
Figura 14	Selección del año en estudio para la creación del mosaico	27
Figura 15	Configuración avanzada de las fechas de las imágenes que compondrán el mosaico	27
Figura 16	Selección del tipo de imagen para la creación del mosaico	28
Figura 17	Previsualización del mosaico	28
Figura 18	Configuración del método de selección de imágenes	29
Figura 19	Ubicación de la opción “Selección automática de escenas”	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 20	Configuración de la opción de “Selección automática de escenas”	30
Figura 21	Previsualización del mosaico tras la selección automática de escenas	30
Figura 22	Configuración de la ventana “Composite”	30
Figura 23	Opción de guardado del proceso	31
Figura 24	Guardado del proceso	31
Figura 25	Ubicación de la opción “Importar mosaico”	32
Figura 26	Configuración de la opción de “Importar mosaico”	32
Figura 27	Seguimiento del proceso de importación del mosaico	33
Figura 28	Flujo de trabajo para la clasificación de mosaicos, detección y cálculo de áreas de cambio de cobertura forestal	35
Figura 29	Ubicación de la opción de “Clasificación de imágenes”	36
Figura 30	Ubicación del flujo de trabajo para la clasificación de imágenes y detección de cambios	36
Figura 31	Selección de Asset de Earth Engine para cargar los mosaicos	37
Figura 32	Selección de las bandas y carga del mosaico creado para su análisis	37
Figura 33	Mosaicos cargados en la primera opción del flujo de trabajo	37
Figura 34	Creación de las clases para la clasificación	38
Figura 35	Clases recomendadas para la clasificación y detección de cambios	38
Figura 36	Configuración del color de la clase	38
Figura 37	Pestaña importar datos recolectados en campo	39
Figura 38	Opciones para importar datos de campo	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 39	Carga del archivo CSV a la plataforma	40
Figura 40	Asignación de las columnas del CSV con las coordenadas X/Y	40
Figura 41	Asignación de la columna de clase	41
Figura 42	Asignación de la información de los puntos de campo a las clases de SEPAL	41
Figura 43	Fuentes de datos complementarias	42
Figura 44	Algoritmos disponibles para la clasificación y detección de usos y cobertura de la tierra	42
Figura 45	Selección de capas a mostrar	43
Figura 46	Mosaico de imágenes Planet (A. Color verdadero, B. Falso color)	43
Figura 47	Ubicación de la opción “Permitir la recolección de datos de referencia”	44
Figura 48	Creación de punto de referencia	44
Figura 49	Activación de la previsualización de la clasificación	45
Figura 50	Punto de referencia de Bosque estable. A - Mosaico semestre 1 2018. B - Mosaico semestre 1 del año 2020	45
Figura 51	Puntos de referencia de No bosque estable. A - Mosaico semestre 1 2018. B - Mosaico semestre 1 2020	45
Figura 52	Punto de referencia de Pérdida de cobertura forestal. A - Mosaico semestre 1 2018. B - Mosaico semestre 1 del año 2020	46
Figura 53	Punto de referencia de Aumento de cobertura forestal. A - Mosaico semestre 1 2018. B - Mosaico semestre 1 2020	46
Figura 54	Punto de referencia de Otros cambios. A - Mosaico semestre 1 2018. B - Mosaico semestre 1 2020	47
Figura 55	Ubicación de los puntos de referencia en el área de estudio	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 56	Resultado de la clasificación	48
Figura 57	Acercamiento a un sector de la clasificación	48
Figura 58	Guardado de la clasificación	48
Figura 59	Configuración de la ventana de la opción “Importar”	49
Figura 60	Seguimiento del proceso de importación de la clasificación	49
Figura 61	Descarga de la clasificación	50
Figura 62	Despliegue de la capa en QGIS	50
Figura 63	Función de “Informe de valores únicos de capa ráster”	51
Figura 64	Configuración de la función de “Informe de valores únicos de capa ráster”	51
Figura 65	Resultado de la función de “Informe de valores únicos de capa ráster”	51
Figura 66	Conteo de píxeles a través de la función “Informe de valores únicos de capa ráster” para la obtención del Indicador 1) Área de cobertura forestal	52
Figura 67	Flujo de trabajo para la detección de cambios en cobertura forestal en series de tiempo mediante el algoritmo BFAST	54
Figura 68	Ubicación de la pestaña de aplicaciones	55
Figura 69	Selección de la aplicación de “Explorador BFAST”	55
Figura 70	Interfaz inicial del “Explorador BFAST”	55
Figura 71	Colocación de marcadores para análisis BFAST	56
Figura 72	Listado de fuentes de datos	56
Figura 73	Selección de las fuentes de datos para el análisis	56
Figura 74	Monitoreo de la descarga de los datos	57
Figura 75	Selección de los datos a analizar	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 76	Selección del NDVI para el estudio	58
Figura 77	Opciones para descarga de los datos del Indicador 3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)	58
Figura 78	Listado de métodos de detección de cambios	58
Figura 79	Configuración del algoritmo BFAST 01	59
Figura 80	Selección de la opción de “Series temporales”	59
Figura 81	Selección de la opción “Dibujar un polígono” para delimitar el área de estudio	60
Figura 82	Definición del área de estudio	60
Figura 83	Definición de las fechas de inicio y final de la serie de tiempo	60
Figura 84	Selección de las fuentes de datos	61
Figura 85	Ejemplo de guardado de serie de tiempo	61
Figura 86	Importado de la serie de tiempo	61
Figura 87	Selección de la aplicación “BFAST GPU”	62
Figura 88	Selección de la serie de tiempo para el análisis	62
Figura 89	Configuración de la aplicación BFAST GPU	63
Figura 90	Notificación de ejecución correcta y guardado del resultado de BFAST	63
Figura 91	Selección y descarga del resultado BFAST	64
Figura 92	Resultado final de la aplicación BFAST GPU y obtención del Indicador 2. Cambios en la cobertura forestal en series temporales	64
Figura 93	Flujo de trabajo para la estimación de la biomasa arriba del suelo y cambios en carbono	66
Figura 94	Ubicación de la opción de “Creación de mosaico Radar”	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 95	Primera pestaña del flujo de trabajo. A: Selección de dibujar un polígono como método para definir el área de estudio. B: Definición del área de estudio	67
Figura 96	Segunda pestaña del flujo de trabajo	68
Figura 97	Previsualización del mosaico Radar	68
Figura 98	Tercera pestaña del flujo de trabajo	68
Figura 99	Guardado del mosaico	69
Figura 100	Configuración de la opción de “Importar mosaico Radar”	69
Figura 101	Ejemplo de base de datos	69
Figura 102	Selección de las bandas y carga del mosaico creado para su análisis	70
Figura 103	Mosaico RADAR cargado en la primera opción del flujo de trabajo	70
Figura 104	Leyenda para la clasificación de biomasa	71
Figura 105	Carga del archivo CSV de datos de campo a la plataforma	71
Figura 106	Asignación de las columnas del CSV con las coordenadas X/Y	71
Figura 107	Asignación de la columna de biomasa	72
Figura 108	Asignación de la información de biomasa de las parcelas de campo a las clases de SEPAL	72
Figura 109	Selección de regresión como método de previsualización	72
Figura 110	Previsualización de la estimación del Indicador 4. Biomasa por encima del suelo (AGB)	73
Figura 111	Guardado del mosaico	73
Figura 112	Configuración de la opción de “Importar regresión”	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 113	Selección y descarga de la estimación de biomasa	74
Figura 114	Selección de la calculadora ráster	74
Figura 115	Configuración de la calculadora Ráster	75
Figura 116	Resultados del Indicador 5. Cambios en el carbono en un período de tiempo	75
Figura 117	Flujo de trabajo para el cálculo del área y el perímetro de fragmentos de bosque en una zona de estudio	77
Figura 118	Ejemplo de mosaico Sentinel 2 del año 2020	77
Figura 119	Importado del mosaico para su clasificación	78
Figura 120	Mosaico cargado en la primera opción del flujo de trabajo	78
Figura 121	Creación de las clases para la clasificación	79
Figura 122	Selección de las imágenes de referencia	79
Figura 123	Creación de punto de referencia de la clase de bosque	80
Figura 124	Comparación de los resultados de la clasificación con las imágenes Planet	80
Figura 125	Guardado de la clasificación	80
Figura 126	Configuración de la opción de “Importar clasificación”	81
Figura 127	Selección y descarga de la clasificación de bosques	81
Figura 128	Despliegue del resultado en QGIS	82
Figura 129	Ubicación de la herramienta de vectorizado	82
Figura 130	Configuración de la herramienta poligonizar	83
Figura 131	Clasificación de bosques vectorizada	83
Figura 132	Apertura de la tabla de atributos	84
Figura 133	Selección de los datos de la categoría 1. Bosques	84
Figura 134	Polígonos de la clase de bosque	85
Figura 135	Selección de la herramienta “Corregir geometrías”	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 136	Configuración de la herramienta de “Corregir geometrías”	85
Figura 137	Selección de la herramienta “Disolver”	86
Figura 138	Configuración de la herramienta “Disolver”	86
Figura 139	Selección de la herramienta “Multiparte a monoparte”	86
Figura 140	Configuración de la herramienta “Multiparte a monoparte”	86
Figura 141	Cálculo del área de cada fragmento de bosque en hectáreas	87
Figura 142	Selección de polígonos menores a 0.5 ha.	87
Figura 143	Activación del “Panel de estadísticas”	88
Figura 144	Estadísticas básicas del área de bosque fragmentado (Indicador 6. Área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos)	88
Figura 145	Cálculo del perímetro de cada fragmento de bosque en kilómetros	89
Figura 146	Estadísticas básicas de los perímetros de bosques fragmentados	89

INTRODUCCIÓN



El presente manual técnico es el producto final (Producto 3) de la consultoría “Elaboración de propuesta metodológica para monitoreo del proceso de restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre fomentado con proyectos de inversión”. Dicho trabajo busca fortalecer las capacidades en el equipo del SERFOR, para monitorear el progreso hacia la meta de la medida NDC en cuanto a crecimiento de la cobertura forestal, y evaluar la eficiencia y efectividad de las acciones realizadas, utilizando técnicas de teledetección.

Como parte de este proceso, el Anexo 1 y Anexo 2 muestran el plan de trabajo seguido (Producto 1), y una matriz que detalla herramientas de teledetección para el monitoreo de la restauración forestal (Producto 2), respectivamente. Esta matriz es un primer insumo que se utilizó para seleccionar una herramienta apropiada que permita medir el progreso hacia las metas nacionales de restauración.

La herramienta que se seleccionó y se detalla a lo largo de este manual técnico, es SEPAL (System for Earth Observation Data Access, Processing and Analysis for Land Monitoring, por sus siglas en inglés). Esta plataforma es parte del conjunto de herramientas de Open Foris de la FAO. SEPAL permite a los usuarios consultar y procesar datos satelitales de manera rápida y eficiente, adaptar sus productos a las necesidades locales y producir análisis geoespaciales sofisticados y relevantes rápidamente. Aprovechando las supercomputadoras basadas en la nube y las modernas infraestructuras de datos geoespaciales (por ejemplo, Google Earth Engine), SEPAL permite el acceso y el procesamiento de datos históricos de satélites (FAO, 2018), así como datos más recientes de Landsat y datos de mayor resolución del programa Copernicus de la Agencia Europa.

Este manual está diseñado para que el usuario sea capaz de monitorear los procesos de restauración llevados a cabo en Perú mediante los siguientes indicadores:

1. Área de cobertura forestal
2. Cambios en la cobertura forestal en series temporales
3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)
4. Biomasa por encima del suelo (AGB)
5. Cambios en el carbono en un período de tiempo
6. Área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos

Los Capítulos en los que se compone el siguiente manual se detallan a continuación:

Capítulo 1. Introducción a la plataforma SEPAL

Open Foris es una iniciativa de FAO que se compone de un conjunto de herramientas de software de código abierto y gratuitas que permiten una fácil recopilación de datos, así como el análisis de estos y la generación de informes de manera flexible y eficiente. Uno de sus componentes más nuevos es el **Sistema de acceso de datos de observación de la tierra, procesamiento y análisis para el monitoreo de la superficie terrestre** (SEPAL, por sus siglas en inglés) (FAO, 2018). Esta plataforma aprovecha la asociación técnica con Google y otros softwares de código abierto como ORFEO Toolbox, GDAL, R, R Studio Server, R Shiny Server y SNAP Toolkit para ayudar a los países a desarrollar un sistema nacional robusto de monitoreo de los bosques (Tondapu et al, 2018).

En este Capítulo se detallarán los pasos para obtener una cuenta en SEPAL así como de Google Earth Engine y la integración de ambas plataformas. También se explica cómo ingresar a SEPAL y se describe la interfaz del programa.

Capítulo 2. Creación de un mosaico de imágenes satelitales

Un mosaico es una combinación o fusión de dos o más imágenes (ESRI, 2016), y en la mayoría de las ocasiones la preparación de imágenes y la generación de mosaicos listos para su análisis es un proceso laborioso pero necesario para casi todos los estudios relacionados con la teledetección (Li et al, 2019). La generación de mosaicos permite la integración de diferentes conjuntos de datos que pueden ser obtenidos desde diferentes sensores o diferentes períodos de tiempo para un mismo lugar. En el registro de imágenes se establece la correspondencia geométrica entre las imágenes para que puedan ser transformadas, comparadas y analizadas en un marco de referencia común (Vaghela & Naina, 2014).

En este Capítulo se explicará cómo generar mosaicos ópticos que servirán como insumos bases para la obtención de los indicadores de interés. Se detallará el flujo de trabajo que esto implica, desde la selección del área de estudio, el tipo de sensores a utilizar y el período de tiempo, así como aplicación de procesos de corrección atmosférica además de detección y eliminación de nubes.

Capítulo 3. Clasificación de mosaicos y detección de cambios en cobertura forestal

Uno de los mayores aportes del uso de sensores remotos y estudios espacio-temporales es su capacidad de evaluar fenómenos que provocan cambios en el uso de la tierra, a través del establecimiento de comparaciones entre el estado del paisaje en momentos históricos

diferentes (García-Calabrese et al, 2017). De esta manera es posible identificar sitios donde se dio un aumento en la cobertura forestal y que se encuentra en proceso de restauración entendiéndose este término como: “la creación de un ecosistema con la misma composición de especies y características funcionales del sistema que existía previamente” (Vargas & Mora, 2008). De igual forma es posible identificar sitios donde ha disminuido la cobertura arbórea y se encuentran en un proceso de degradación de ecosistemas, entendiéndose como ecosistema degradado: “aquel que ha perdido, total o parcialmente, su estructura y funcionamiento ecológicos, pudiendo deberse a diferentes motivos, tales como la sobreexplotación del recurso, los incendios forestales, construcción de infraestructuras, entre otros (Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, sf).

De esta manera, en este Capítulo se podrá obtener el indicador **1) Área de cobertura forestal**, y además se podrá obtener una clasificación de cobertura forestal con cambios (positivos y/o negativos entre dos puntos de tiempo, a partir de los mosaicos de imágenes generados en el Capítulo 2, ya que se explican los procesos para identificar y clasificar zonas donde se ha mantenido el uso de la tierra o bien se ha dado un cambio en el uso de suelo provocando aumentos o disminuciones de la cobertura forestal

Capítulo 4. Detección de cambios en cobertura forestal mediante algoritmo BFAST

El algoritmo de quiebres por temporada y tendencia aditiva (BFAST, por sus siglas en inglés) integra la descomposición de series de tiempo en componentes de tendencia y estacionalidad para detectar y caracterizar cambios dentro de series de tiempo. BFAST estima iterativamente el tiempo y el número de cambios abruptos dentro de series de tiempo y caracteriza el cambio por su magnitud y dirección. Se puede utilizar para analizar diferentes tipos de series de tiempo (por ejemplo, Landsat y/o MODIS) y se puede aplicar a disciplinas como hidrología, climatología y econometría (Verbesselt et al, 2010).

De esta forma, al aplicar el algoritmo BFAST se podrá analizar y obtener el indicador **2) Cambios en la cobertura forestal en series temporales y 3) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**, el cual permitirá identificar zonas de cambio en la cobertura forestal no solo entre dos períodos puntuales de tiempo, sino que se podrán estudiar y detectar cambios a través de los años. En este Capítulo se detallan los procesos para identificar fechas donde se dan cambios de tendencia en el uso de la tierra y a partir de esta información obtener y estimar las zonas donde se ha dado un aumento o una pérdida de la cobertura forestal.

Capítulo 5. Estimación de biomasa arriba del suelo y cálculo de carbono secuestrado a partir del sensor RADAR

La biomasa forestal actúa como indicador de cambio climático y salud forestal (Kumar et al, 2013), por tanto, se presenta una creciente necesidad de monitoreo y manejo forestal de esta variable. La biomasa se define como el material tanto por encima como por debajo del suelo que compone a la planta y por lo general es expresado como peso seco. La biomasa aérea incluye toda la biomasa viva por encima del suelo, incluidos tallos, tocones, ramas, corteza, semillas y follaje (Sinha, et al, 2015). Para la estimación de este parámetro a nivel de paisajes a gran escala, la teledetección mediante sensores RADAR proporciona la mejor solución, ya que posee varias ventajas sobre la teledetección óptica como que es posible utilizarse en todo tipo de climas, pueden obtenerse datos tanto de día como de noche, penetra nubes, vegetación, suelo seco, arena y nieve, además de ser sensible a la rugosidad superficial, las propiedades dieléctricas de la superficie de la tierra y el contenido de humedad.

En este Capítulo se detallan todos los pasos para obtener los indicadores **4) Biomasa por encima del suelo (AGB), y 5) Cambios en el carbono en un período de tiempo**. El usuario podrá aprender cómo generar mosaicos RADAR, así como obtener la estimación de biomasa arriba del suelo de una zona a partir de regresiones con los datos de dicho mosaico, además de comparar resultados en dos períodos de tiempo de manera que sea posible identificar zonas dónde se ha dado, ya sea una captura o una liberación del carbono a partir de cambios en la biomasa.

Capítulo 6. Cálculo del área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos

La fragmentación de bosques se define como la transformación de un bosque continuo en secciones más pequeñas y aisladas entre sí, siendo que la suma total del área de todos los fragmentos es mucho menor a la del bosque original (Bustamante & Grez, 1995). La fragmentación causa algunos fenómenos que se suceden simultáneamente, como: i) división del bosque en secciones menores y discontinuas, ii) reducción del tamaño de los bosques remanentes y iii) aislamiento progresivo de los parches dentro de una matriz generalmente hostil (Pauchard et al., 2006).

En este Capítulo se detallan los procesos correspondientes para poder obtener información del indicador **6) Área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos**. El usuario aprenderá a clasificar un mosaico óptico para identificar áreas de bosque y luego, a partir de geoprocursos espaciales y estadísticos en un software SIG, obtener parámetros como el área total de bosque y el tamaño de cada fragmento.

CAPÍTULO

01

Introducción a la plataforma SEPAL



Para acceder a la plataforma SEPAL primeramente debe crear un usuario. Para esto, ingrese a la siguiente dirección en su navegador web favorito: <https://sepal.io/> Se abrirá la pantalla de inicio de la plataforma, donde debe dar clic en la opción de “Regístrate” (Figura 1).

Regístrate

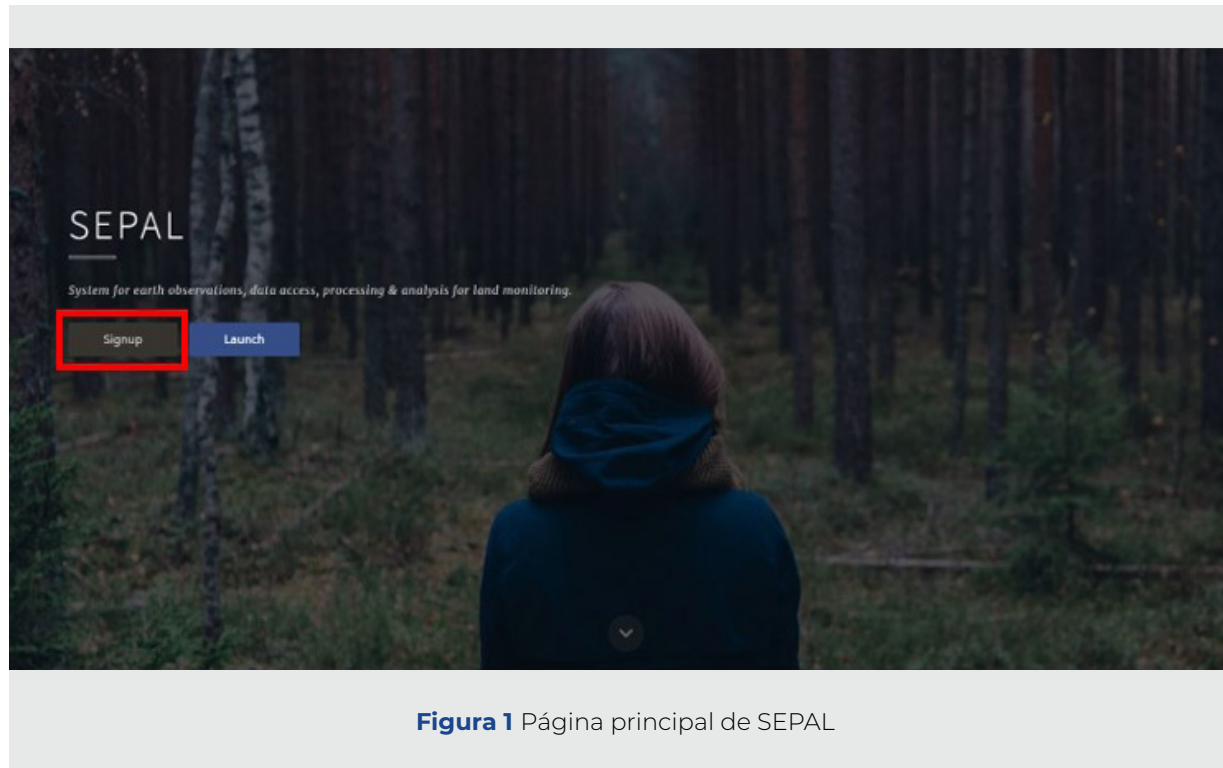


Figura 1 Página principal de SEPAL

Seguidamente se abrirá un formulario en línea el cual debe llenar con sus datos y dar clic en el botón de “Enviar” tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 2:

Enviar

Esta solicitud será recibida por el equipo de programadores de SEPAL y en el transcurso de 24 horas deberá llegar al correo ingresado en el formulario, su usuario y la contraseña respectiva. Una vez recibida esta información diríjase nuevamente a: <https://sepal.io/> y de clic a la opción de “Iniciar” (Figura 3).

Iniciar

Request access to sepal.io

SEPAL stands for : System for Earth observations, data access, Processing & Analysis for Land monitoring

The platform is still beta, so if you want access, you have to request here.

We are also interested in what you want to do with it so please let us know !

PLEASE also give us a few moments to process your request. This is not an automated service and sometimes it takes us a little time to enter your information.

github.com/openforis/sepal

***Obligatorio**

Correo electrónico *

Second Name *

First Name *

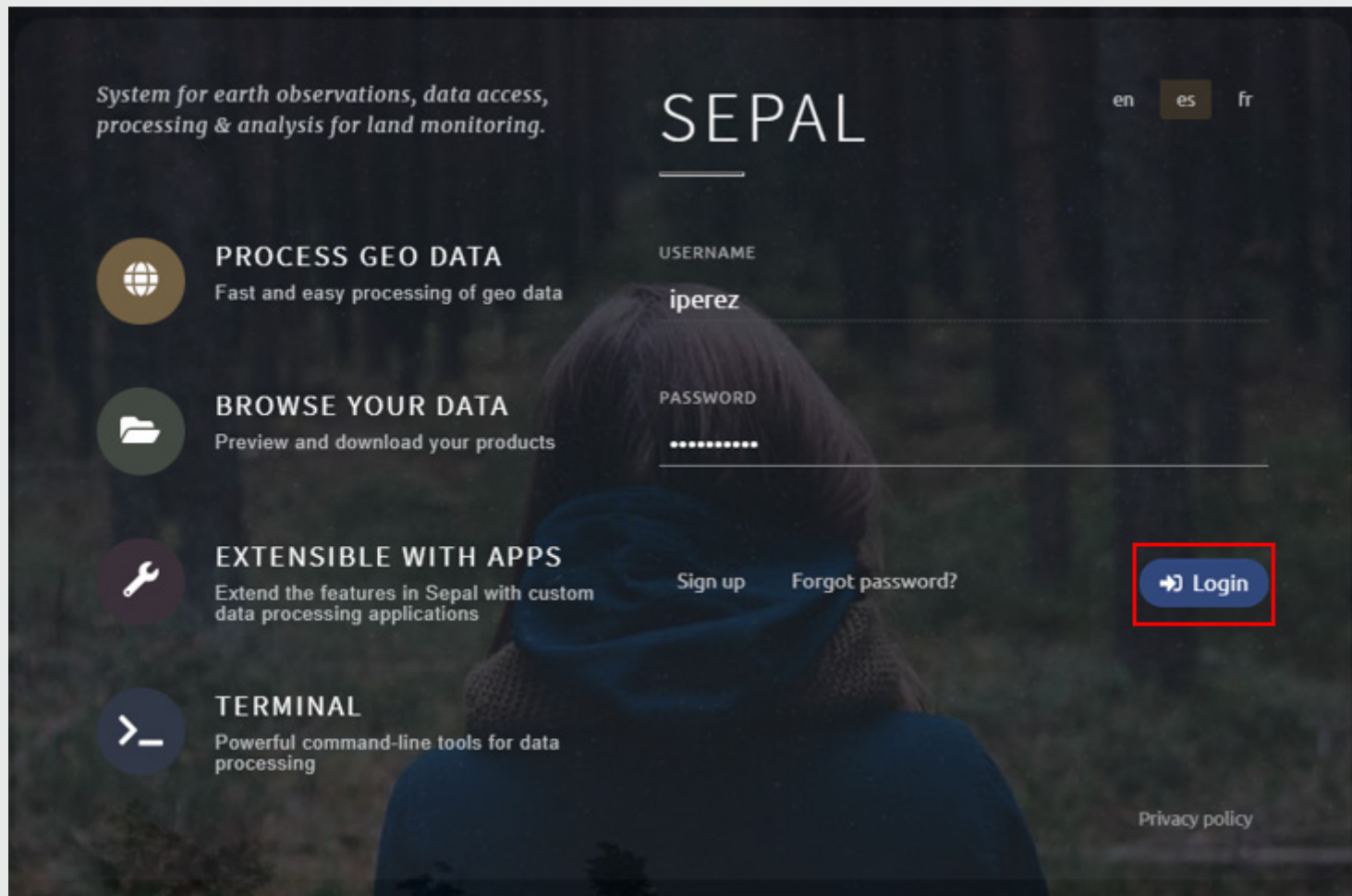
Institution

Country

Let us know what you intend to do with SEPAL

SEPAL se utilizará como una herramienta en el monitoreo de los procesos de los restauración en zonas prioritarias de Perú

Figura 2 Formulario de registro



De esta manera, ingresará a la pantalla de inicio de sesión de la plataforma donde debe ingresar los datos proporcionados y dar clic en “Iniciar sesión”

 Iniciar sesión (Figura 3):

Figura 3 Página de inicio de sesión.

La interfaz inicial de SEPAL cuenta con las siguientes opciones (Figura 4):

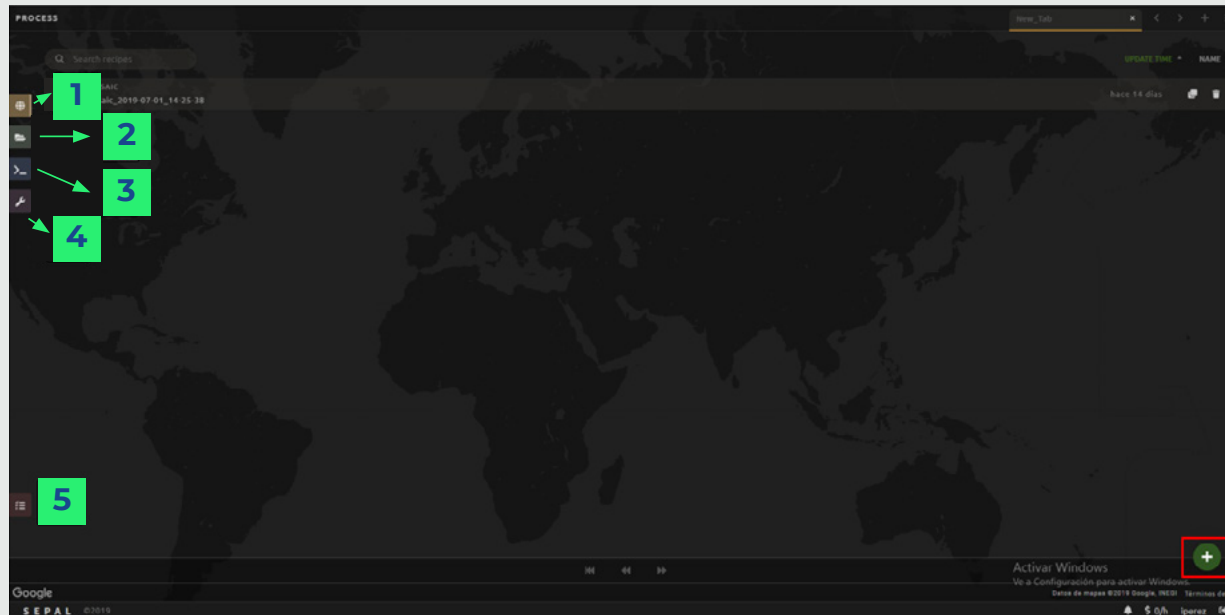







Figura 4 Interfaz inicial de SEPAL

- 1** Pestaña de procesos  :En esta opción es posible elaborar “Flujos de trabajo de SEPAL” que permiten la creación de mosaicos de imágenes Landsat Sentinel-1 y Sentinel-2, clasificar imágenes y elaborar series temporales de imágenes Landsat.
- 2** Pestaña de documentos  :En esta opción podrá encontrar un listado de todos los productos que haya elaborado en la plataforma.
- 3** Pestaña de consola  :En esta opción se tiene la oportunidad de hacer uso de un clúster de procesamiento donde se puede seleccionar alguna terminal por una cantidad de dinero definida, para poder realizar procesos robustos de manera más eficiente.
- 4** Pestaña de aplicaciones  :Esta opción brinda la posibilidad de utilizar algunas aplicaciones que pueden ser de utilidad para el investigador como RStudio, Jupyter, Lab, entre otras.
- 5** Pestaña de tareas  :En esta opción podrá ver un listado de las tareas llevadas a cabo o que se encuentran actualmente activas.

El código computacional de SEPAL trabaja en su mayoría basado en la plataforma de Google Earth Engine, por lo que es necesario adquirir una cuenta en esta plataforma.

Para esto ingrese a la dirección:

<https://code.earthengine.google.com/>

y de clic en la primera opción que se muestra en pantalla (Figura 5).

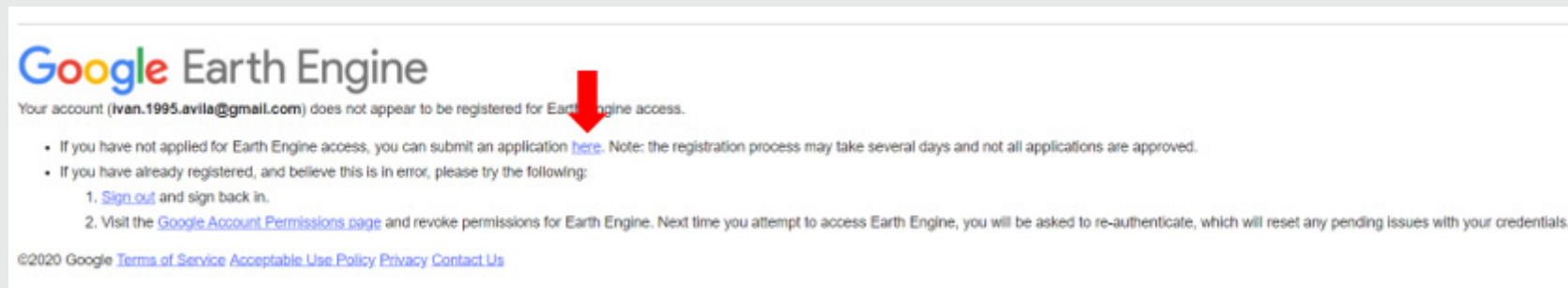


Figura 5 Selección de opción “Aplicar para una cuenta de GEE”

To facilitate the evaluation process, we suggest that you sign up with an email associated with your organization. Tip: You don't need a Gmail account to create a Google Account. You can [use your non-Gmail email address to create one instead](#).

Email
ivan.1995.avila@gmail.com

Want to use a different account? [Log out](#) or use an Incognito tab.

Full name *
Iván Ávila Pérez

Please tell us your first and last name.

Affiliation/Institution *
SERFOR

Institution type *
Government

Which organization are you a part of? Give a homepage URL, if possible.

Select the best description for your institution, or choose Other and clarify.

Country/Region *
Peru

Please tell us where you live.

What would you like to accomplish with Earth Engine? *
I would like to use GEE to monitor restoration processes in Peru.

Please describe in a few sentences how you intend to use Earth Engine.

Earth Engine may only be used for development, research, or educational purposes. It may not be used for sustained commercial purposes, but may be evaluated in a production environment.

☒ I agree that my use of the Earth Engine services and related APIs is subject to my compliance with the applicable [Terms of Service](#). In particular, I acknowledge that creating multiple Earth Engine accounts to circumvent quota restrictions is a violation of the Terms of Service.

☒ I am interested in commercial use of Earth Engine.

☒ I'm not a robot

reCAPTCHA Privacy - Terms

SUBMIT

Figura 6 Formulario de solicitud de cuenta de GEE

Seguidamente se abrirá un formulario en línea que debe llenar con sus datos tal como se muestra en la Figura 6, dar clic en el “captcha” y finalmente dar clic en “Enviar”



Es importante mencionar que la respuesta a esta solicitud puede tardar varios días por lo que es muy importante llevar a cabo este paso con anterioridad a cualquier ejecución de algún proceso en SEPAL. Una vez obtenida la cuenta debe llegarle un correo al email que colocó en el formulario de solicitud.

Hecho esto, debe enlazar su cuenta de Google Earth Engine con SEPAL. Para esto, en la plataforma SEPAL, de clic al botón de la opción “Gestionar el perfil del usuario” el cual se muestra con su nombre de usuario en la esquina inferior izquierda de la pantalla principal de SEPAL (Figura 7).

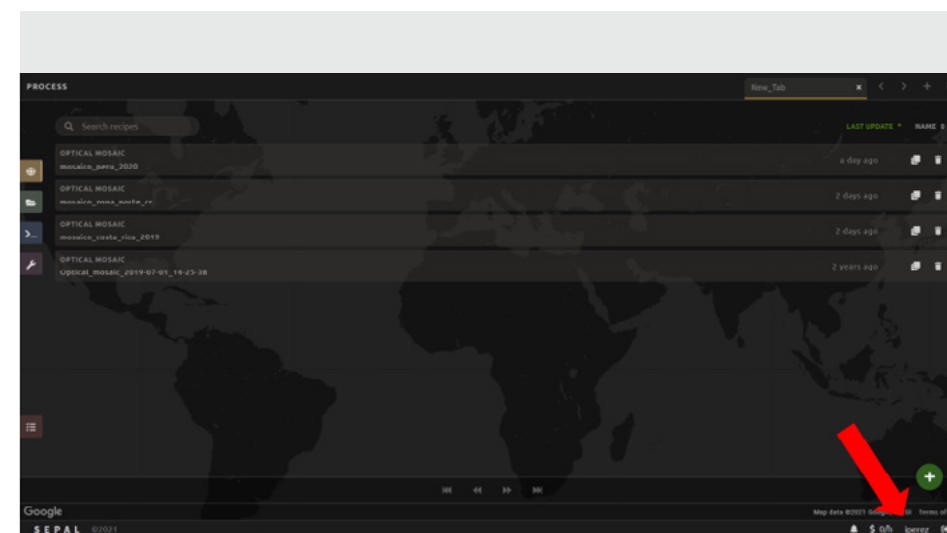




Figura 7 Formulario de solicitud de cuenta de GEE

En la ventana que se desplegará de clic en la opción “Cuenta de Google” (Figura 8) y en la nueva ventana que aparecerá, de clic en la opción “Conecta tu cuenta de Google” (Figura 9).

 Cuenta de Google

 Conecta tu cuenta de Google

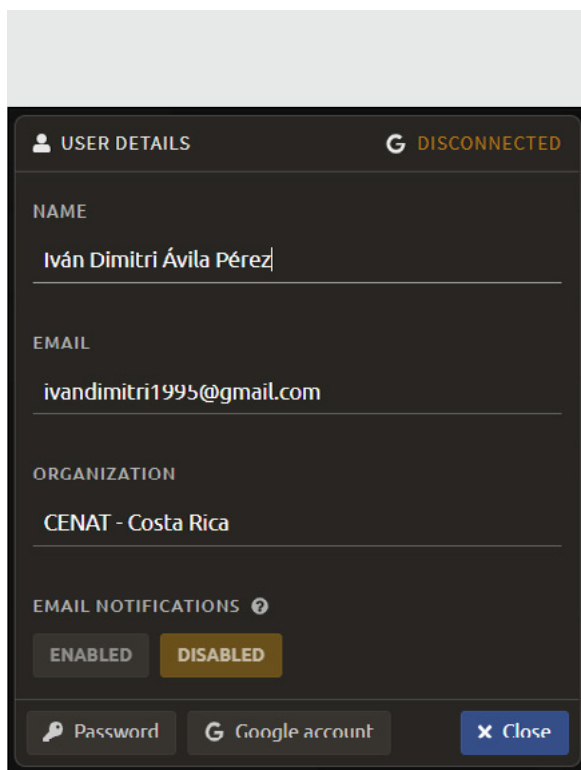


Figura 8 Ventana de la opción “Administrar perfil de usuario”

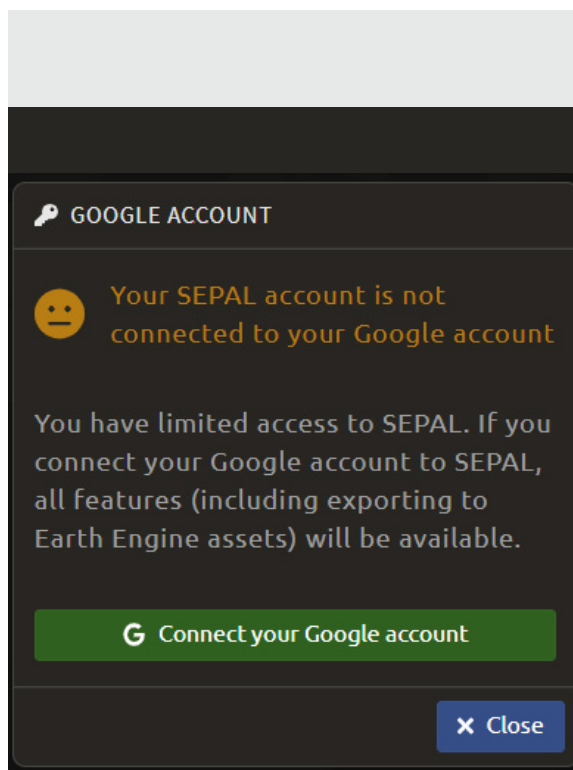
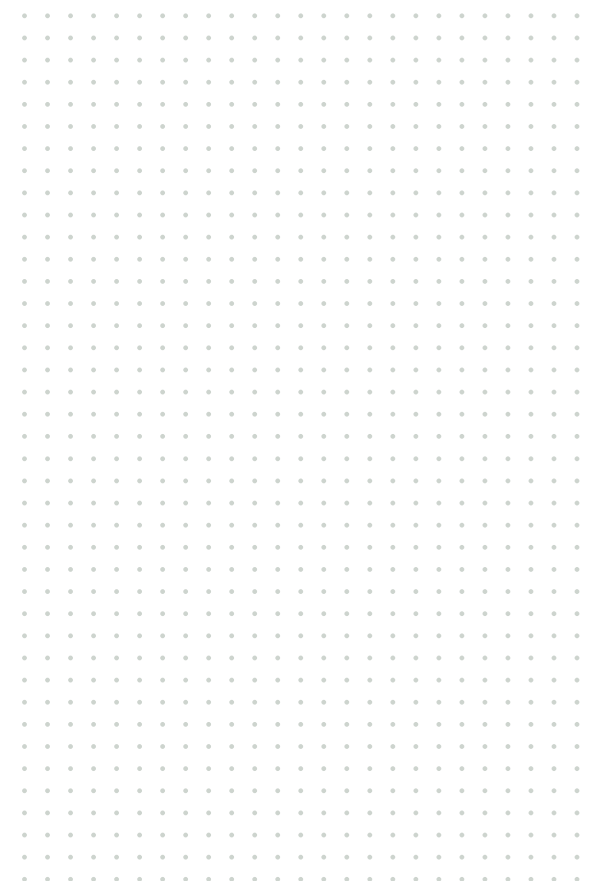


Figura 9 Opción de conectar la cuenta de Google

Con esto, su perfil de SEPAL estará listo para llevar a cabo los procesos que considere necesario.

Para acceder a un video explicativo de este Capítulo ingrese al siguiente enlace:

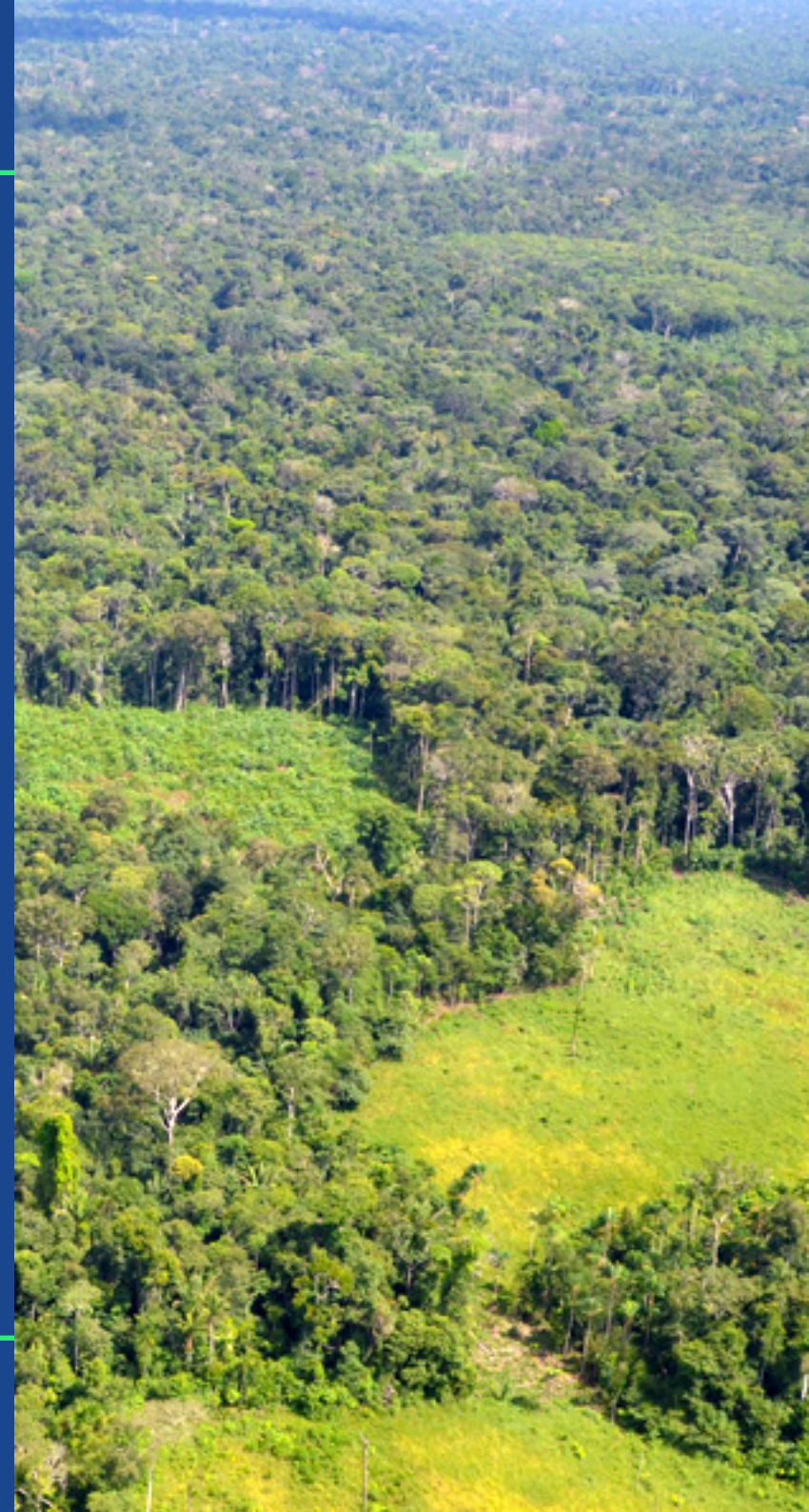
<https://youtu.be/Wt4SpBddV7U>



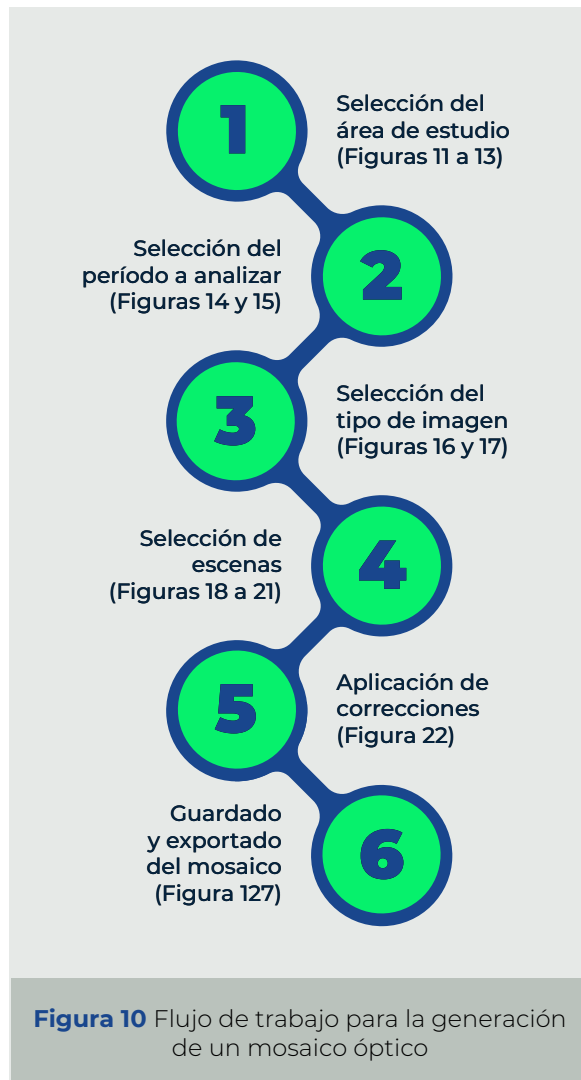
CAPÍTULO

02

Creación de un mosaico de imágenes
satelitales



El flujo de procesos para llevar a cabo la creación del mosaico se muestra en la siguiente Figura (Figura 10).



Para llevar a cabo la creación del mosaico, debe ubicarse en la pestaña de procesos y dar clic en el icono de más **+** que se encuentra en la sección inferior derecha de la pantalla. Una vez hecho esto se abrirá una ventana con 6 diferentes opciones de procesamiento (llamados "flujos de trabajo" en la plataforma) (Figura 11):

1. Mosaico de imágenes ópticas
2. Mosaico de imágenes Radar
3. Clasificación de imágenes
4. Descarga de series temporales de Landsat a SEPAL
5. Implementación de algoritmo CCDC desde series temporales
6. Obtener resultados de CCDC para una fecha específica



Para llevar a cabo la elaboración del mosaico es necesario dar clic en la primera opción de manera que en la sección inferior derecha de la pantalla se abra la siguiente ventana (Figura 12):

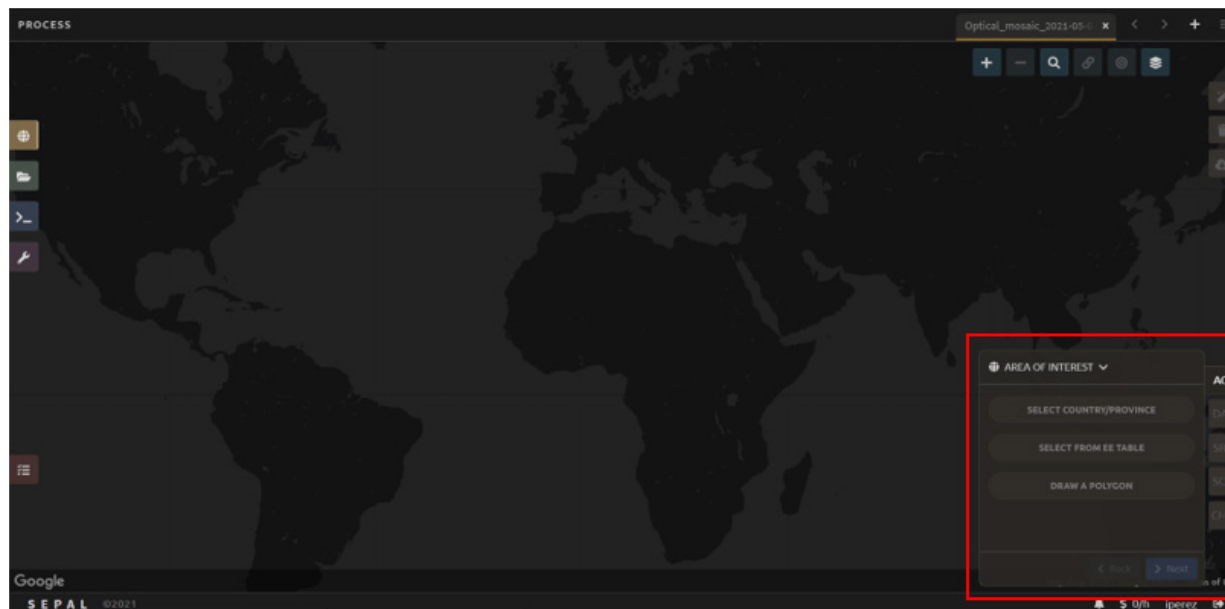


Figura 12 Ventana de procesamiento para la generación del mosaico óptico

En dicha ventana, el primer proceso a realizar es definir el área de interés de donde se desea obtener el mosaico, para esto se tienen 3 opciones (Figura 12):

1. Seleccionar el país y la provincia de interés
2. Seleccionar coordenadas a partir de un Tabla de Earth Engine (EE Table)
3. Dibujar un polígono que defina la zona de estudio.

Con el fin de poder abarcar todas las zonas prioritarias de restauración de manera sencilla, en este ejemplo se creará un mosaico para todo el país; por lo que, al dar clic en la primera opción, en la sección de “País” (Country) se debe escribir “Perú” tal como se muestra en la Figura 13.

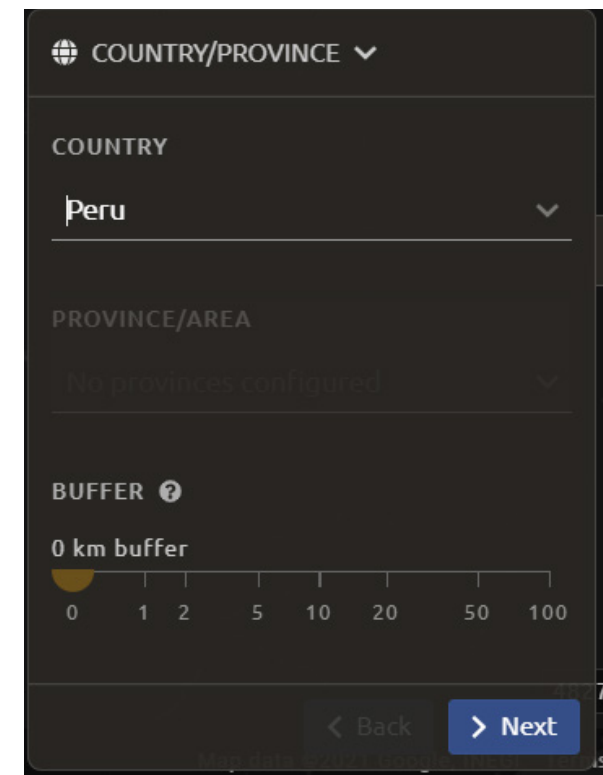


Figura 13 Configuración de la opción de Área de Interés según País

Como se puede observar, la opción permite crear un área de amortiguamiento (buffer) a partir del área seleccionada. En este caso, al trabajar con los límites del país no se recomienda la implementación de buffers ya que esto incrementará la zona a trabajar (ya sea incluyendo países vecinos y/o áreas de mar) y por tanto el tiempo de procesamiento. Una vez hecho esto, dar clic en “Siguiente”

> Siguiente

En la sección siguiente se debe seleccionar el año para el que se desea obtener el mosaico. Para esto, debe de dar clic en el icono que se encuentra a la par del año que se muestra por defecto. De esta manera, se desplegará un listado de los años a disposición desde donde debe seleccionar el año en estudio dando clic en este (Figura 14):

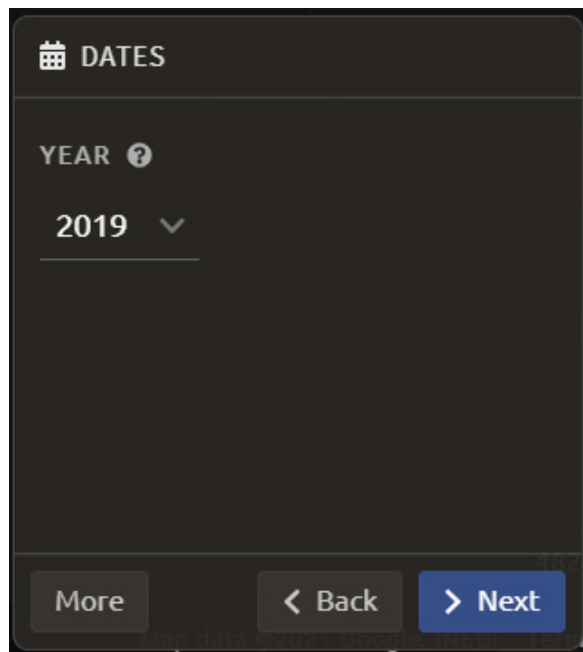


Figura 14 Selección del año en estudio para la creación del mosaico

Si lo desea, puede seleccionar fechas específicas para la generación del mosaico, pudiendo indicar además si desea que se incluya información antes o después de las fechas estipuladas.

Para acceder a esta opción es necesario dar clic en “Más” **Más** (Figura 14), donde se mostrará una ventana que le permitirá realizar las siguientes acciones (Figura 15):

1. Modificar las fechas exactas entre las que desea confeccionar el mosaico al seleccionarlal en la línea temporal que se muestra
2. Elegir la cantidad de estaciones tanto antes como después a las fechas seleccionadas para el análisis (esto puede ser de utilidad si se planean llevar a cabo realizar análisis de estacionalidad con el mosaico creado)
3. Seleccionar una fecha objetivo de la cual sería ideal que pertenecieran los pixeles del mosaico

Una vez definidas las fechas del análisis es necesario dar clic en “Siguiente”.

> Siguiente



Figura 15 Configuración avanzada de las fechas de las imágenes que compondrán el mosaico

En la siguiente sección deberá seleccionar el tipo de imágenes disponibles para las fechas seleccionadas para la creación del mosaico. En el caso de las imágenes Landsat, la plataforma permite seleccionar entre trabajar con imágenes de grado 1 (de mejor calidad) o de grado 2 (de menor calidad) o una combinación de ambas. En el caso de Sentinel-2 se trabaja con una combinación de los satélites Sentinel-2 A y B. Seleccione el tipo de imagen deseada dando clic en esta y luego de clic en “Hecho”

✓ Hecho

Se recomienda utilizar las imágenes Sentinel 2 que poseen una mayor resolución, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 16.

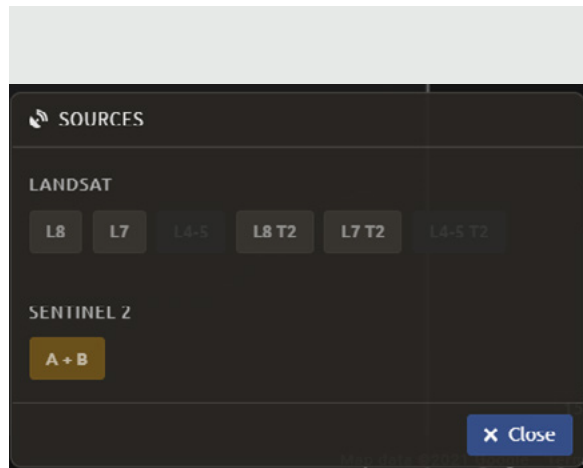


Figura 16 Selección del tipo de imagen para la creación del mosaico

La plataforma cargará una previsualización del mosaico según la cantidad de secciones en las que se ubican las imágenes dentro del área de interés seleccionada. Para el caso del mosaico de todo Perú, por la extensión del territorio, la plataforma no es capaz de cargar una previsualización de todo el país, por lo que se recomienda hacer un zoom de manera que se pueda previsualizar el mosaico del país por secciones (Figura 17).

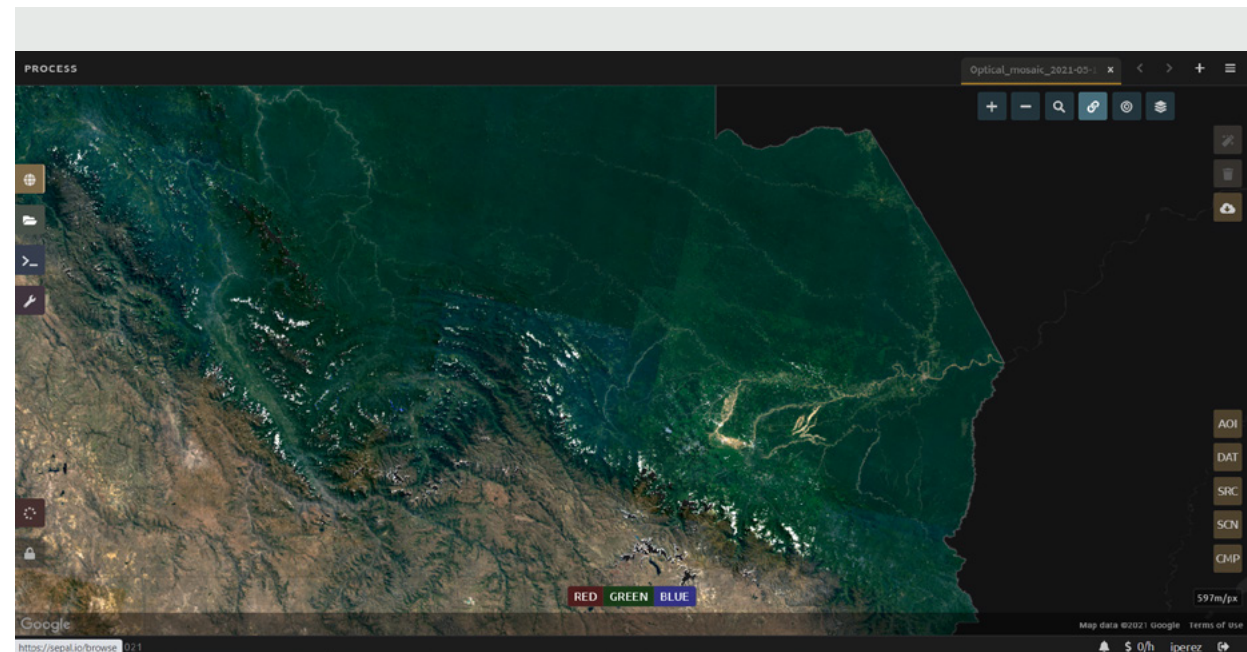


Figura 17 Previsualización del mosaico

Este mosaico se encuentra compuesto por todas las imágenes disponibles en las fechas elegidas, no obstante, es conveniente mejorarlo mediante una selección de las imágenes según diferentes objetivos. Para llevar esta selección, dirijase a la opción 4 y de clic en “Seleccionar escenas”

SELECCIONAR ESCENAS

y escoja el método de selección de imágenes según las siguientes opciones:

1. “Libre de nubes” (Cloud free): Esta opción buscará las imágenes con menor nubosidad posible de manera que el mosaico tendrá la menor cantidad posible de nubes.
2. “Equilibrado” (Balanced): Esta opción buscará las imágenes que permitan crear un mosaico con un mejor balance de colores.
3. “Fecha objetivo” (Target Date): Esta opción seleccionará los píxeles de las imágenes según su cercanía a la fecha objetivo, definida previamente.

Se recomienda configurar la herramienta según el ejemplo que se muestra en la Figura 18 y dar clic en “Aplicar”:

✓ Aplicar

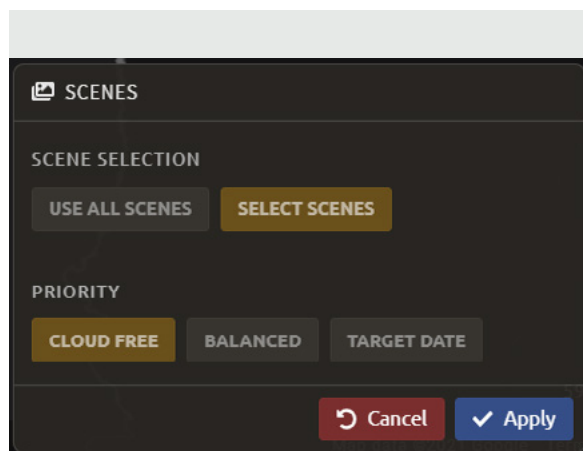



Figura 18 Configuración del método de selección de imágenes

Para que la plataforma muestre una nueva previsualización se debe indicar primero la cantidad mínima y máxima de imágenes a incluir en el mosaico. Para llevar a cabo esta acción, debe dar clic en la opción de “Selección automática de escenas” , la cual se encuentra en la esquina superior derecha de la plataforma (Figura 19).

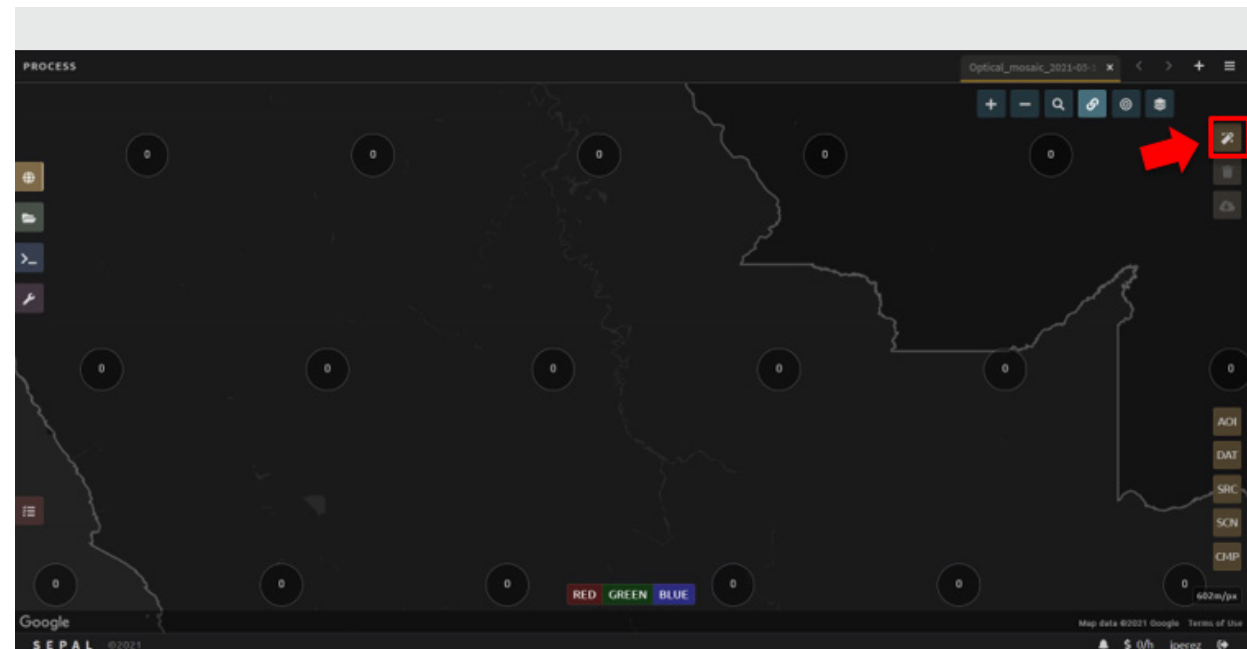


Figura 19 Ubicación de la opción “Selección automática de escenas”

Se desplegará una ventana donde debe seleccionar el número mínimo y máximo de escenas para su mosaico.

En la ventana que se despliega, seleccione el número mínimo y máximo de imágenes que desee para su mosaico y de clic en “Seleccionar escenas”

✓ Seleccionar escenas

Se recomienda seleccionar un mínimo de 50 imágenes y el máximo posible de escenas disponibles tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 20.

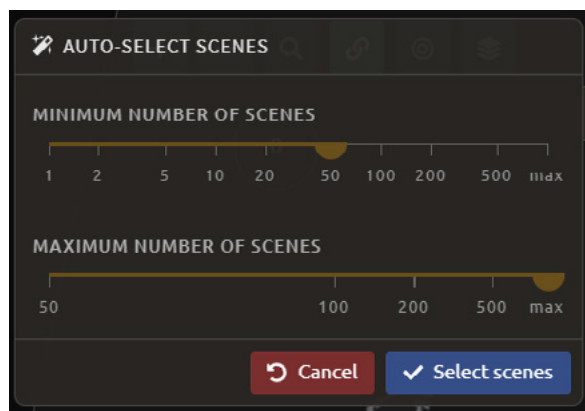


Figura 20 Configuración de la opción de “Selección automática de escenas”

Se cargará una nueva previsualización que además mostrará la cantidad de imágenes seleccionadas para cada una de las secciones que componen el polígono (Figura 21).

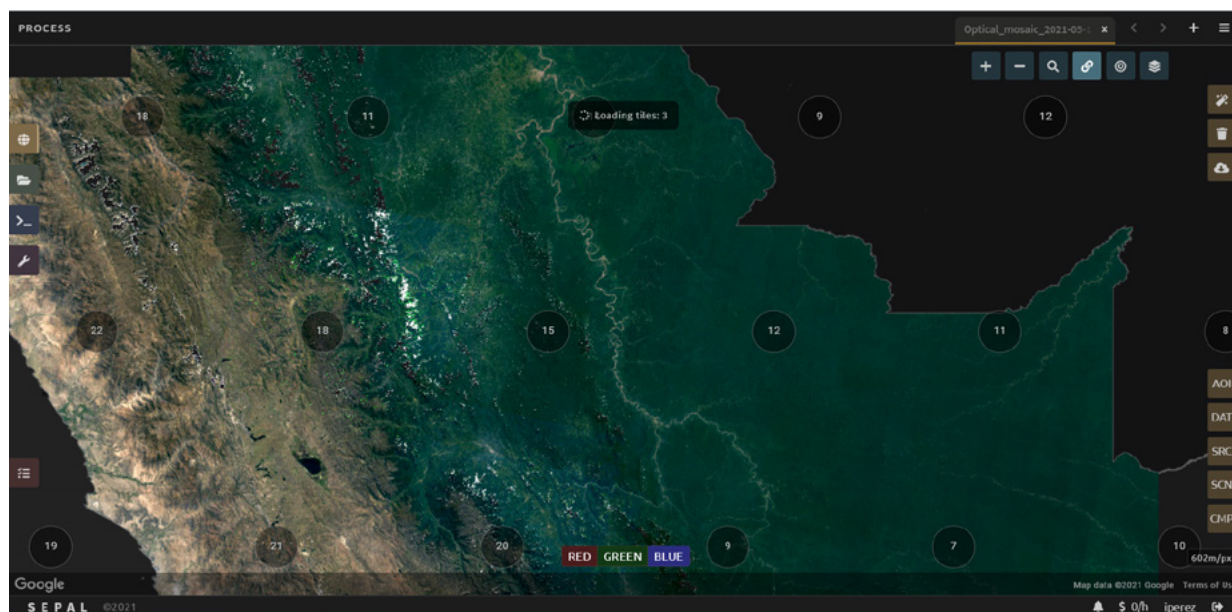


Figura 21 Configuración del método de selección de imágenes

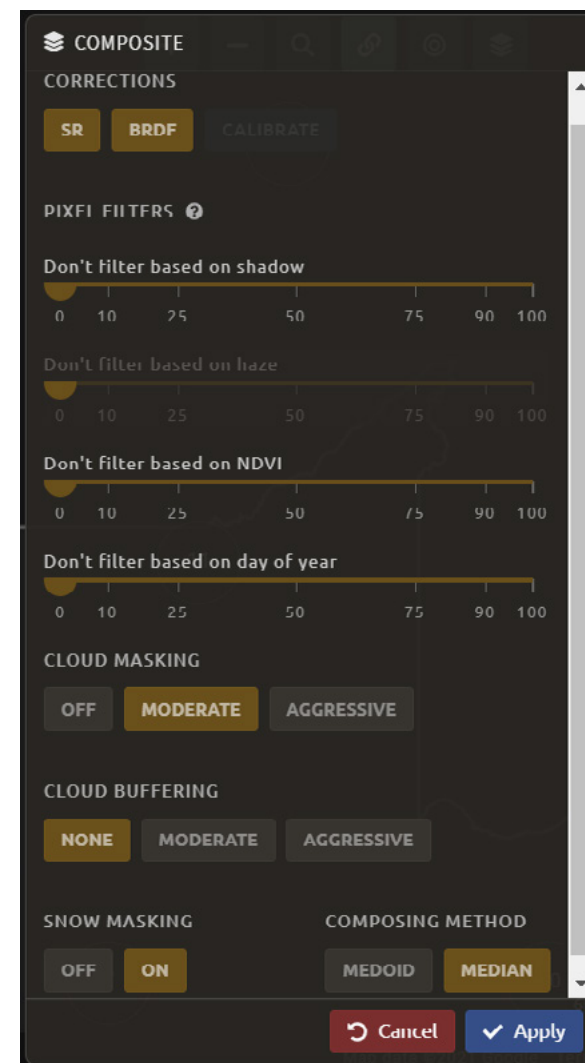



Figura 22 Configuración de la ventana “Composite”.

Una vez finalizado el mosaico, proceda a guardar el flujo de trabajo dando clic en el icono de guardado  ubicado en la sección superior derecha de la plataforma, y en la ventana que se despliega, de clic en “Guardar flujo de trabajo” (Figura 23).

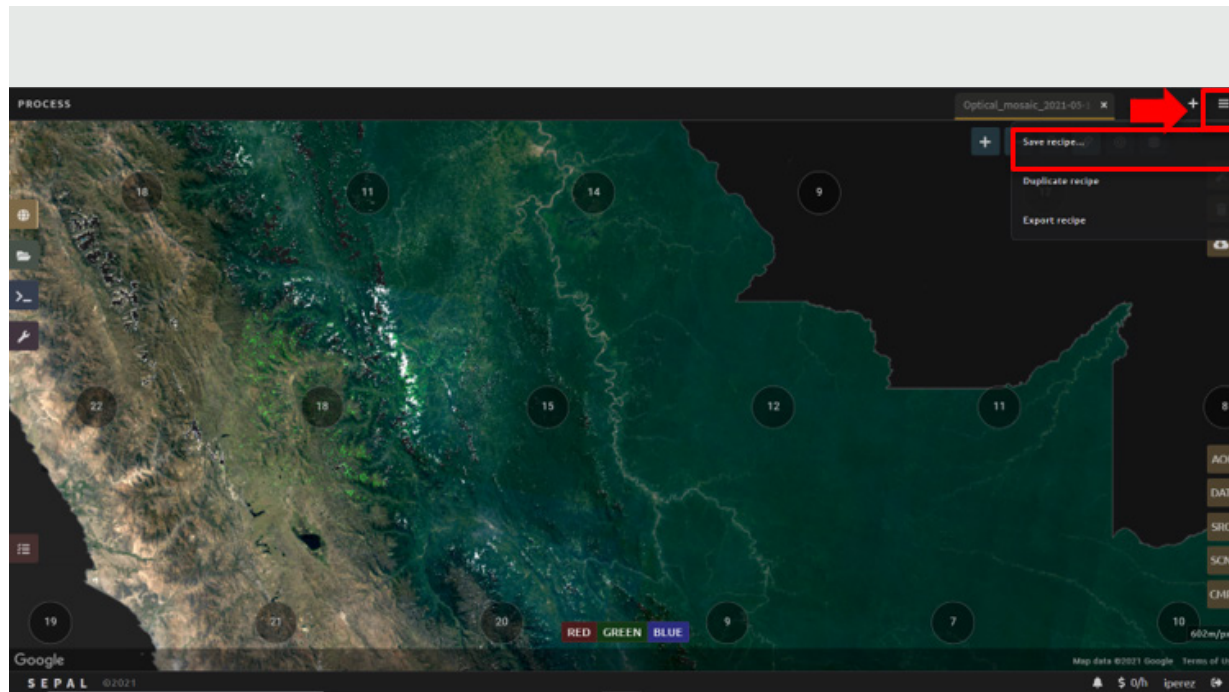


Figura 23 Opción de guardado del proceso

En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”  (Figura 24).

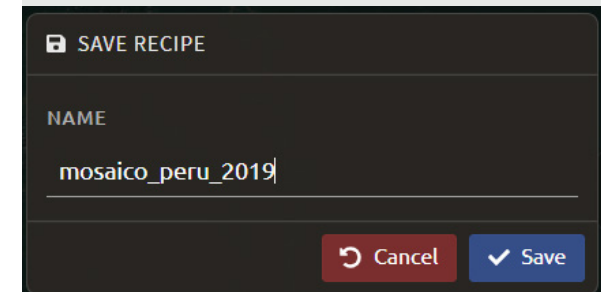



Figura 24 Guardado del proceso

Finalmente, se recomienda importar el mosaico como un Asset de Google Earth Engine, ya que esto simplificará los procesos futuros de clasificación y detección de cambios en la cobertura forestal. Para esto, de clic al icono de “Importar mosaico”  en la sección superior derecha de la pantalla (Figura 25).

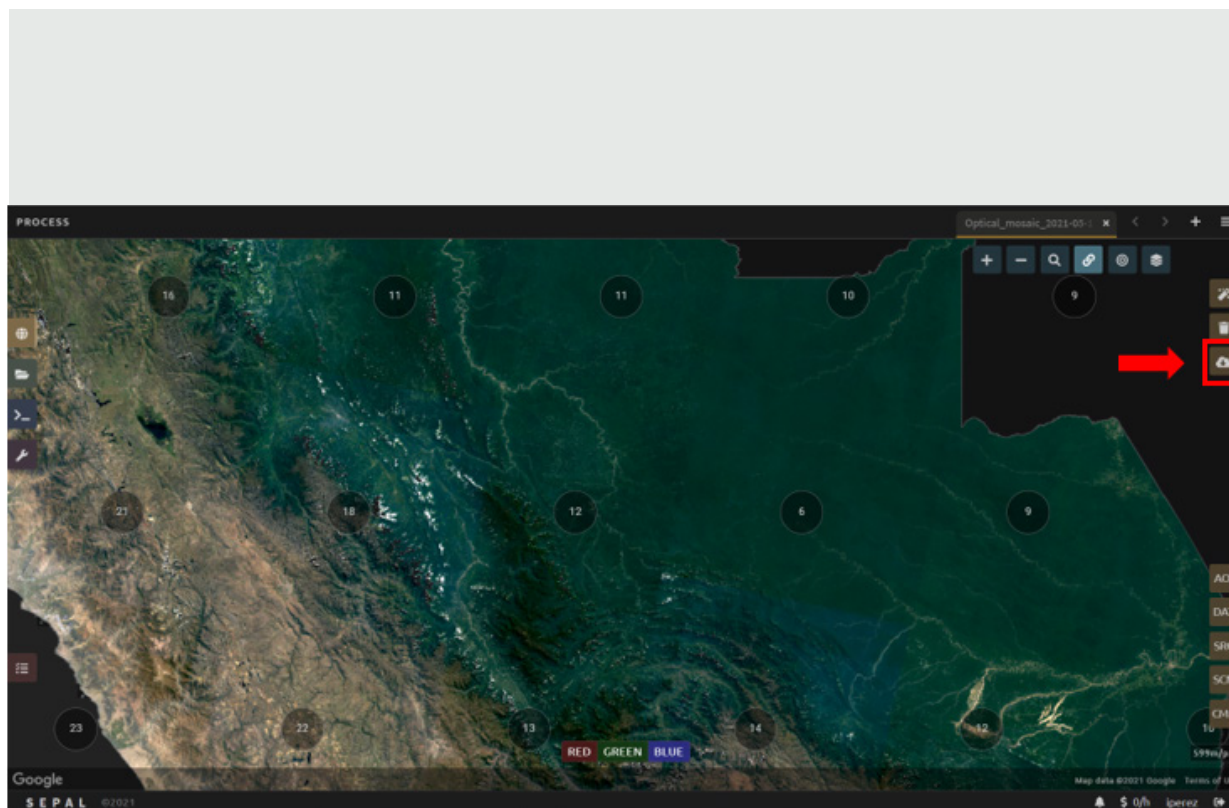


Figura 25 Ubicación de la opción “Importar mosaico”

En la ventana que se desplegará seleccione las bandas visibles e infrarroja y seleccione la escala de importación en 10m (resolución de las imágenes Sentinel) y de clic en la opción de Asset de Google Earth Engine y luego de clic en “Importar” **✓ Importar**, tal como se muestra en el ejemplo de la Figura 26.

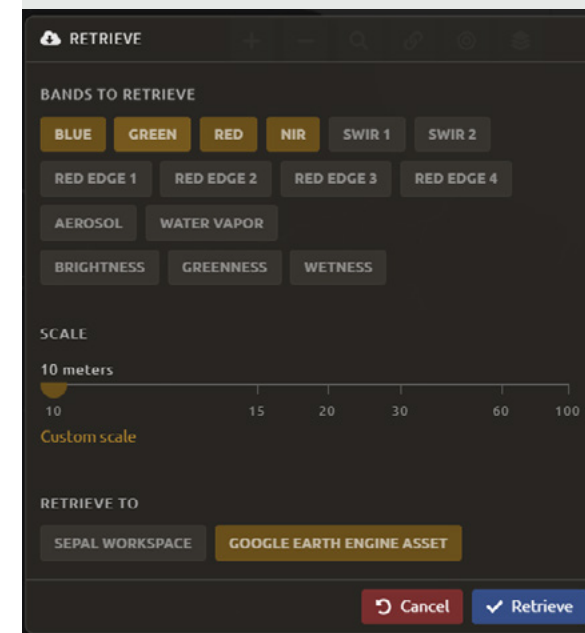


Figura 26 Configuración de la opción de “Importar mosaico”

En la pestaña de tareas  a la izquierda de la pantalla podrá monitorear el proceso de importación del mosaico (Figura 27).

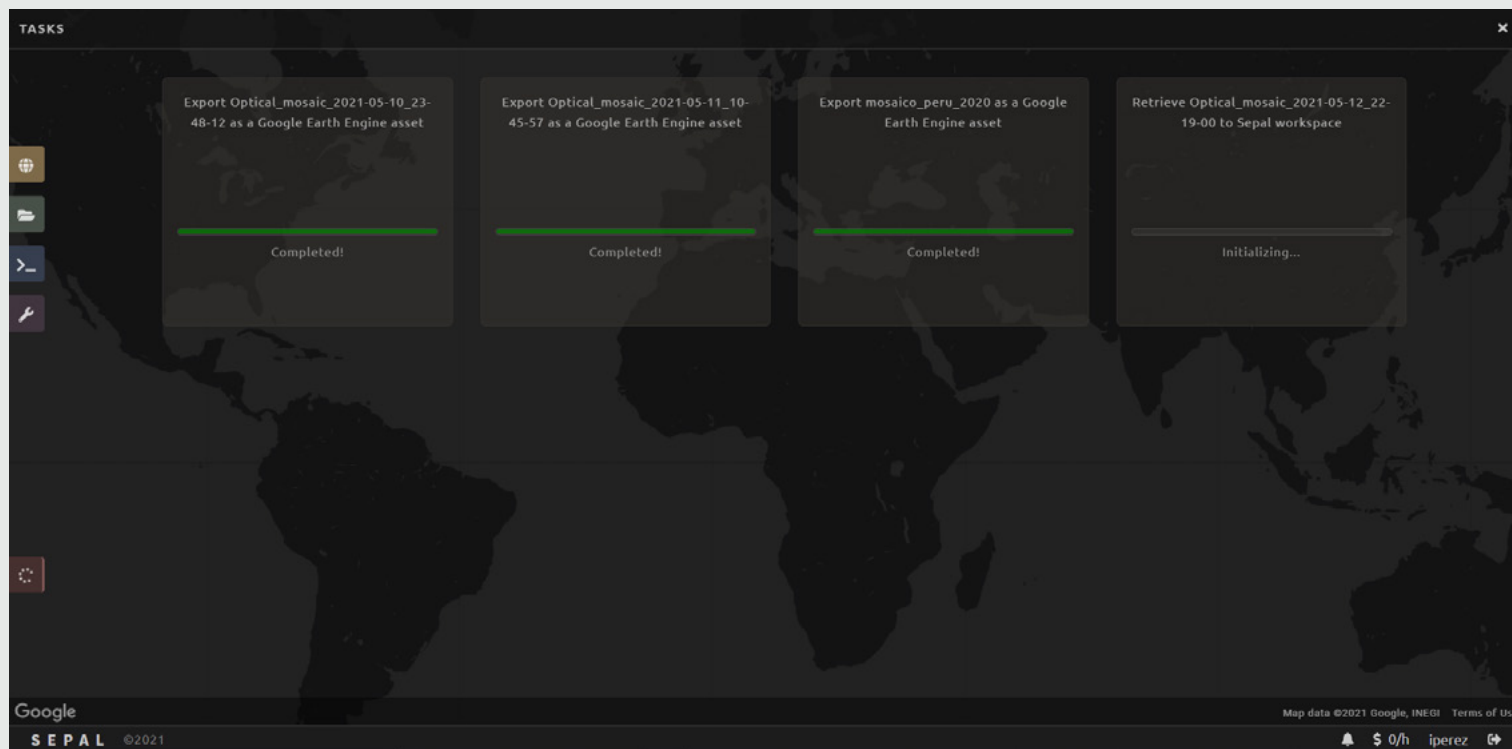


Figura 27 Seguimiento del proceso de importación del mosaico

Para acceder a un video explicativo de este Capítulo ingrese al siguiente enlace:
<https://youtu.be/sQ4L2BZOdF4>

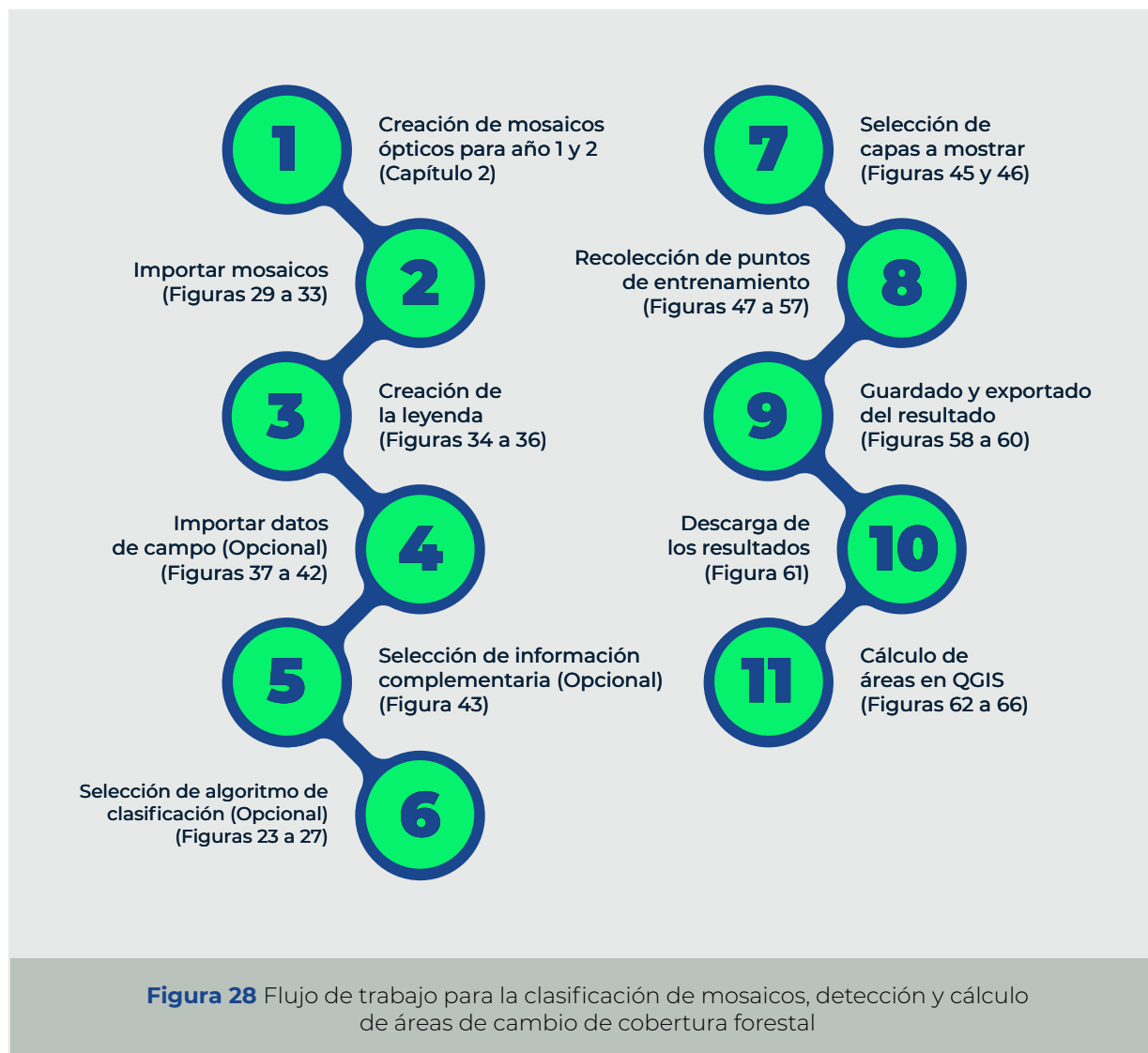
CAPÍTULO

03



Clasificación de mosaicos y detección
de cambios en cobertura forestal



El flujo metodológico para llevar a cabo la detección de cambios de la cobertura forestal, tanto positivos (área restaurada) como negativos (área deforestada), se detalla en la Figura 28:



Para llevar a cabo la detección de cambios de la cobertura forestal, tanto positivos (área restaurada) como negativos (área deforestada) primero se debe crear e importar como Asset de Google Earth dos mosaicos siguiendo los pasos detallados en el Capítulo 2. Cree uno para el año base en el que desea iniciar el análisis (año 1) (ejemplo: 2018) y otro para el año de comparación (año 2) (ejemplo: 2020).

Una vez realizados los mosaicos, en la pestaña de procesos  debe dar clic en el icono de más  que se encuentra en la sección inferior derecha de la pantalla. En la ventana que se desplegará seleccione la tercera opción: "Clasificación de imágenes" (Figura 29).



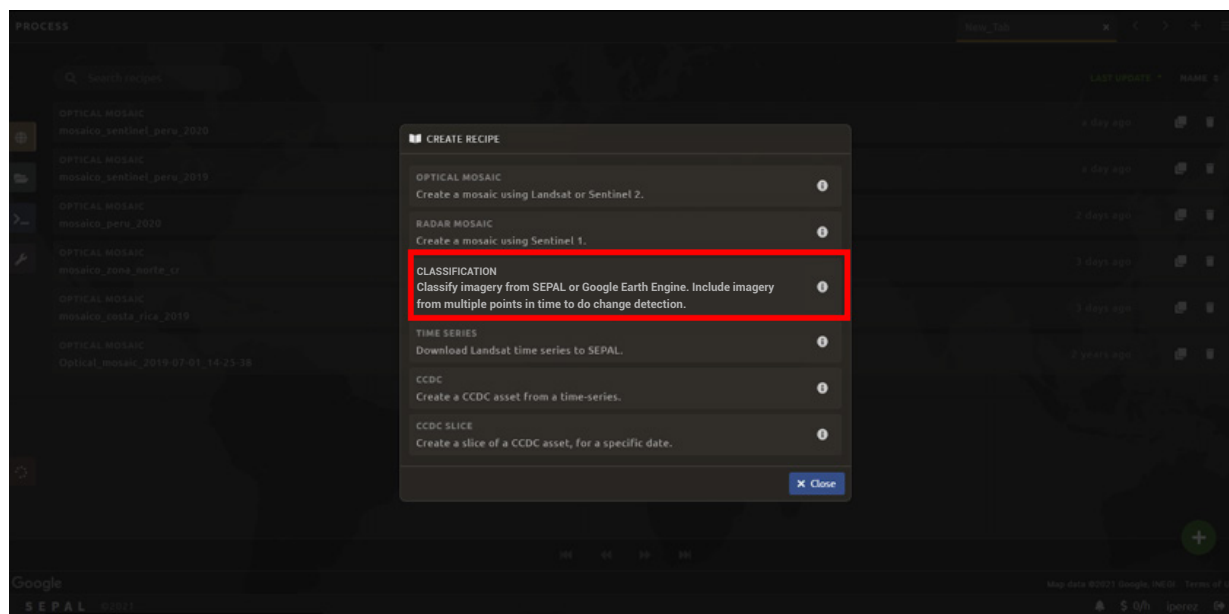


Figura 29 Ubicación de la opción de “Clasificación de imágenes”

En la primera opción del flujo de trabajo que se desplegará en la sección inferior derecha, debe escoger las imágenes que clasificará, para esto, de clic en la opción de “Añadir” **+ Añadir** (Figura 30).

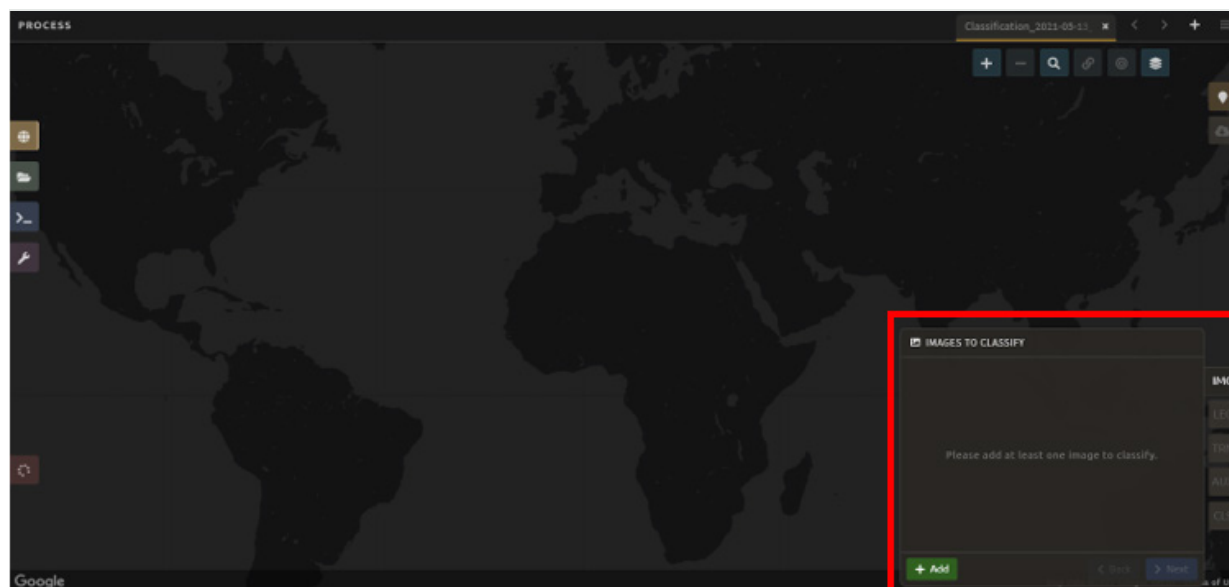


Figura 30 Ubicación del flujo de trabajo para la clasificación de imágenes y detección de cambios.

En la ventana que se desplegará seleccione Earth Engine Asset (Figura 31):

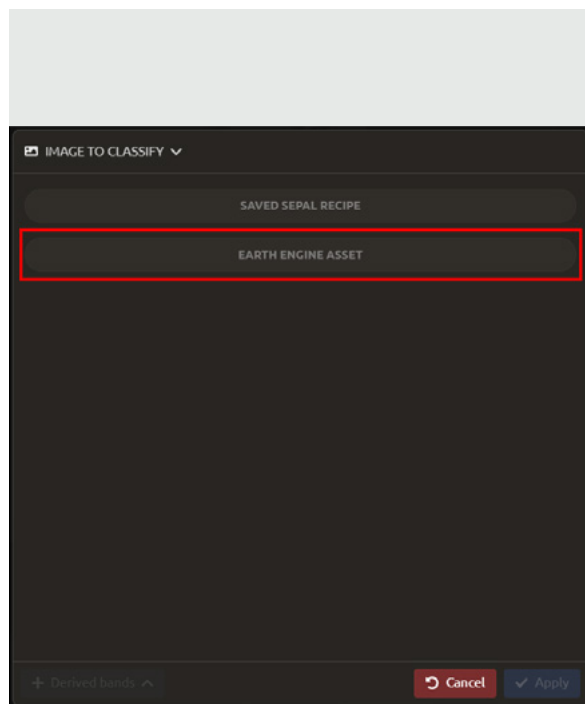


Figura 31 Selección de Asset de Earth Engine para cargar los mosaicos

Al dar clic en dicha opción, la ventana cambiará permitiéndole ingresar el ID del Asset de Earth Engine que le permitirá seleccionar y utilizar en el análisis los mosaicos creados. Todos los ID presentan la siguiente estructura: “users/su usuario de google/el nombre del flujo de trabajo de SEPAL con la que guardó el mosaico”. Ingrese el ID del

mosaico generado para el año 1 y seleccione todas las bandas disponibles dando clic en estas tal como se muestra en la Figura 32. Finalmente, de clic en “Aplicar”

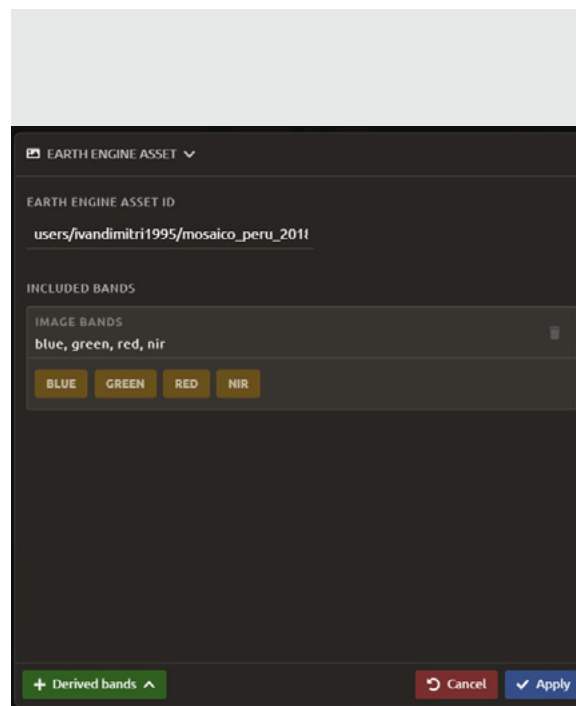


Figura 32 Selección de las bandas y carga del mosaico creado para su análisis

Realice nuevamente los procedimientos anteriormente descritos y esta vez ingrese el ID del Asset correspondiente al mosaico del año 2. Al final de la carga deberá observar el nombre de los mosaicos en la primera

pestaña del flujo de trabajo. Finalmente, de clic en el botón de “Siguiente”

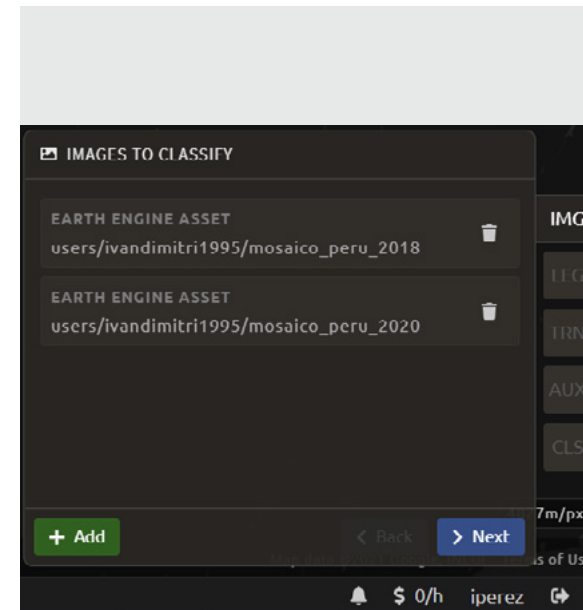


Figura 33 Mosaicos cargados en la primera opción del flujo de trabajo

La segunda pestaña del flujo de trabajo le permitirá crear las clases en las que desea clasificar los mosaicos. Para esto, de clic en el botón “Añadir”

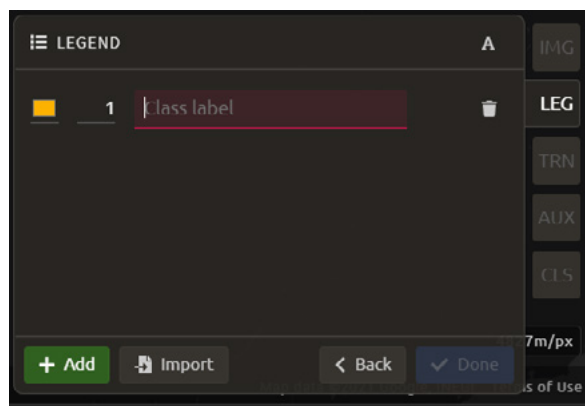


Figura 34 Creación de las clases para la clasificación

Se recomienda el uso de las siguientes clases (Figura 35):

1. Bosque estable: Corresponde a áreas donde en ambos años de comparación había presencia de cobertura forestal.
2. No bosque estable: Corresponde a áreas donde en ambos años de comparación se mantuvo el mismo uso de la tierra y este no presenta cobertura forestal.
3. Pérdida de cobertura forestal: Corresponde a área donde en el año 1 presentaban cobertura forestal y en el año 2 se dio un cambio de uso y la cobertura fue eliminada.
4. Aumento de cobertura forestal: Corresponde a área donde en el año 1 correspondían a usos de la tierra sin cobertura forestal y en el año 2 se da un aumento de cobertura (zonas restauradas).

5. Otros cambios: Corresponde a cambios de usos de la tierra entre los años de comparación que no involucran un cambio en la cobertura forestal (Ej: Pastos que se convierten a cultivos o a zonas urbanas).

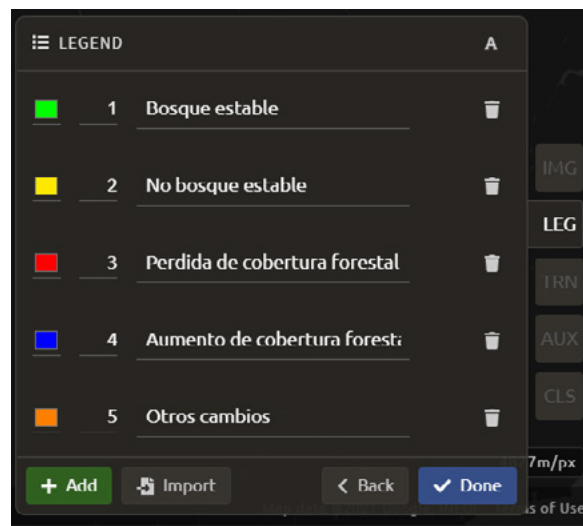



Figura 35 Clases recomendadas para la clasificación y detección de cambios

Si desea eliminar alguna clase de las agregadas, debe dar clic en el botón de “Eliminar”  al lado de cada clase. Por otro lado, al dar clic en el cuadro de color al lado del número de la clase, podrá cambiar el color de cada clase para que sea representativo para cada una de estas, de manera que sea más fácil la interpretación del resultado. Se desplegará la siguiente ventana (Figura 36):

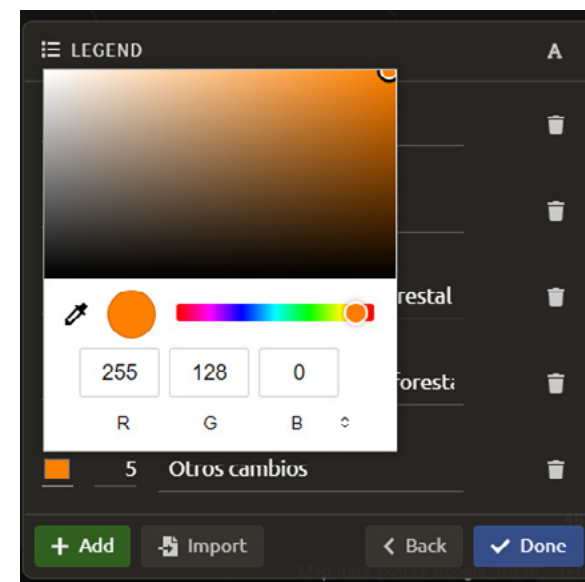


Figura 36 Configuración del color de la clase

Se recomiendan los siguientes colores y codificación para las clases:

1. Verde: R:0, V:255, B:0
2. Amarillo: R: 255, V:233, B:0
3. Rojo: R:255, V:0, B:0
4. Azul: R:0, V:0, B:255
5. Naranja: R:255, V:128, B:0

Una vez finalizada la configuración de las clases a utilizar, debe dar clic en la opción de “Hecho” . Las siguientes pestañas del flujo de trabajo son configuraciones complementarias y opcionales, que pueden ayudarle a mejorar la clasificación.

Por ejemplo, la siguiente pestaña permite cargar información de campo que se haya recolectado según las clases creadas. Una buena práctica a seguir en la creación de clasificaciones de cobertura, es complementar lo que el usuario visualiza en la plataforma SEPAL con datos que obtuvo de campo. De esta forma, en el campo se pueden obtener puntos geográficos donde se conoce el tipo de cobertura, y utilizarlos posteriormente en SEPAL como “puntos de entrenamiento”, para mejorar la capacidad del algoritmo de detectar tipos de cobertura. Para ingresar esta información, basta con dar clic en la opción de “Añadir” **+ Añadir** (Figura 37).

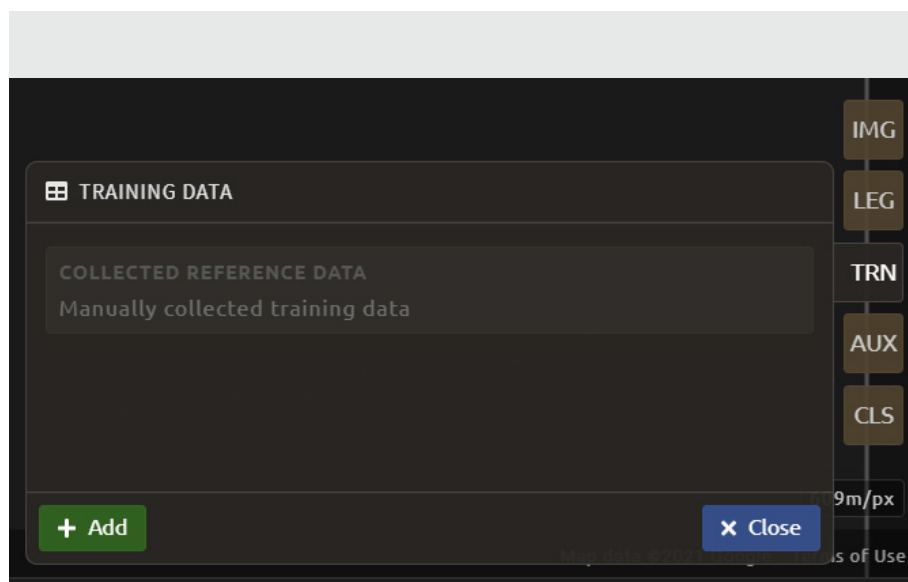


Figura 37 Pestaña importar datos recolectados en campo

Seguidamente se le desplegará una ventana que le permitirá cargar los datos desde cuatro diferentes opciones (Figura 38):

1. Archivo CSV
2. Una tabla de Earth Engine
3. Una clasificación previa
4. Un flujo de trabajo de SEPAL previo

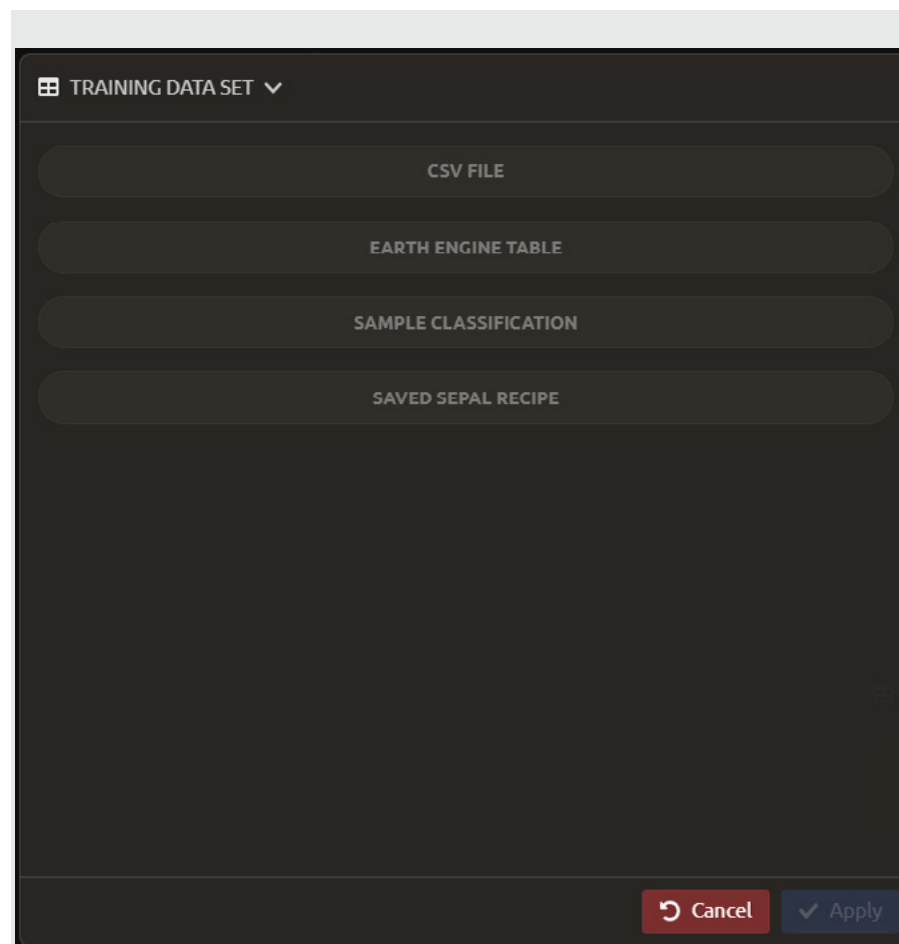


Figura 38 Pestaña importar datos recolectados en campo

Por su sencillez, se recomienda cargar los datos a partir de un archivo CSV. Para esto seleccione dicha opción y arrastre el archivo hacia la plataforma y de clic en siguiente **> Siguiente** (Figura 39).

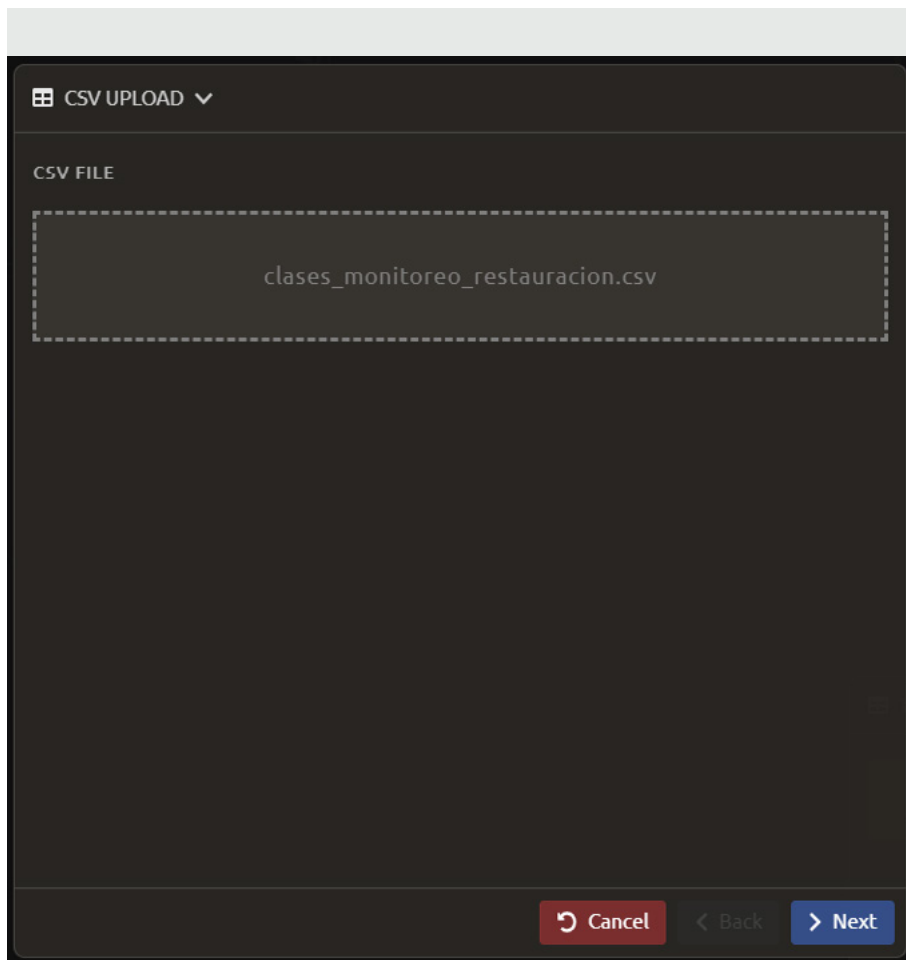
The screenshot shows a dark-themed interface for uploading a CSV file. At the top, there is a header with a grid icon and the text 'CSV UPLOAD' followed by a downward arrow. Below this, the text 'CSV FILE' is displayed. A large dashed rectangular box is centered on the screen, containing the filename 'clases_monitoreo_restauracion.csv'. At the bottom of the interface, there are three buttons: a red 'Cancel' button with a circular arrow icon, a grey '< Back' button, and a blue '> Next' button.

Figura 39 Carga del archivo CSV a la plataforma

El archivo a cargar debe tener 3 columnas: Una con la latitud (en grados decimales), otra con la longitud (en grados decimales) y una con el nombre de la clase. Por tanto, en la siguiente ventana seleccione la opción de “Columnas de coordenadas X/Y”

COLUMNAS DE COORDENADAS X/Y indíquelo al programa el nombre de la columna tanto para la longitud como para la latitud y de clic en “Siguiente” **> Siguiente** (Figura 40).

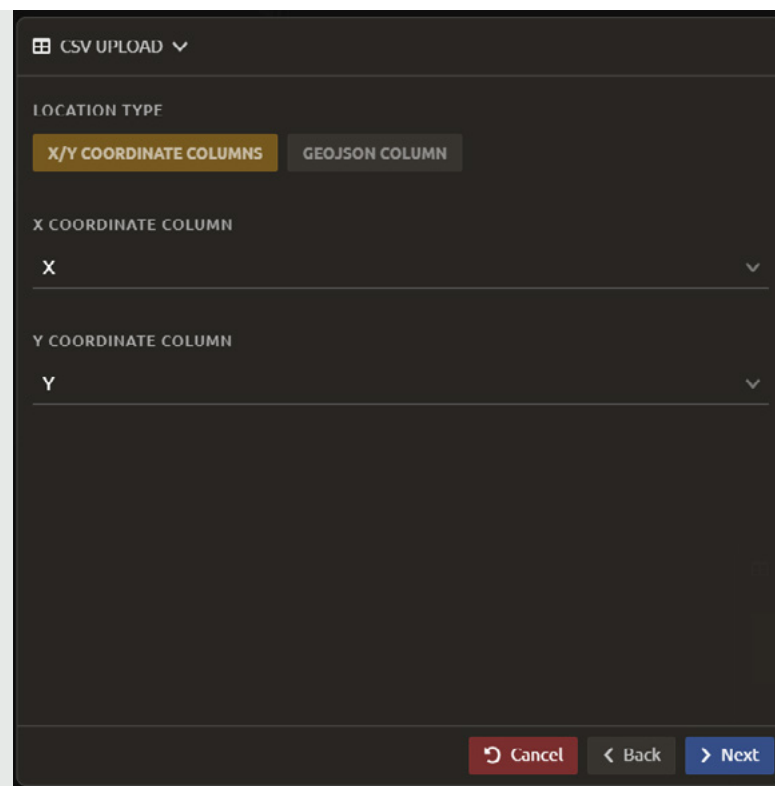
The screenshot shows the same dark-themed interface as Figure 39, but at a different step. The 'LOCATION TYPE' section is active, showing two buttons: 'X/Y COORDINATE COLUMNS' (highlighted in orange) and 'GEOJSON COLUMN' (greyed out). Below this, there are two sections: 'X COORDINATE COLUMN' with a dropdown menu showing 'X', and 'Y COORDINATE COLUMN' with a dropdown menu showing 'Y'. At the bottom, the same three buttons ('Cancel', '< Back', '> Next') are present.

Figura 40 Asignación de las columnas del CSV con las coordenadas X/Y

En la ventana que sigue indique a la plataforma que el formato de la clase es de “Columna única” **COLUMNA ÚNICA**, el nombre de la columna del CSV con los datos de la clase y de clic en “Siguiente” (Figura 41).

The screenshot shows the 'CSV UPLOAD' interface. At the top, there's a 'ROW FILTER EXPRESSION' section with a text input field labeled 'Enter expression'. Below that is the 'CLASS FORMAT' section with three buttons: 'SINGLE COLUMN' (highlighted in orange), 'COLUMN PER CLASS', and 'OTHER FORMAT'. Underneath is the 'CLASS COLUMN' section with a dropdown menu currently showing 'CLASE'. At the bottom, there are three buttons: 'Cancel' (red), 'Back' (grey), and 'Next' (blue).

Figura 41 Asignación de la columna de clase

Finalmente, asigne los valores de la columna de clase a las clases de la leyenda creada en SEPAL. Para esto de clic en el botón de “Más” **+** al lado de cada clase y seleccione el dato correspondiente a cada una (Figura 42). Al final, dar clic en “Hecho” **✓ Hecho**.

The screenshot shows the 'CSV UPLOAD' interface with the 'CLASS FORMAT' set to 'SINGLE COLUMN'. It displays three classes with their corresponding column values assigned:

- Class 1: Bosque estable** (green square). The 'COLUMN VALUE(S)' field shows '0' with a green '+' button. A dropdown menu is open, showing 'Bosque estable' (highlighted in orange), 'No bosque estable', 'Perdida de cobertura forestal', 'Aumento de cobertura forestal', and 'Otros cambios'.
- Class 3: Perdida de cobertura forestal** (red square). The 'COLUMN VALUE(S)' field shows '0' with a green '+' button. Below it, it says 'No column value selected for this class'.
- Class 4: Aumento de cobertura forestal** (blue square). The 'COLUMN VALUE(S)' field shows '0' with a green '+' button.

 At the bottom, there are three buttons: 'Cancel' (red), 'Back' (grey), and 'Done' (blue).

Figura 42 Asignación de la información de los puntos de campo a las clases de SEPAL

La cuarta pestaña del flujo de trabajo presenta diversas fuentes de datos que complementan y facilitan la implementación del algoritmo de clasificación (Figura 43).

1. Latitud: Se incluye la latitud de cada pixel
2. Terreno: Se incluye información del terreno a partir del satélite radar SRTM de la NASA.
3. Agua: Se incluye información de cuerpos de agua.

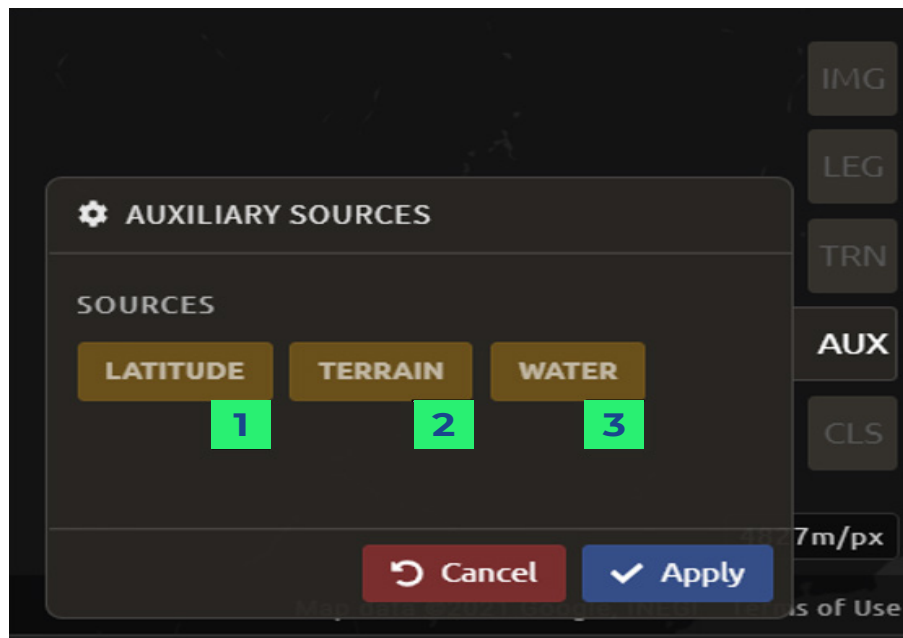


Figura 43 Fuentes de datos complementarias

Se recomienda trabajar la clasificación originalmente sin activar estas opciones. En caso de requerirse una mejora del resultado, basta con marcar una o todas las opciones y dar clic en “Aplicar”

✓ Aplicar

La última pestaña del flujo de trabajo permite elegir y configurar el algoritmo de clasificación a implementar entre varias opciones. Se recomienda trabajar con la configuración por defecto en la que se utiliza el algoritmo “Random Forest” con 25 árboles de decisión. En caso de que se desee implementar otro algoritmo, basta con dar clic en el nombre de este e introducir los parámetros que cada uno de estos requiera (Figura 44).

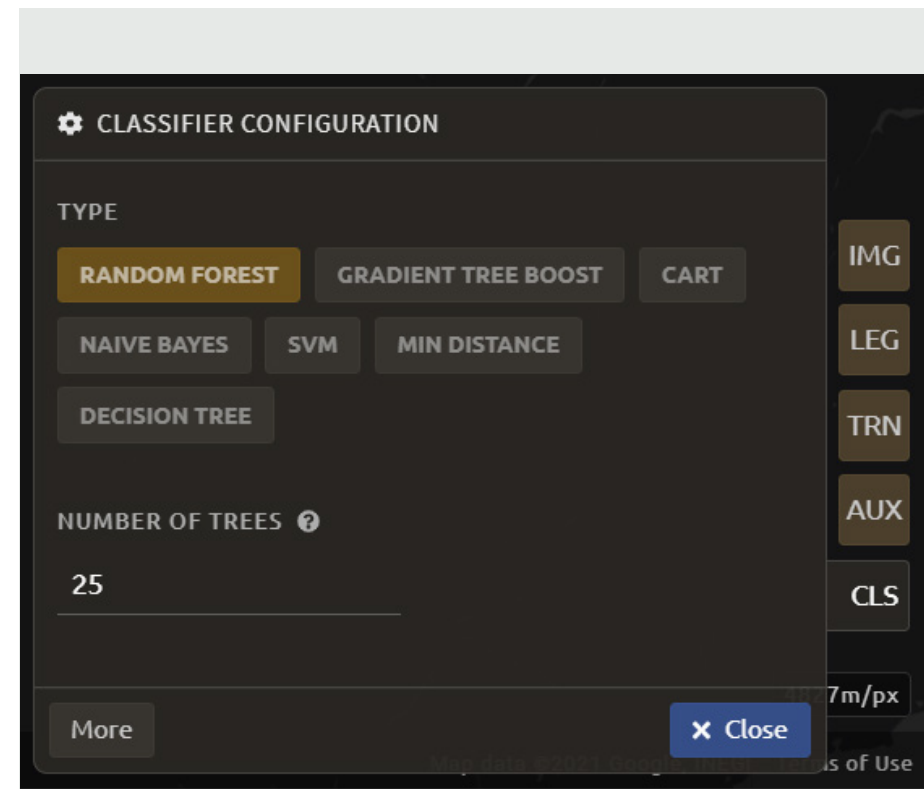



Figura 44 Algoritmos disponibles para la clasificación y detección de usos y cobertura de la tierra

Una vez configurado el flujo de trabajo debe iniciar la recolección de los puntos de entrenamiento. Para esto, debe acceder primero a imágenes para ambos años en análisis, por lo que debe dirigirse a la opción de “Selección de capas a mostrar”  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla y al darle clic se desplegará la siguiente ventana (Figura 45):

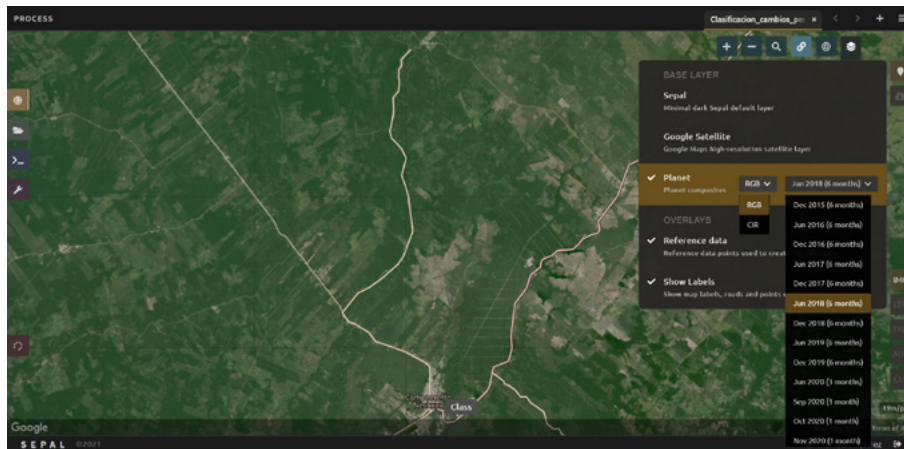


Figura 45 Selección de capas a mostrar


En la sección de “Capa base” (base layer) asegúrese de seleccionar la opción de Planet, tal como se muestra en la Figura 45. Esta opción le permitirá seleccionar mosaicos de imágenes con una resolución espacial de 3m desde el segundo semestre del 2015 a la actualidad. Desde el 2015 hasta el segundo semestre del 2020 se pueden observar y analizar mosaicos semestrales (2 por año) y a partir del septiembre del 2020 se pueden consultar mosaicos mensuales. También es posible alternar la visualización de dichos mosaicos de “Color verdadero” a “Falso color” (Figura 46) de manera que la vegetación abundante se observe de un color rojizo oscuro y los terrenos sin vegetación de una coloración blanquecina. Para hacer esto, en la opción de Planet cambie el botón de RGB a CIR como se observa en la Figura 45. Es importante aclarar es que las imágenes Planet se utilizan únicamente

como referencia y la clasificación final se lleva a cabo con el mosaico Sentinel anteriormente elaborado.



Figura 46 Mosaico de imágenes Planet
(A. Color verdadero, B. Falso color)

Finalmente, asegúrese de activar en la sección de “Capas de superposición” (Overlays) las opciones de “Datos de referencia” (Data reference) y “Mostrar etiquetas” (Show labels) tal como se muestra en la Figura 45, ya que esta información le será de utilidad para ubicarse en la imagen.

Luego de configurar las imágenes, debe empezar a identificar y etiquetar puntos en el mapa que correspondan a las clases previamente definidas. Para esto active la opción de “Activar la recopilación de datos de referencia”  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla (Figura 47).

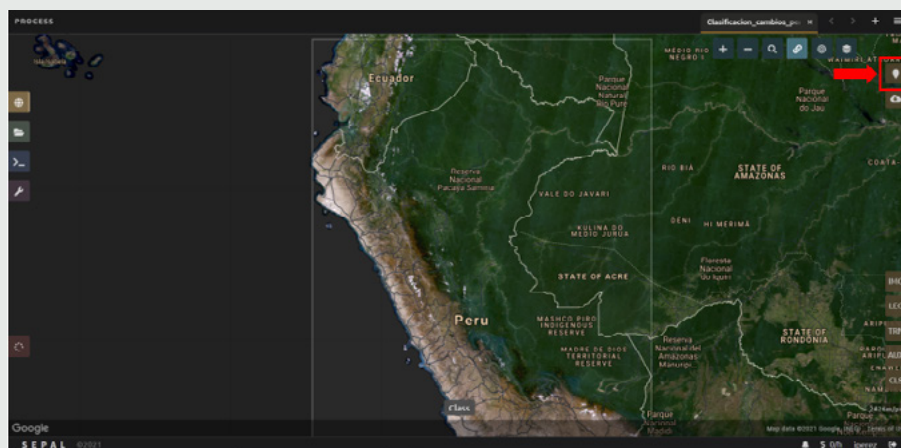


Figura 47 Ubicación de la opción “Permitir la recolección de datos de referencia”

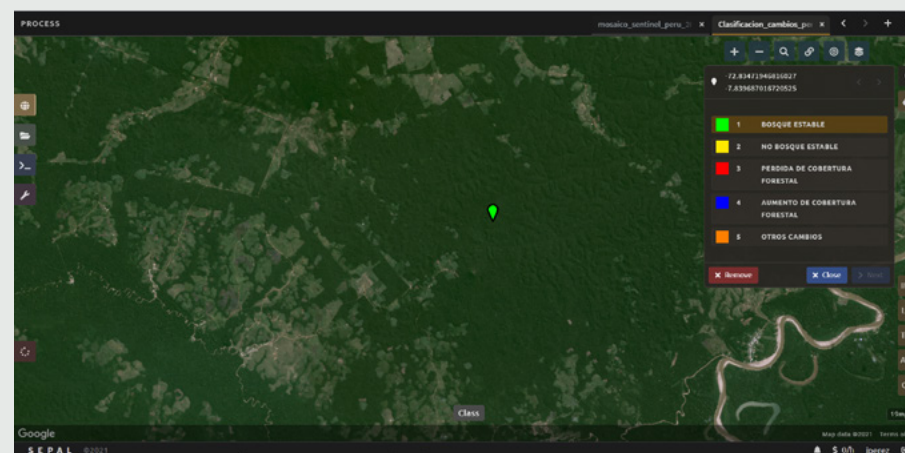


Figura 48 Creación de punto de referencia

Una vez activada esta opción, cada vez que de un clic en el área de estudio se creará un punto de referencia para el algoritmo de clasificación (Figura 48).

Al momento de crear el primer punto, debe de seleccionar la clase a la que corresponde dicho punto, en la ventana que se despliega, tal como se muestra en la Figura 48. Una vez seleccionada una clase los puntos siguientes seguirán perteneciendo a esta clase a menos que se seleccione una nueva clase en la ventana.


Al momento de colocar el primer punto perteneciente a una segunda clase, se desplegará una previsualización de la clasificación. Para que pueda continuar la recolección de datos, puede desactivar esta capa en la opción de “Selección de capas a mostrar”  (Figura 49).



Figura 49 Activación de la previsualización de la clasificación

Alternando entre las diferentes imágenes Planet disponibles para los años de comparación, identifique áreas correspondientes a cada una de las clases y coloque los puntos de referencia. Por ejemplo, la Figura 50 muestra un punto correctamente clasificado como bosque estable.

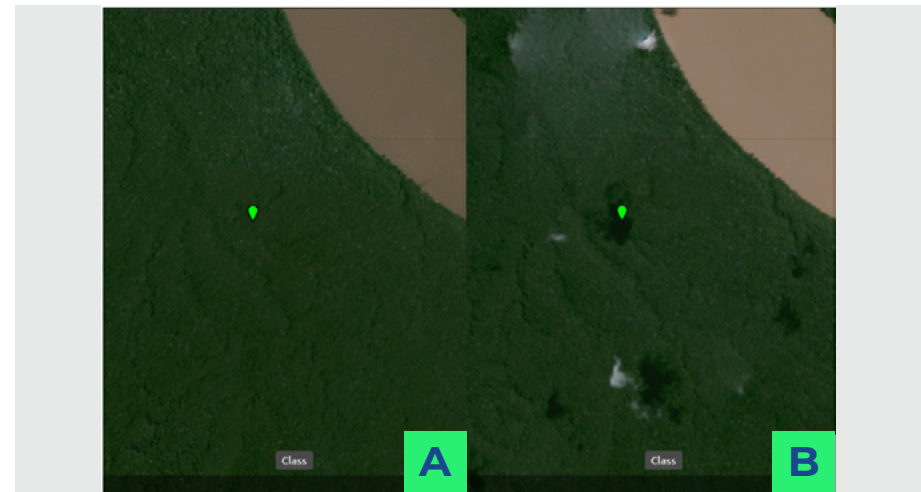


Figura 50 Punto de referencia de Bosque estable. A- Mosaico semestre 1 2018. B- Mosaico semestre 1 del año 2020

En el caso de los puntos de No bosque estable, cree datos de referencia en diversas clases de uso de manera que se abarque la variabilidad dentro de esta macroclase (Ej: Cuerpos de agua, Cultivos, Pasto, Zonas urbanas, entre otros) (Figura 51).



Figura 51 Puntos de referencia de No bosque estable. A- Mosaico semestre 1 2018. B- Mosaico semestre 1 2020

En el caso de las clases de cambio, debe buscar zonas donde se note una diferencia entre las clases de uso de ambos años. Para la “Pérdida de cobertura forestal” identifique zonas donde se denote claramente una corta del dosel (Figura 52).



Figura 52 Punto de referencia de Pérdida de cobertura forestal.
A- Mosaico semestre 1 2018. B- Mosaico semestre 1 del año 2020



Figura 53 Punto de referencia de Aumento de cobertura forestal.
A- Mosaico semestre 1 2018. B- Mosaico semestre 1 2020

Para los puntos de “Aumento de cobertura arbórea” seleccione puntos de referencia donde se evidencie un incremento en la cobertura (Figura 53).

Finalmente, para la clase de “Otros cambios”, identifique zonas donde se observe una diferencia evidente entre las clases de uso de ambos años de comparación y estos no incluyan cambios en la cobertura forestal (Figura 54). Por ejemplo, tierras en preparación que pasan a ser cultivos, pastos que se convierten en zonas urbanas, entre otros. Utilice su conocimiento de la dinámica del paisaje de la zona de estudio para poder ubicar con mayor facilidad dónde colocar puntos de referencia de esta clase.



Figura 54 Punto de referencia de Otros cambios.
A- Mosaico semestre 1 2018. B- Mosaico semestre 1 2020

Para mejorar la exactitud de la clasificación, cree como mínimo 30 puntos en cada clase y asegúrese de que estos queden bien distribuidos en el área de estudio de manera que esta quede abarcada en su totalidad. Entre más puntos de entrenamiento agregue, la clasificación tendrá un mejor resultado. El programa le indicará cuántos puntos ha colocado y la ubicación de estos los puntos (Figura 55).



Figura 55 Ubicación de los puntos de referencia en el área de estudio

Mediante la previsualización, podrá ir observando los resultados y modificando los puntos de control de manera que se obtenga un mejor resultado. El producto final esperado es una clasificación a nivel país donde se denotará en rojo todas aquellas zonas deforestadas y en azul todos aquellos sectores donde la restauración ha sido efectiva y se ha dado un aumento en la cobertura forestal (Figuras 56 y 57).

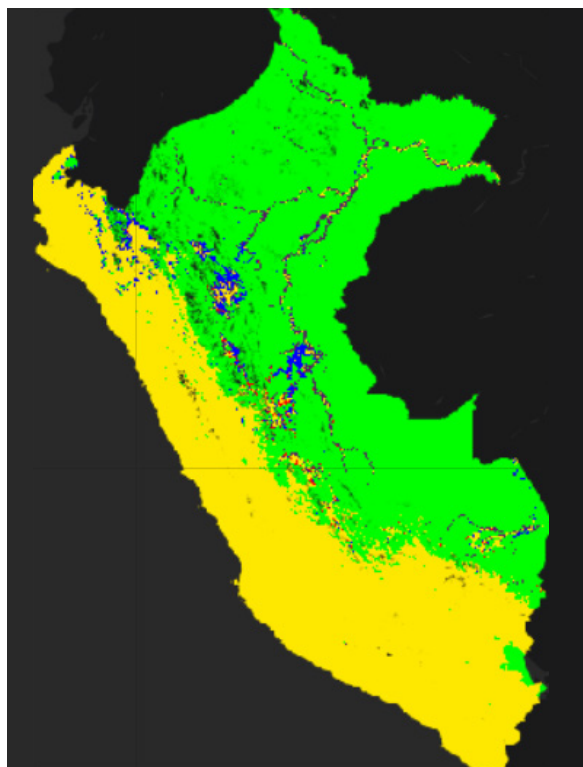


Figura 56 Resultado de la clasificación

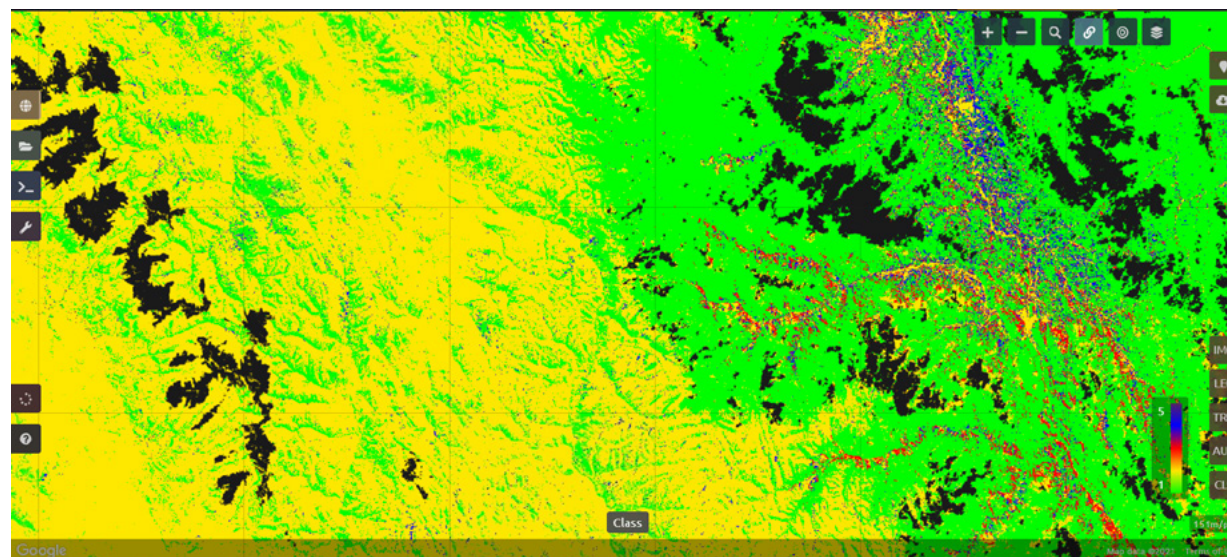



Figura 57 Acercamiento a un sector de la clasificación

Una vez finalizada la clasificación, proceda a guardar el flujo de trabajo dando clic en el icono de “Guardado”  ubicado en la sección superior derecha de la plataforma y de clic en “Guardar flujo de trabajo”. En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”

 Guardar (Figura 58).

Figura 58 Guardado de la clasificación




Finalmente, para poder descargar el resultado en su ordenador y poder llevar a cabo una evaluación de la exactitud de este o elaborar mapas a partir del resultado, importe la clasificación como un Asset de Google Earth. Para esto diríjase a la opción de “Importar”  en la sección superior derecha de la pantalla y en la ventana que se muestra seleccione las opciones tal como se muestra en la Figura 59 y del clic en “Importar” 



Figura 59 Configuración de la ventana de la opción “Importar”

En la pestaña de “Tareas”  a la izquierda de la pantalla, podrá monitorear el proceso de importación del mosaico (Figura 60).

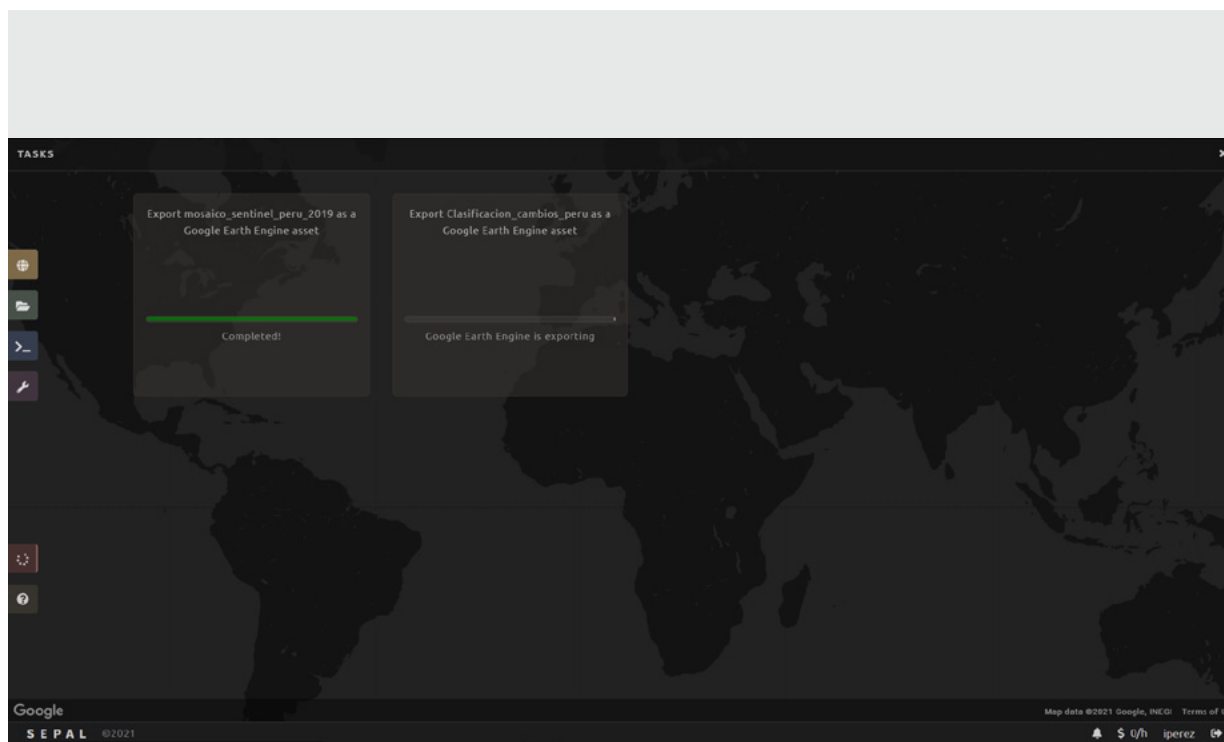



Figura 60 Seguimiento del proceso de importación de la clasificación

Cuando se finalice la importación, diríjase a la pestaña de documentos , busque el flujo de trabajo guardado en la carpeta de descargas, despliegue las opciones hasta encontrar los archivos .tif y .vrt, de clic en este para seleccionarlo y luego diríjase y de clic en la opción de descargar en la esquina superior derecha de la pantalla (Figura 61); seguidamente descargue el otro archivo.

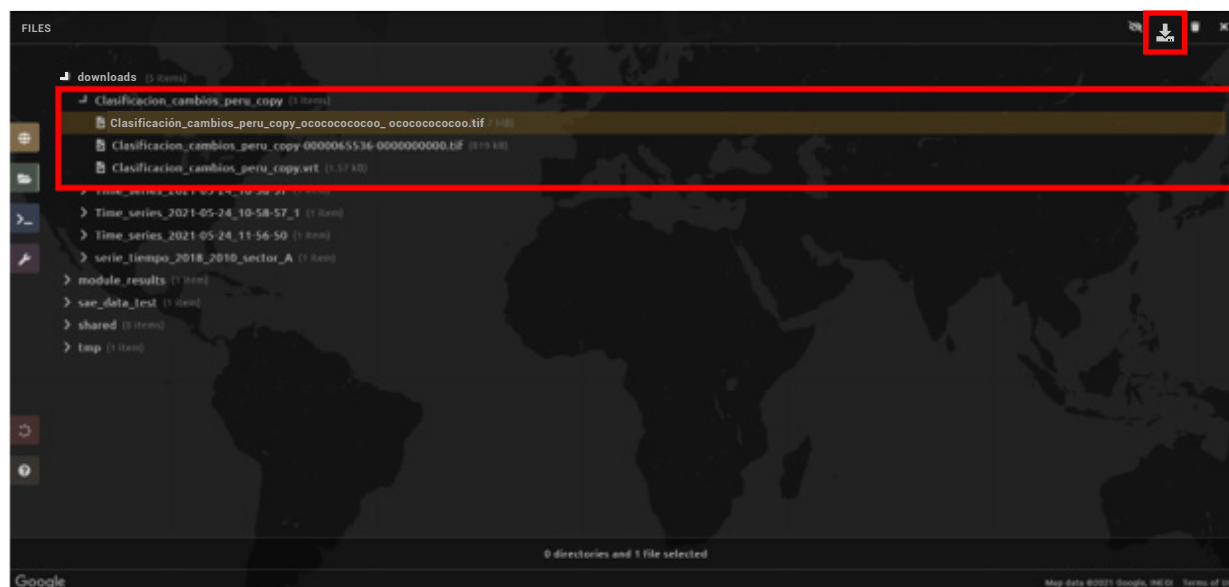


Figura 61 Seguimiento del proceso de importación de la clasificación

Una vez descargada la capa, abra la imagen en su software GIS de preferencia, por ejemplo, QGIS (Figura 62).

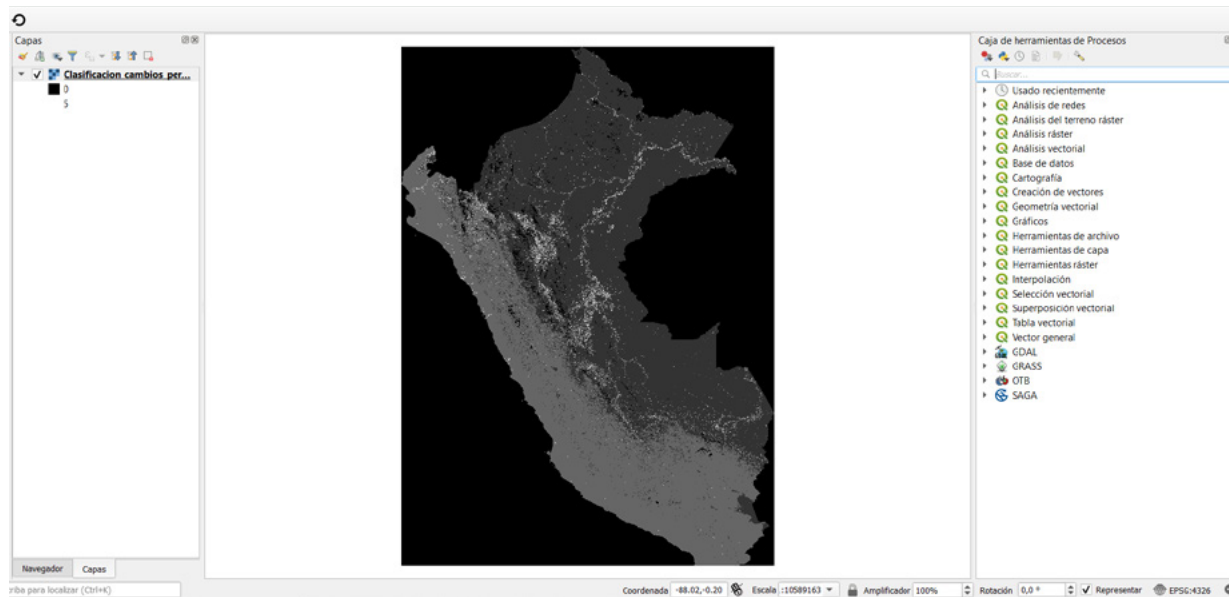


Figura 62 Despliegue de la capa en QGIS

Para poder calcular el área de aumento de cobertura forestal (área restaurada) y el área de pérdida de cobertura forestal (área degradada) busque en la caja de herramienta la función “Informe de valores únicos de capa ráster” (Figura 63).

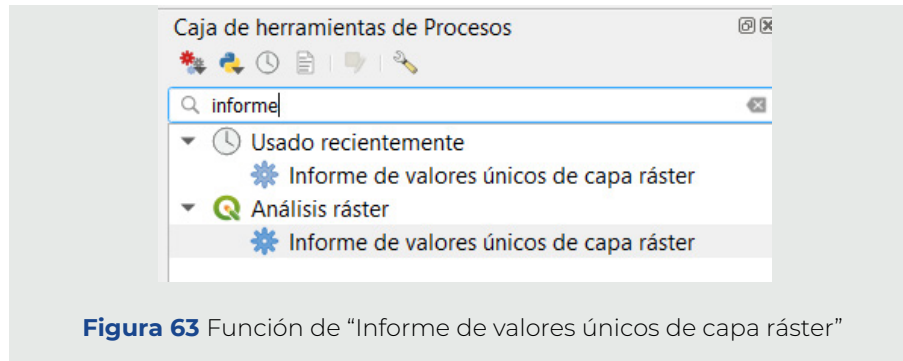


Figura 63 Función de “Informe de valores únicos de capa ráster”

En la ventana que se desplegará seleccione como capa de entrada el ráster con la clasificación obtenida de SEPAL y de clic en “Ejecutar” (Figura 64).

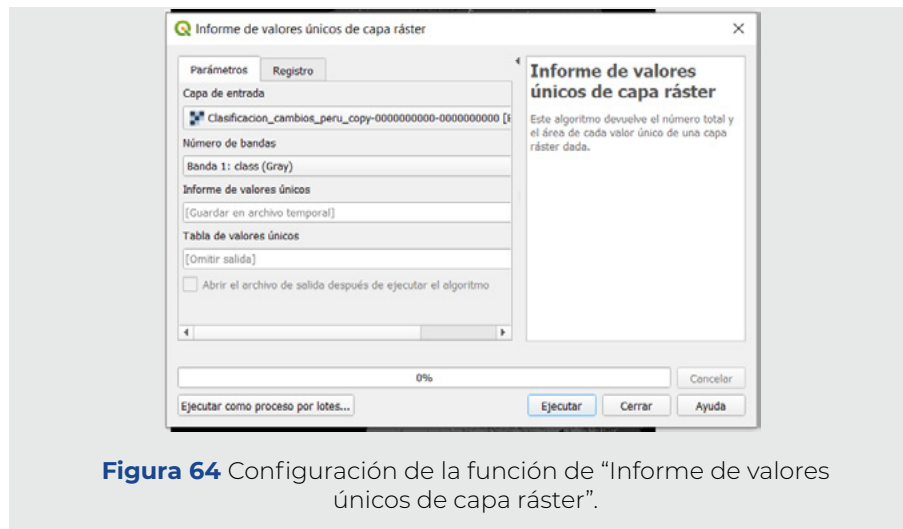


Figura 64 Configuración de la función de “Informe de valores únicos de capa ráster”.

Como resultado, se le debe de desplegar un nuevo panel con el resultado generado (Figura 65).

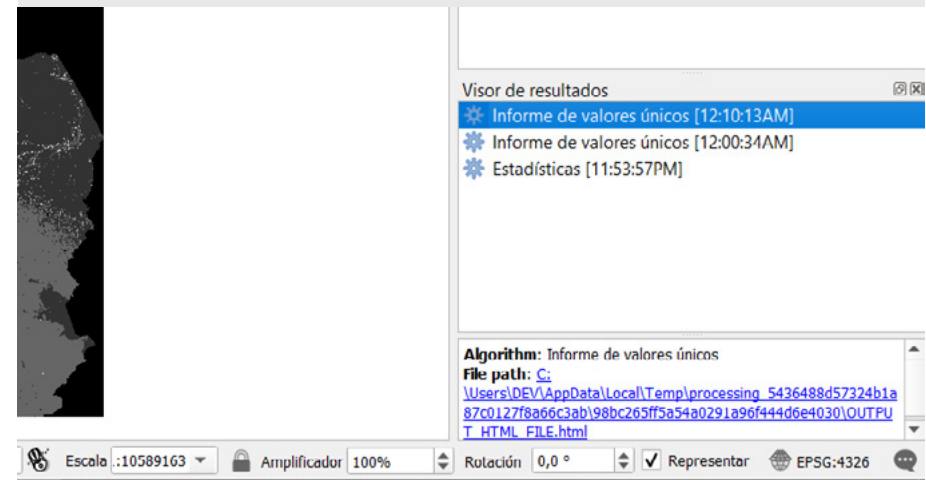


Figura 65 Resultado de la función de “Informe de valores únicos de capa ráster”

Al dar clic en el archivo más reciente se le debe abrir un html en su navegador web predeterminado tal como se muestra en la Figura 66.

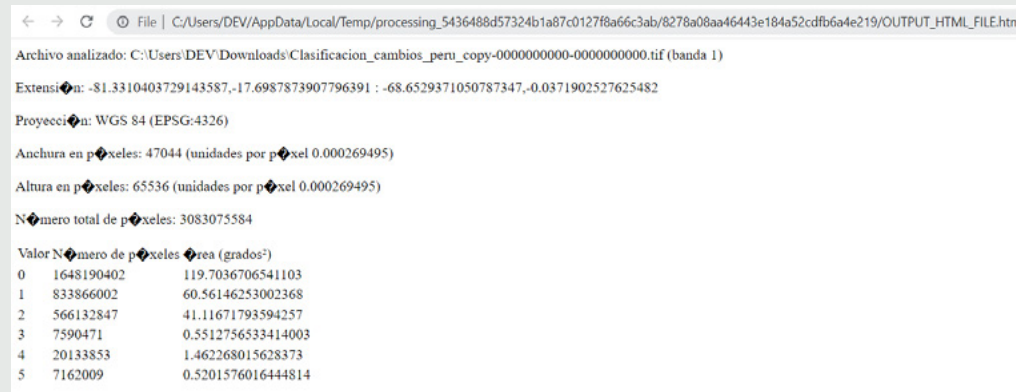


Figura 66 Conteo de píxeles a través de la función “Informe de valores únicos de capa ráster” para la obtención del Indicador 1) Área de cobertura forestal

Como puede observar en la Figura 66, esta función indica el número de píxeles que fueron clasificados en cada una de las clases, por tanto, sabiendo que el mosaico clasificado se elaboró con imágenes Sentinel con un píxel de 0,01 ha, podemos obtener las áreas de aumento o pérdida de cobertura forestal multiplicando el número de píxeles por su tamaño. Por ejemplo, la clase 4 que corresponde a las zonas donde se dio un aumento de cobertura forestal, posee 20,133,853 píxeles lo que implica que el área restaurada es de 201,338.53 ha.¹ De esta manera es posible identificar el área de cobertura forestal estable (clase 1) (**indicador 1**) así como los cambios en esta en el período de tiempo (clases 3 y 4).

Para acceder a un video explicativo de este Capítulo ingrese al siguiente enlace:

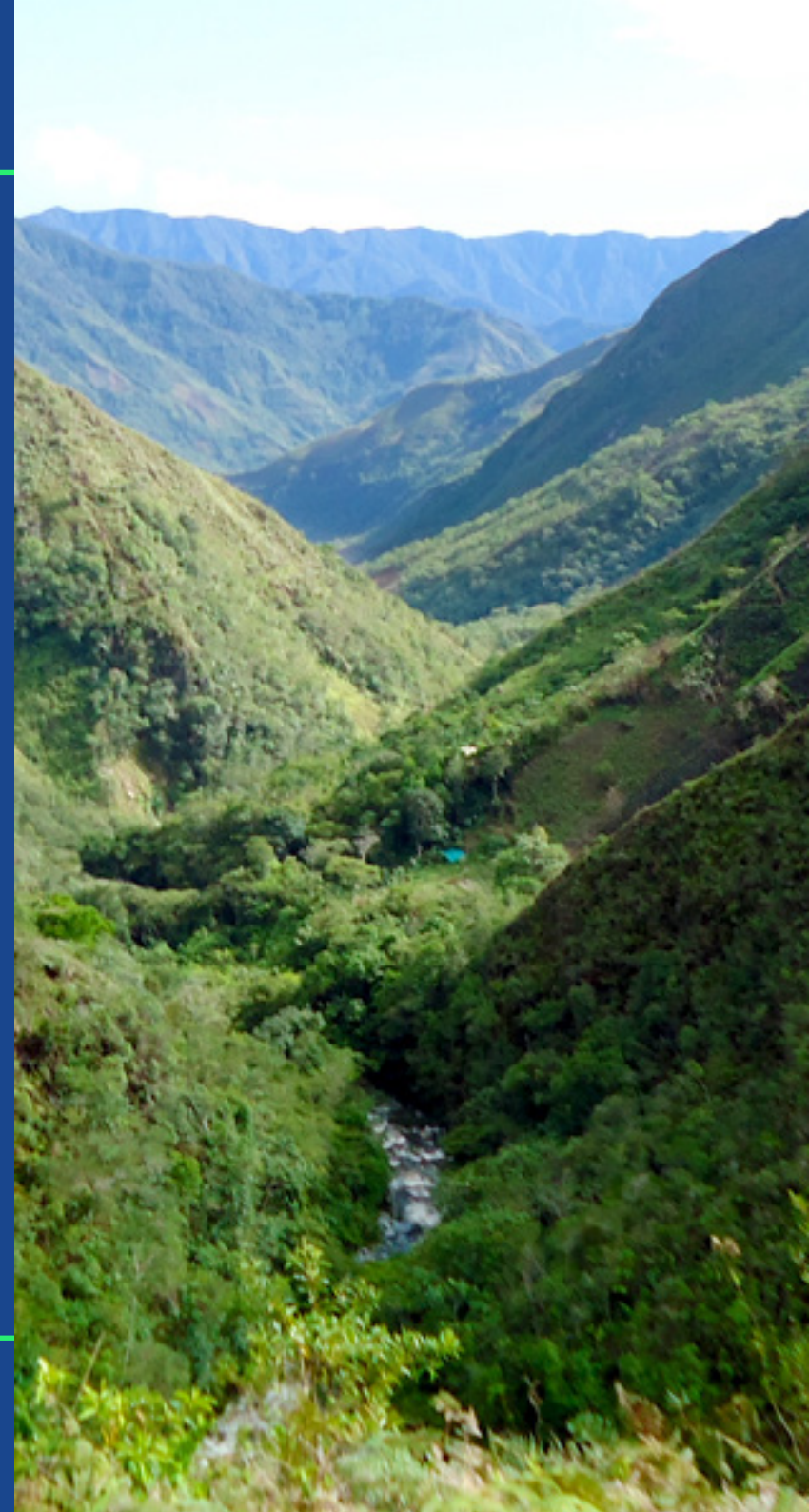
<https://youtu.be/Hq8KsG5JTIY>

1. Estos datos fueron obtenidos a partir de un ejercicio demostrativo cuyo único fin es introducir al usuario a la plataforma SEPAL y sus diferentes funcionalidades, y no deben tomarse como valores reales.

CAPÍTULO

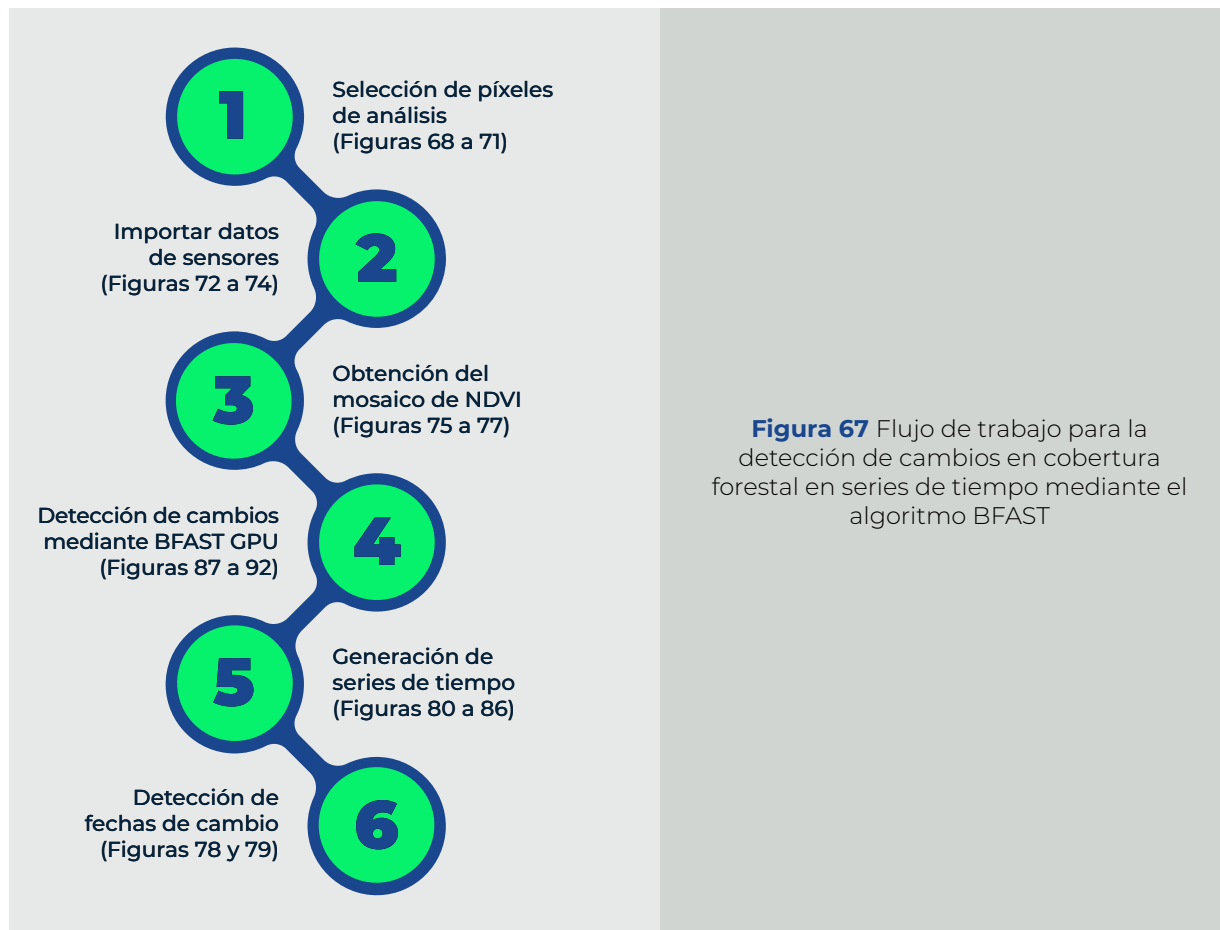
04


Detección de cambios en cobertura
forestal mediante algoritmo BFAST



Una vez detectados los sitios donde se produjo un cambio en la cobertura forestal, es posible estudiar a fondo los cambios sufridos y determinar la fecha en que se dieron, ya sea la corta del dosel o el inicio de la restauración. Este proceso se puede realizar mediante la utilización del algoritmo BFAST (Breaks For Additive Season and Trend: Cambios por temporada y tendencia aditiva).

En la Figura 67 se detalla el flujo de procesos para la detección de cambios en cobertura forestal en series de tiempo mediante el algoritmo BFAST.



Para iniciar, en la pantalla principal de SEPAL, diríjase a la pantalla de aplicaciones  a la izquierda de la pantalla (Figura 68).

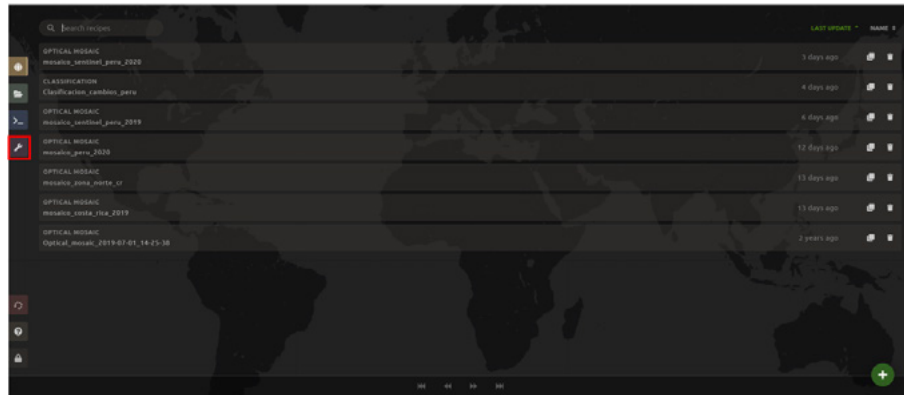


Figura 68 Ubicación de la pestaña de aplicaciones

En la pantalla de aplicaciones, seleccione y dé clic a la opción de “Explorador BFAST” (Figura 69).

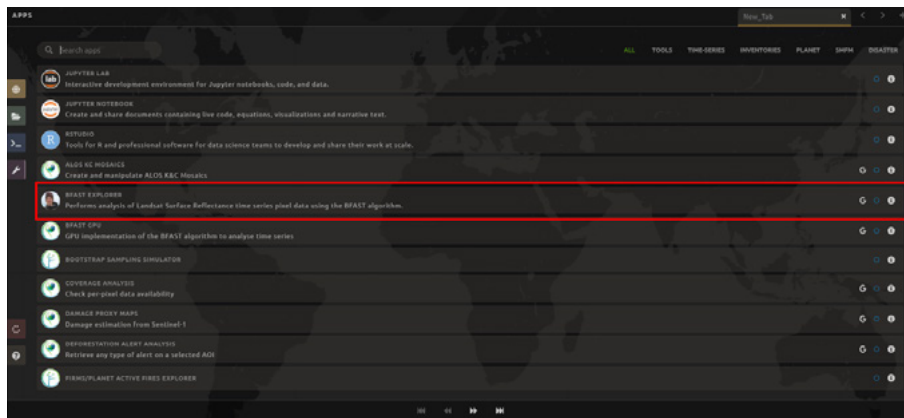


Figura 69 Selección de la aplicación de “Explorador BFAST”

La interfaz inicial de la herramienta es la que se muestra en la Figura 70, y en ella, el investigador puede desplazarse y realizar acercamientos en el mapa para ubicar las zonas de cambio delimitadas en los procesos anteriores.

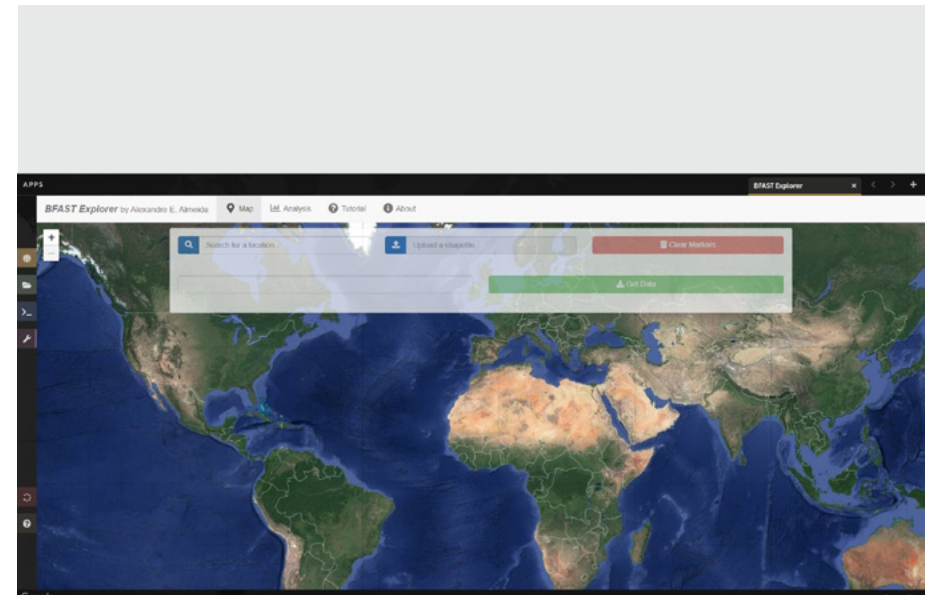


Figura 70 Interfaz inicial del “Explorador BFAST”

Una vez encontrado un sitio de cambio, puede colocar marcadores que determinarán el sitio de estudio. Puede colocar tantos marcadores como guste, no obstante, el algoritmo puede analizar solo un sitio a la vez; por lo que, al dar clic en alguno de estos marcadores, este se activará delimitando la zona a analizar. En el mapa se mostrarán los marcadores de un color gris y el marcador activo de color azul (Figura 71).

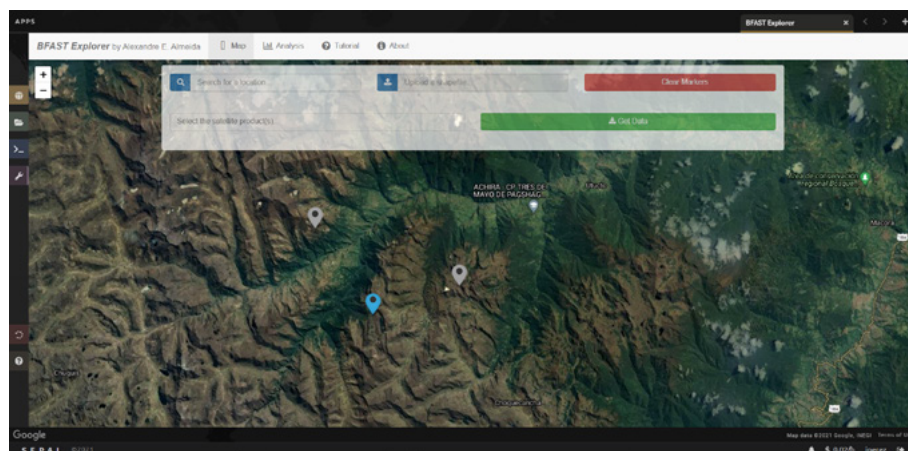


Figura 71 Colocación de marcadores para análisis BFAST

Seguidamente, seleccione los datos para el análisis. Para esto, seleccione los satélites a utilizar de la lista que se despliega al dar clic en la casilla en blanco a la izquierda de la ventana de configuración (Figura 72).

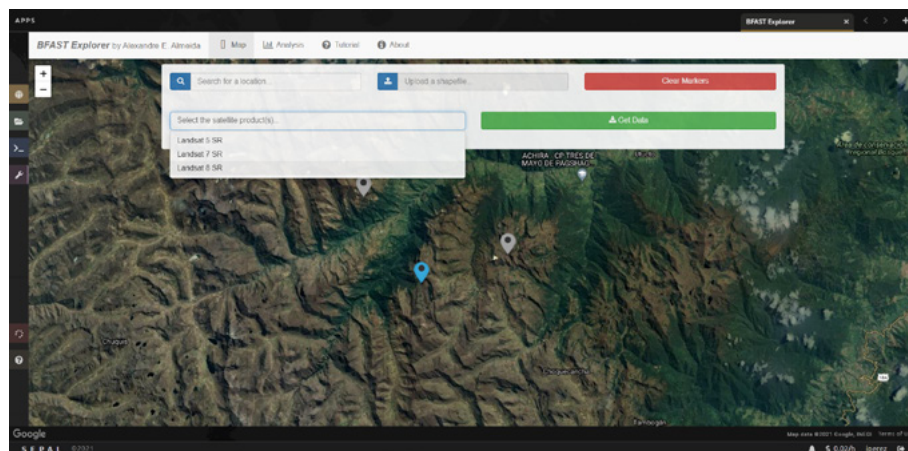


Figura 72 Listado de fuentes de datos

Si el período de análisis se encuentra entre 2013 y la actualidad, basta con seleccionar únicamente el satélite Landsat 8. En caso de realizar el análisis incluyendo fechas de antes del 2013 se recomienda seleccionar las 3 fuentes de datos, lo que le permitirá estudiar los cambios desde 1984. Al dar clic en los satélites a implementar, estos se irán colocando en la casilla (Figura 73). Una vez seleccionados, de clic en “Obtener datos”

↓ Get Data

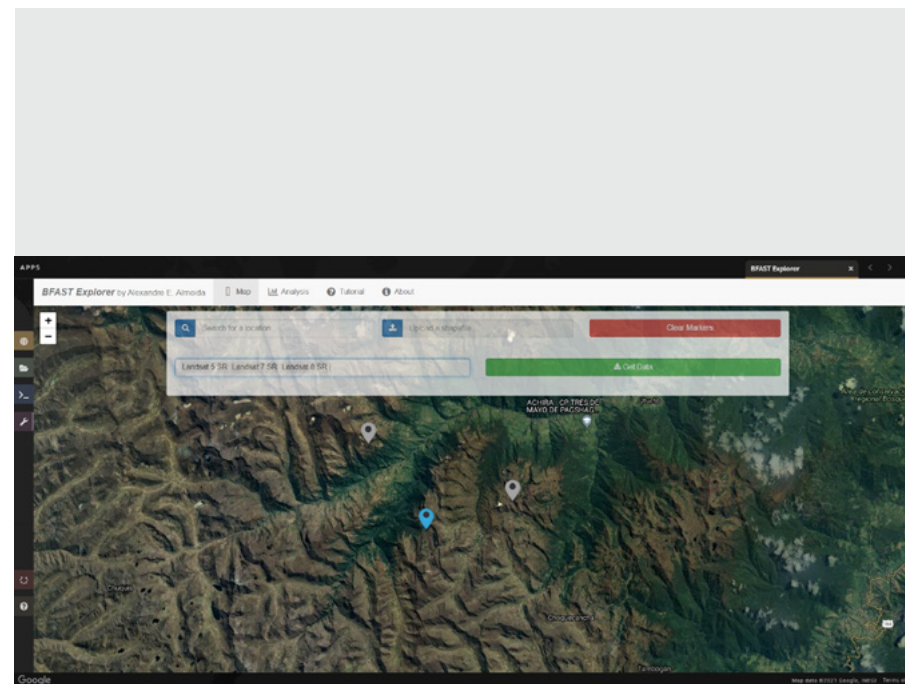



Figura 73 Selección de las fuentes de datos para el análisis

Se puede monitorear el avance de los datos en la ventana que se desplegará en la sección inferior derecha de la pantalla (Figura 74). La descarga de los datos no sobrepasa en la mayoría de los casos más de 30 segundos. Una vez finalizado este proceso de clic en la opción de “Análisis”  Analysis en la barra superior de la aplicación.

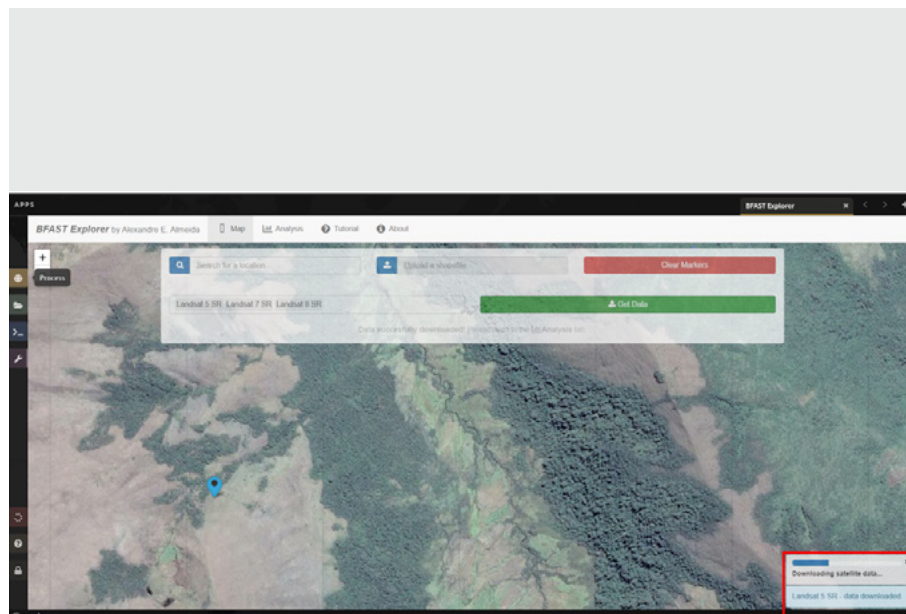


Figura 74 Monitoreo de la descarga de los datos

En la pestaña de análisis, al dar clic en la casilla vacía titulada “Producto satelital” se desplegará la lista de las fuentes de datos descargadas previamente. Seleccione estas dando clic sobre el nombre del satélite, de manera que la casilla se vaya rellenando con estos datos (Figura 75).

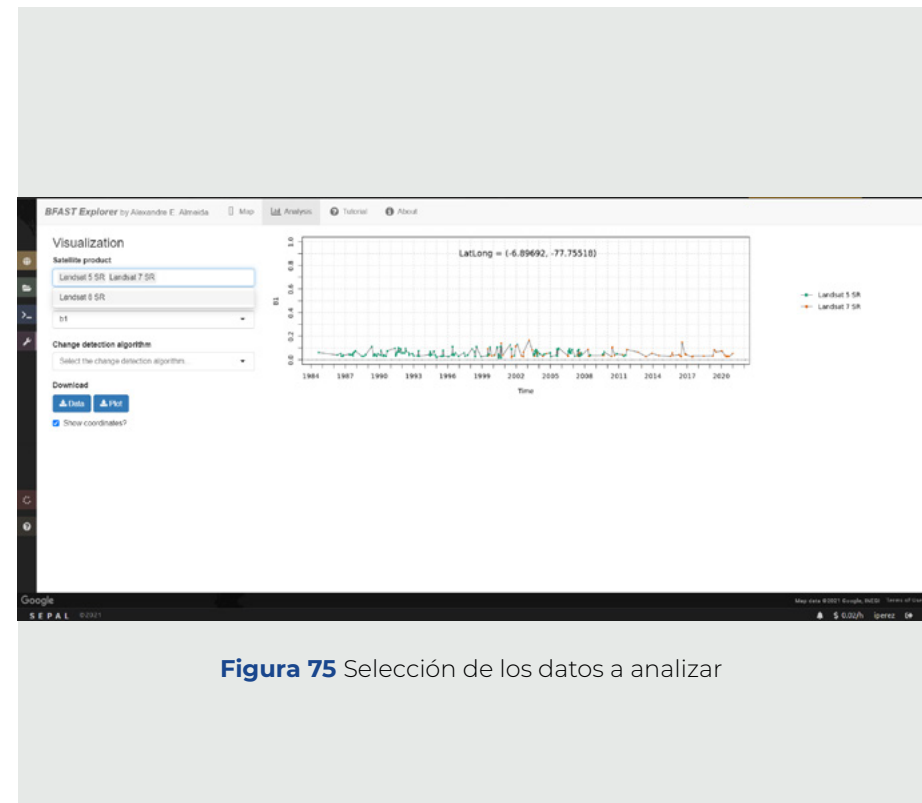




Figura 75 Selección de los datos a analizar

Como se puede apreciar en la Figura 75, al seleccionar los datos se irá creando un gráfico que muestra la respuesta espectral de la zona a través del tiempo. Por defecto la información que se muestra es la de la banda 1 (espectro visible azul). Es posible modificar la banda con la que se realiza el análisis. Para esto, de clic en la opción de “Datos”, lo que provocará que se despliegue un listado de las bandas e índices disponibles para la investigación (Figura 76). Para poder realizar una mejor detección de cambios se recomienda que se seleccione el índice “NDVI” el cual se deriva de una relación entre el espectro rojo e infrarrojo de la zona y se encuentra estrechamente relacionado con la presencia de vegetación y su vigor.



Figura 76 Selección del NDVI para el estudio

Es posible descargar la información que conforma el gráfico en formato CSV al dar clic en la opción de “Descargar datos” . De igual forma, es posible descargar el gráfico en sí, al dar clic en la opción de “Descargar gráfico”  (Figura 77). De esta manera podrá obtener el **Indicador 3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**.

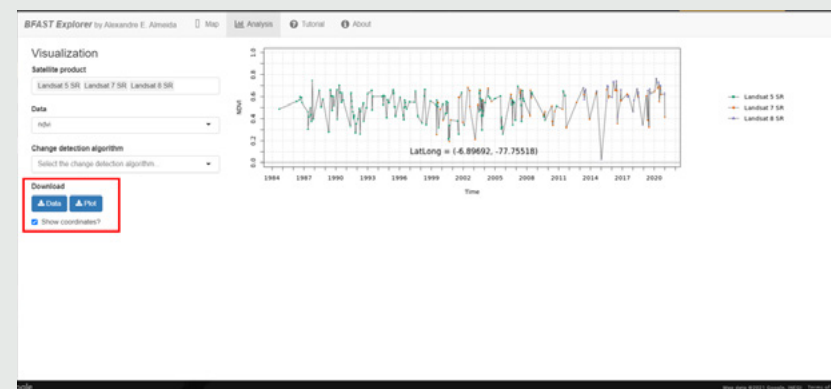


Figura 77 Opciones para descarga de los datos del **Indicador 3. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

Finalmente, para poder determinar el momento del cambio, de clic sobre la opción “Cambiar algoritmo de detección”, lo que provocará que se despliegue una lista de 3 diferentes métodos de detección (Figura 78).

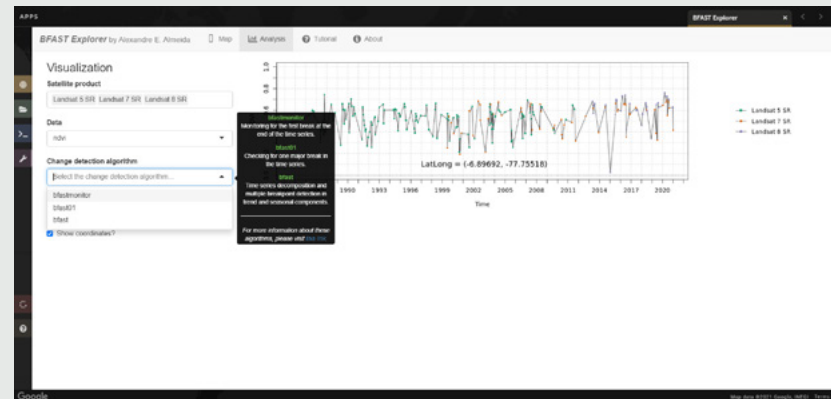


Figura 78 Listado de métodos de detección de cambios

La descripción de cómo funcionan cada uno de estos algoritmos se detalla a continuación:

1. **BFASTmonitor:** Determina la fecha del último cambio realizado en el período de estudio.
2. **BFAST01:** Determina la fecha del cambio más significativo producido en el período de análisis.
3. **BFAST:** Determina diversos puntos de cambio según tendencias y estacionalidad del sitio.

Se recomienda utilizar la opción 2, ya que esta va a permitir determinar el cambio más abrupto en el tiempo (Ej, la tala de bosque o una restauración activa). Para esto seleccione dicha opción y en la fórmula de procesado seleccione “Tendencia y armonía” **trend + harmon** y seleccione el mayor valor posible para el “Orden armónico” tal como se muestra en la Figura 79.

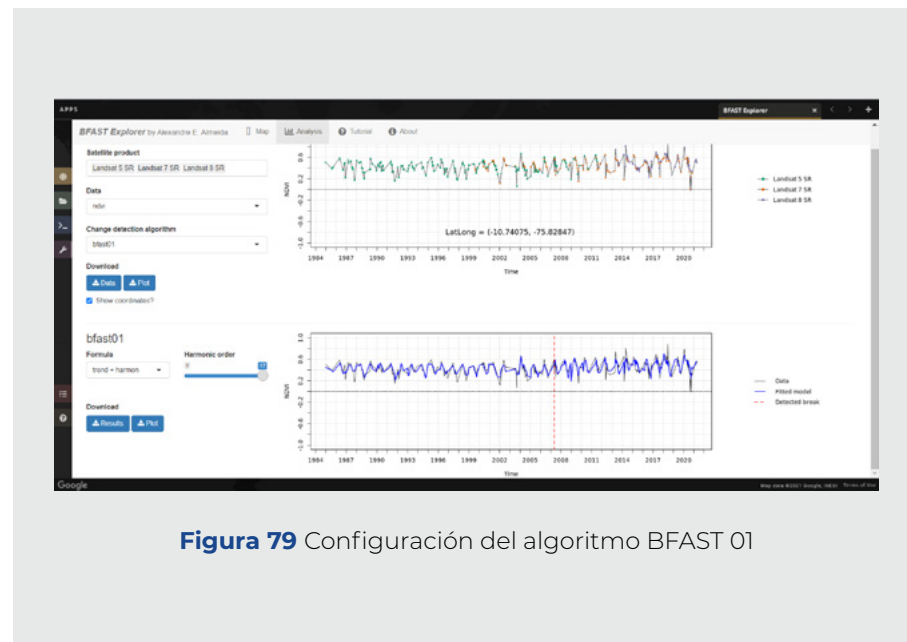




Figura 79 Configuración del algoritmo BFAST 01

Puede descargar los resultados del análisis dando clic en “Descargar resultados” **↓ Results**. De igual forma, puede descargar el gráfico de tendencia y punto de cambio dando clic en “Descargar gráfico”



Para acceder a un video explicativo sobre el BFAST Explorer ingrese al siguiente enlace: <https://youtu.be/DNE4ayC2aRc>

Por otro lado, también es posible correr el algoritmo BFAST de manera que se puedan tener clasificaciones de cambios a menor escala, y así validar y detallar mejor las zonas identificadas a través del proceso del Capítulo 3.

Primero, debemos obtener las series de tiempo de los píxeles que conforman el área a evaluar. Para esto, en la pestaña de procesos  de clic en la opción de “Más”  en el sector inferior izquierdo, y en la ventana que se despliega seleccione la opción de “Series temporales” (Figura 80).

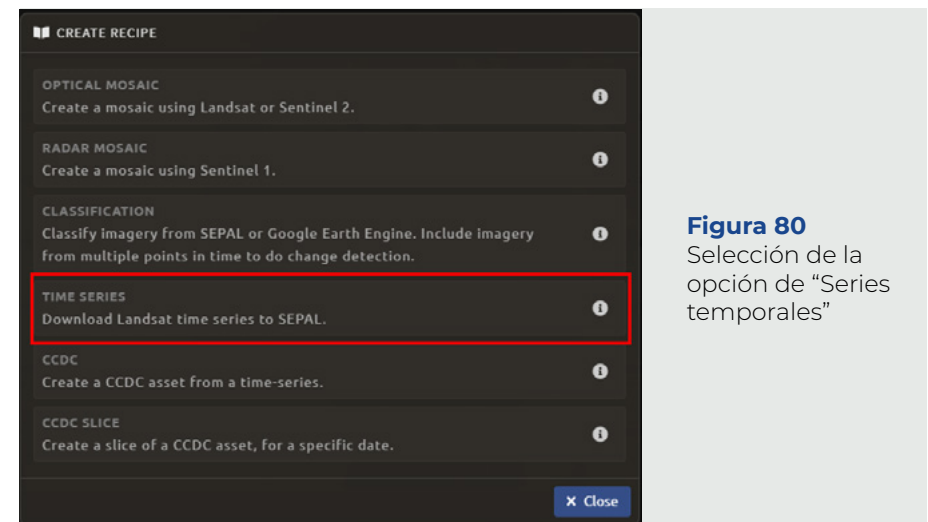


Figura 80
Selección de la opción de “Series temporales”

En la primera opción del flujo de trabajo que se desplegará en la sección inferior derecha seleccione la opción de “Dibujar un polígono” (Figura 81).

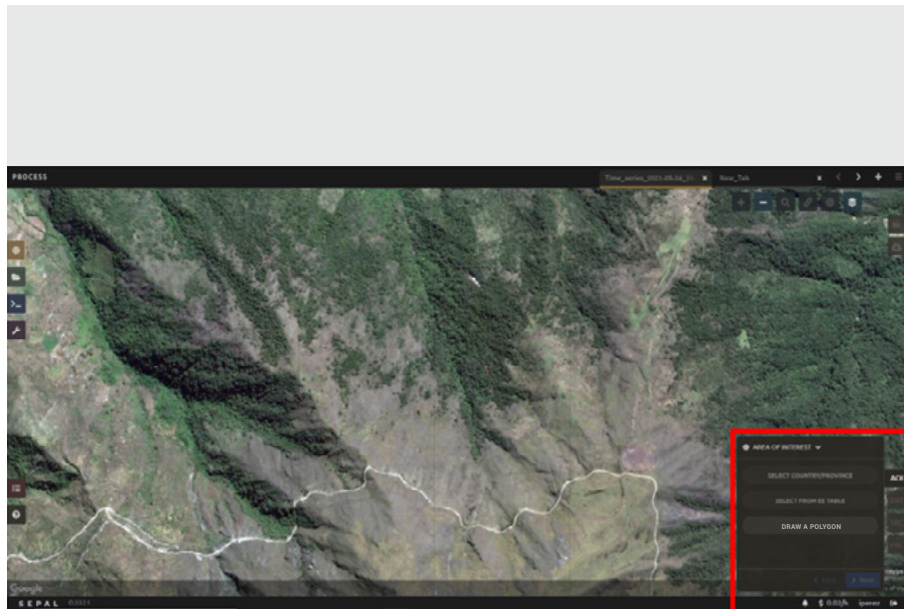


Figura 81 Selección de la opción “Dibujar un polígono” para delimitar el área de estudio

En el visor de la herramienta acérquese a una zona previamente determinada como de cambio y dibuje el polígono dando clic para crear cada uno de los vértices que lo conforman. Para cerrar el polígono basta nuevamente con dar clic en el primer vértice creado (Figura 82). Una vez delimitada el área de estudio de clic en “Siguiete” .

[> Siguiete](#)



Figura 82 Definición del área de estudio

Luego, en la siguiente pestaña del flujo de trabajo debe seleccionar las fechas para crear las series de tiempo. Se recomienda incluir en la serie de tiempo al menos dos años antes del año base de comparación (año 1) de manera que el algoritmo pueda determinar cuál es el comportamiento espectral normal de dicha zona previo al cambio. Por tanto, manteniendo las fechas de comparación del ejemplo del Capítulo 3, si el período de estudio es entre 2018 y 2020, la fecha inicial de la serie de tiempo debe ser enero del 2016 y la final 31 de diciembre del 2020 (Figura 83). Finalmente, de clic en “Siguiete” [> Siguiete](#)

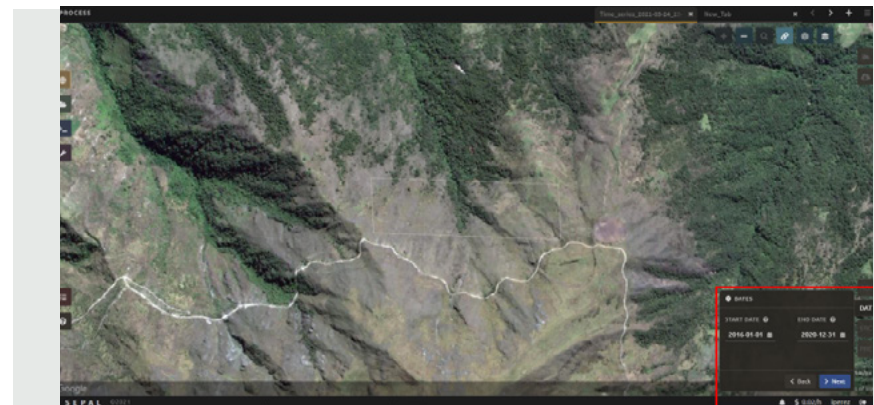



Figura 83 Definición de las fechas de inicio y final de la serie de tiempo

Finalmente, en la tercera pestaña del flujo de trabajo debe seleccionar el o los sensores que fungirán como fuente de datos. En caso de que la fecha inicial de la serie de tiempo no sea inferior a febrero del 2013 basta con seleccionar únicamente el sensor Landsat 8 (Figura 84), caso contrario se debe seleccionar tanto el sensor Landsat 7 como el 8. Luego de clic en “Hecho”

✓ Hecho



Figura 84 Selección de las fuentes de datos

Una vez realizada la serie de tiempo, proceda a guardar el flujo de trabajo de SEPAL, para esto, diríjase al icono de guardado  en la sección superior derecha y de clic en la opción de “Guardar el flujo de trabajo” **Guarda el flujo de trabajo...**. En la ventana que se despliega digite un nombre que le permita identificar el resultado y de clic en “Guardar” **✓ Guardar** (Figura 85).

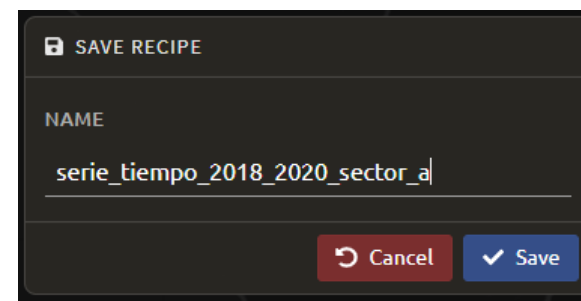



Figura 85 Ejemplo de guardado de serie de tiempo

Luego, proceda a importar la serie de tiempo dando clic en la opción de “Importar” . Seleccione la banda de NDVI en la ventana que se despliega y una escala de 30m y de clic en “Importar” **✓ Importar** (Figura 86).

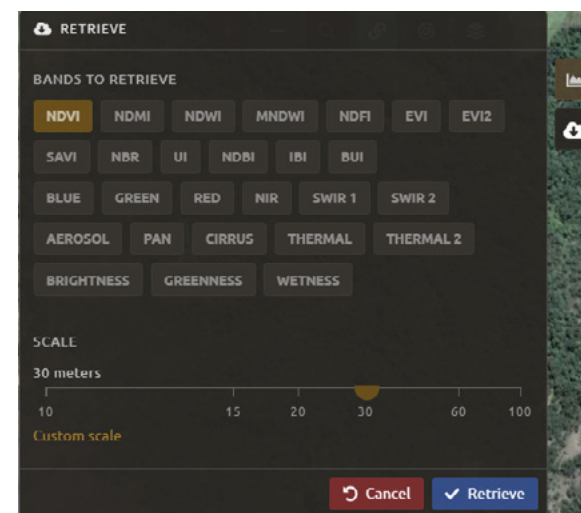




Figura 86 Importado de la serie de tiempo

Al igual que en los Capítulos anteriores, puede monitorear el avance de la operación en la pestaña de “Tareas” . Una vez finalizada la importación diríjase a la pestaña de aplicaciones  y seleccione la opción de “BFAST GPU” (Figura 87).

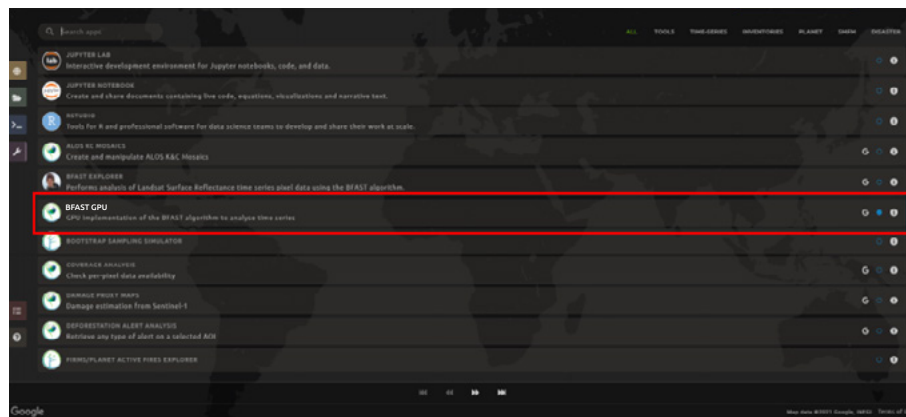



Figura 87 Selección de la aplicación “BFAST GPU”

Seguidamente, en la interfaz que se muestra de clic en el botón de “Seleccionar carpeta” . En la ventana que se despliega, desplácese hasta encontrar el nombre con el que guardó previamente la serie de tiempo creada y selecciónela dando clic en esta (Figura 88).

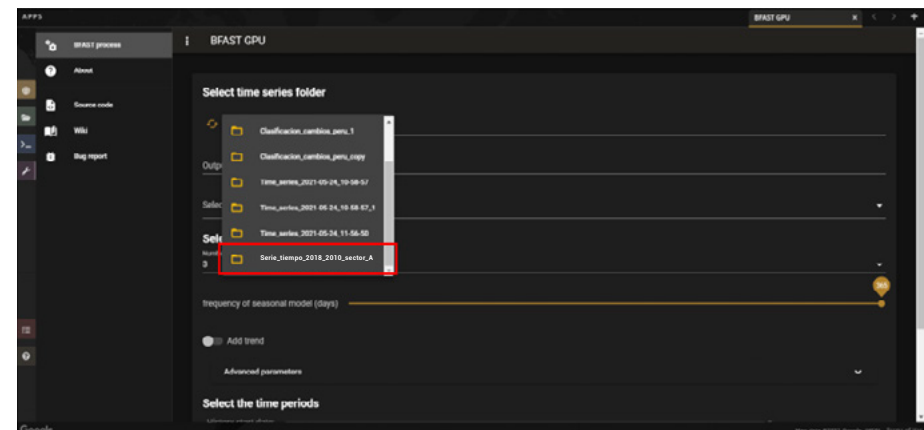



Figura 88 Selección de la serie de tiempo para el análisis

Al seleccionar la serie de tiempo, el programa leerá la información de esta, mantenga la configuración por defecto de la herramienta y en la sección de “Seleccionar los períodos de tiempo” configure las fechas de monitoreo de manera que la fecha de inicio coincida con el inicio del año 1 de comparación (en el presente ejemplo corresponde a enero del 2018). Finalmente, de clic en el botón de “Iniciar Análisis BFAST”  (Figura 89).

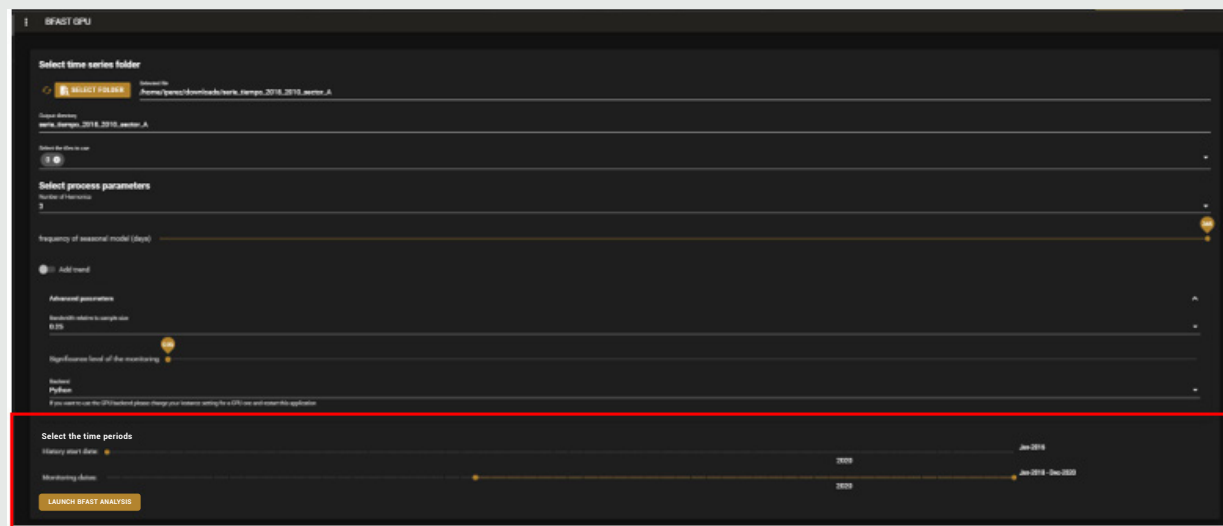


Figura 89 Configuración de la aplicación BFAST GPU

Cuando el algoritmo haya finalizado el análisis, la aplicación le indicará la carpeta donde se encuentra el resultado mediante un recuadro verde al final de la interfaz (Figura 90).

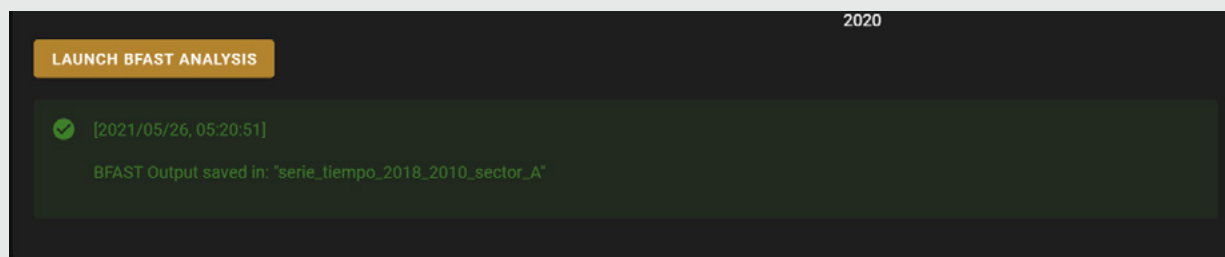





Figura 90 Notificación de ejecución correcta y guardado del resultado de BFAST

Seguidamente, diríjase a la pestaña de “Documentos”  y bajo la opción de “Resultados de módulos->BFAST” busque el nombre con el que guardó la serie de tiempo. Luego, despliegue las opciones hasta poder observar el archivo titulado “Resultados BFAST.tif”  **bfast_outputs.tif**, de clic en este para seleccionarlo y descárguelo dando clic en la opción de descargar  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla (Figura 91).

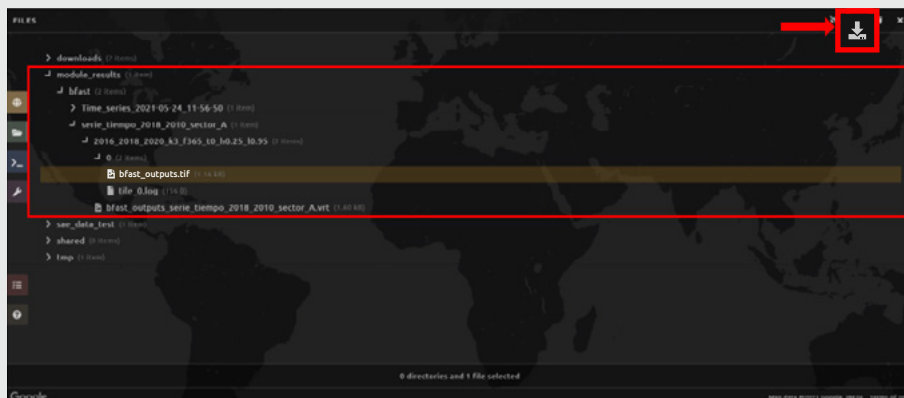


Figura 91 Selección y descarga del resultado BFAST

El archivo descargado es un ráster en formato Tiff que puede ser abierto en cualquier programa SIG de su preferencia. Este presenta 2 bandas, los valores de la primera banda representan el año en formato decimal donde se identificó el mayor cambio (ejemplo: 2018,1 representa enero del 2018) y la segunda banda representa el **Indicador 2** ya que indica los **cambios en la cobertura forestal en series de tiempo** detectados en el NDVI (los valores negativos representan pérdida de vegetación, mientras que los valores más altos representan zonas donde hubo un aumento de vegetación) (Figura 92).

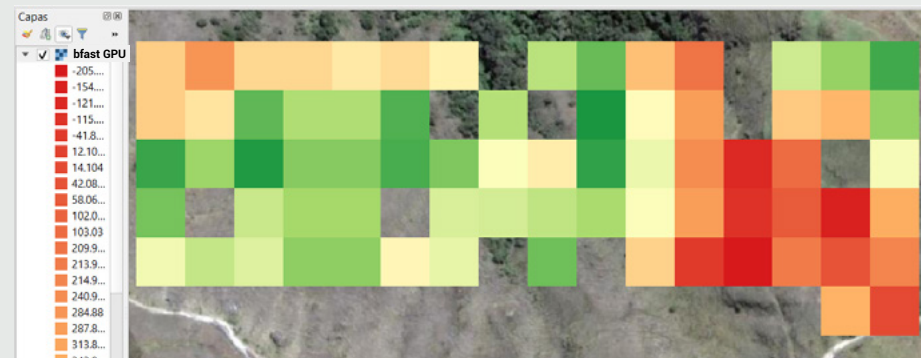


Figura 92 Resultado final de la aplicación BFAST GPU y obtención del **Indicador 2. Cambios en la cobertura forestal en series temporales**

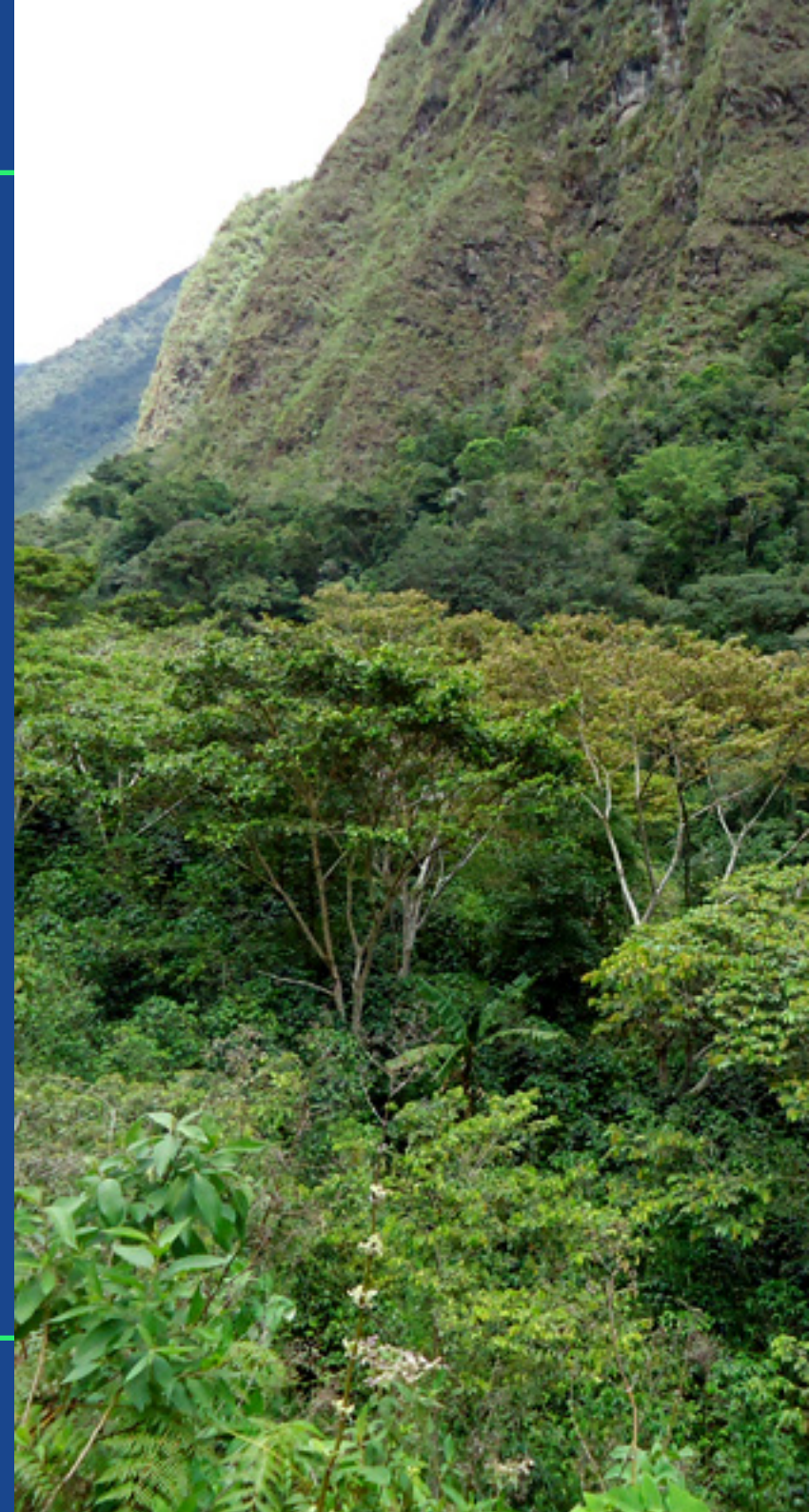
Como puede observar en la Figura 92, las zonas en rojo representan área donde se dio una disminución de la vegetación mientras que las zonas en verde son zonas donde se dio un aumento de la vegetación (mientras más oscuro el color del pixel más fuerte fue el aumento), finalmente las zonas en color amarillo y naranja representan zonas donde no se dio cambio alguno en el período de estudio o estos fueron mínimos.

Para acceder a un video explicativo sobre el BFAST GPU ingrese al siguiente enlace: <https://youtu.be/M188uU8xlnw>

CAPÍTULO

05

Estimación de biomasa arriba del suelo
y cálculo de carbono secuestrado
a partir de sensor RADAR



Por otro lado, mediante SEPAL no solo es posible obtener indicadores sobre área restaurada, sino que también se pueden realizar estimaciones de la biomasa arriba del suelo, de manera que se pueda luego analizar este dato para obtener información del carbono acumulado en los sitios. El flujo de procesos para llevar a cabo este análisis se muestra en la siguiente Figura (Figura 93):

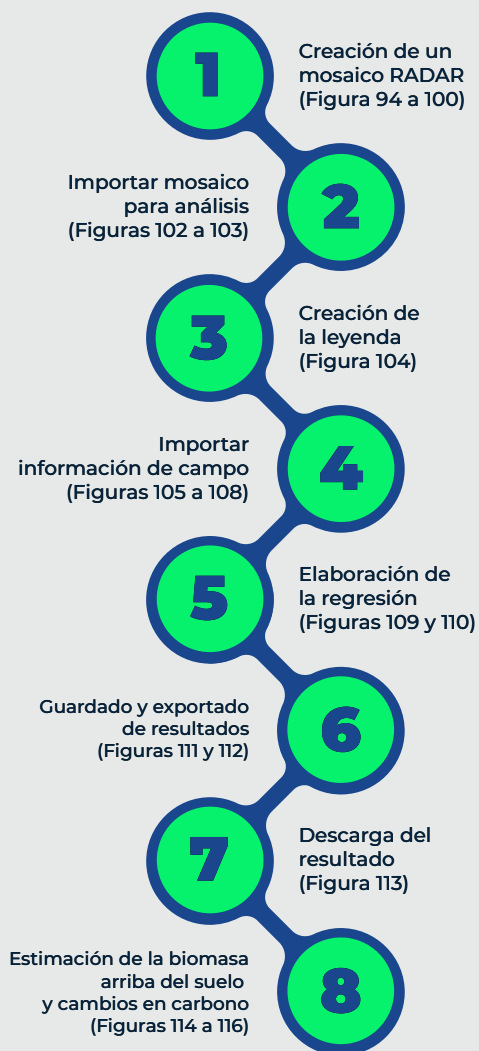




Figura 93 Flujo de trabajo para la estimación de la biomasa arriba del suelo y cambios en carbono

Para poder obtener estas estimaciones primeramente se debe crear un mosaico RADAR para el año que se desee estudiar. Para esto, en la pestaña de procesos

 debe dar clic en el icono de más  que se encuentra en la sección inferior derecha de la pantalla. En la ventana que se desplegará seleccione la segunda opción: “Creación de mosaico Radar” (Figura 94).

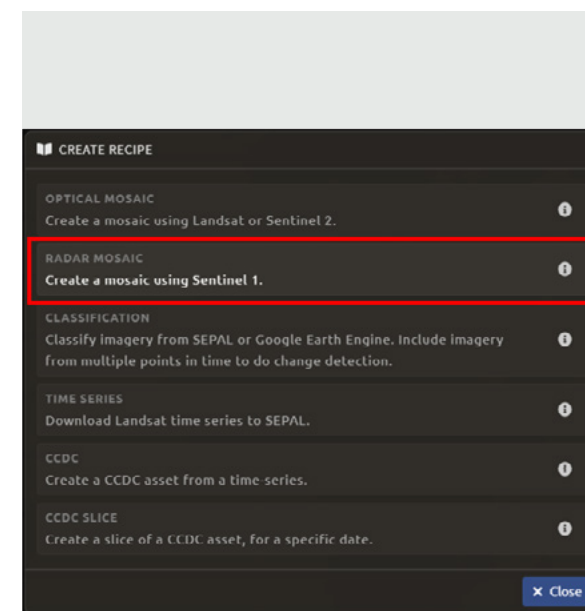


Figura 94 Ubicación de la opción de “Creación de mosaico Radar”.

Seguidamente, la primera pestaña del flujo de trabajo que se mostrará en el sector inferior izquierdo corresponde a la definición del área de estudio. Debido a la cantidad de información que representa un mosaico para todo el país se recomienda dar clic en la tercera opción (Dibujar un polígono) y dibuje el área de interés a evaluar, tal como se muestra en la Figura 95 y luego dar clic en “Siguiente”

> Siguiente



Figura 95 Primera pestaña del flujo de trabajo.

A: Selección de dibujar un polígono como método para definir el área de estudio.

B: Definición del área de estudio

La siguiente pestaña del flujo de trabajo le permitirá período de estudio. En esta ventana se presentan 3 opciones (Figura 96):

1. “Año”: Puede crear el mosaico a partir de la información de todo un año.
2. “Rango de fechas”: Puede crear el mosaico a partir de la información entre una fecha de inicio y una fecha final.
3. “Fecha”: Puede crear el mosaico con la información disponible más cercana a una fecha en específico.

Se recomienda elegir la primera opción y seleccionar el año de estudio deseado (Ej: 2020) para luego dar clic en “Hecho”

✓ Hecho (Figura 96).

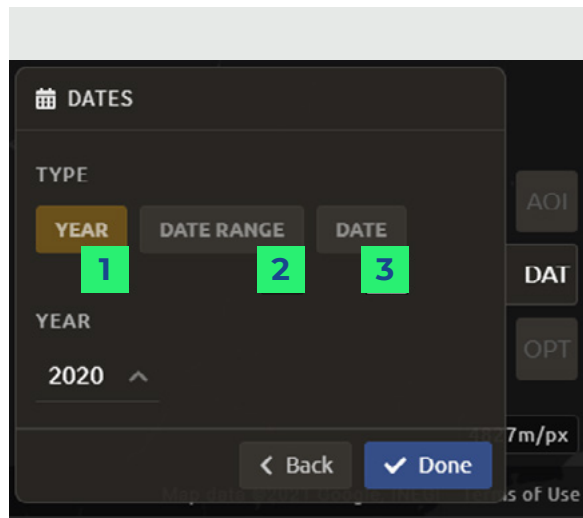


Figura 96 Segunda pestaña del flujo de trabajo

La plataforma cargará una previsualización del resultado (Figura 97).

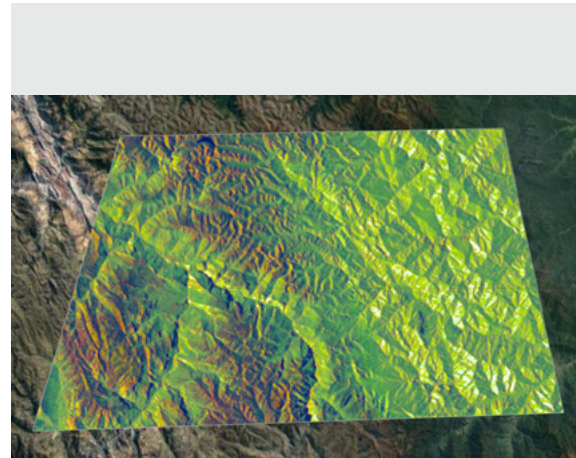


Figura 97 Previsualización del mosaico Radar

Como puede observar, un mosaico de Radar en lugar de dar una imagen a modo de fotografía del área de estudio (como lo hacen los mosaicos ópticos), lo que brinda es información de la forma y elevación de los atributos en la superficie de la tierra. Por último, la tercera pestaña del flujo de trabajo permite configurar la manera en que se elabora el mosaico. Se recomienda seleccionar ambas órbitas y el método de corrección atmosférica en “Terreno” según se muestran en la Figura 98 y de clic en “Aplicar”

✓ Aplicar

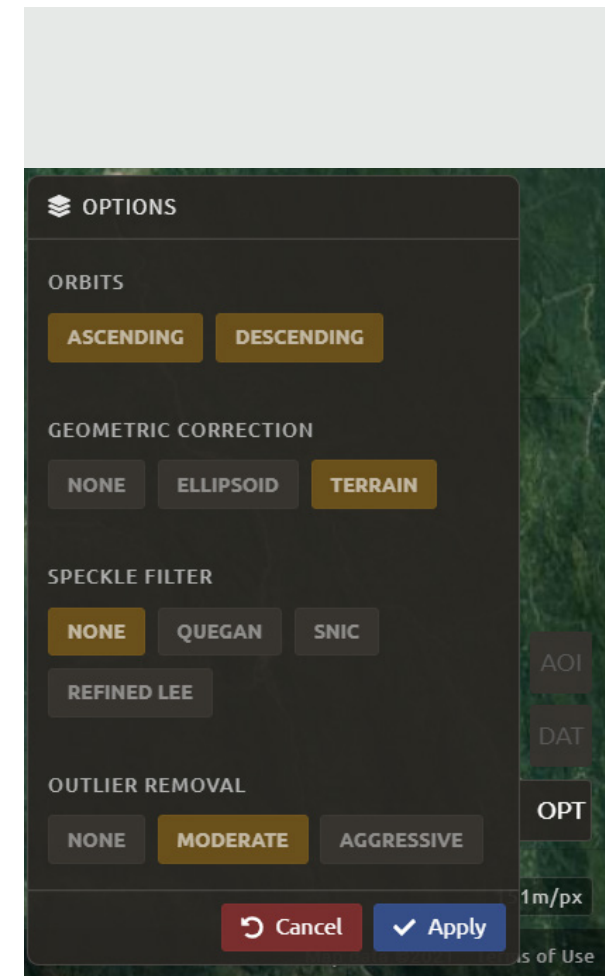




Figura 98 Tercera pestaña del flujo de trabajo

Una vez creado el mosaico, proceda a guardar el flujo de trabajo dando clic en el icono de guardado  ubicado en la sección superior derecha de la plataforma y dar clic en la opción de “Guardar flujo de trabajo”. En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”  (Figura 99).

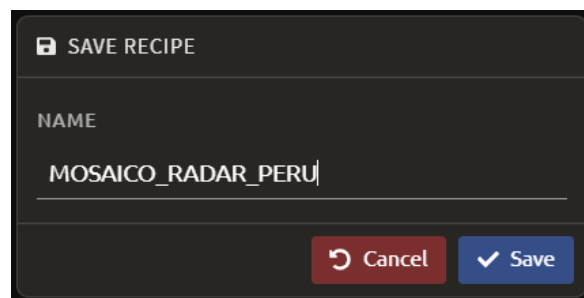



Figura 99 Guardado del mosaico

Finalmente, se recomienda importar el mosaico como un Asset de Google Earth Engine, ya que esto simplificará los procesos futuros de clasificación y estimación de biomasa. Para esto, de clic al icono de “Importar mosaico”  en la sección superior derecha de la pantalla y en la ventana que se desplegará seleccione las bandas que se muestran en la Figura 100, y seleccione la escala de importación en 20m, de clic en la opción de Asset de Google Earth Engine y luego de clic en “Importar” .

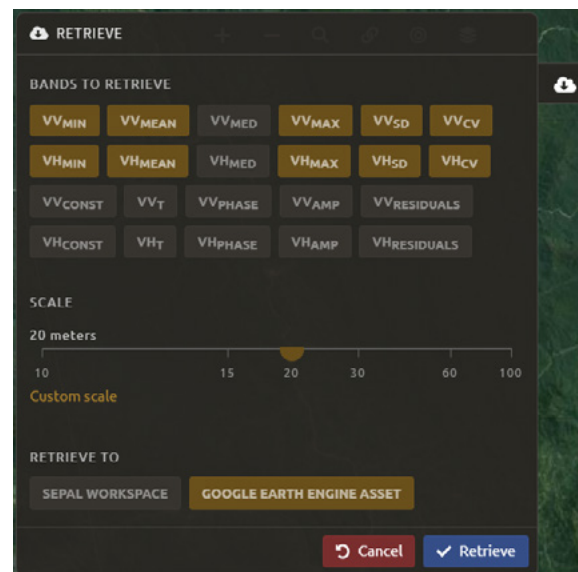



Figura 100 Configuración de la opción de “Importar mosaico Radar”

Al igual que con los demás procesos de importado, puede monitorear el avance de este en la pestaña de tareas  a la izquierda de la pantalla.

Seguidamente para poder llevar a cabo la estimación de la biomasa necesita tanto del mosaico recién creado como una base de puntos con información de campo que cuente con al menos 3 columnas (Figura 101):




1. Latitud en grados decimales
2. Longitud en grados decimales
3. Cantidad de biomasa (se recomienda usar las unidades de toneladas por hectárea).

X	Y	TON/HA
-76.50150	-8.97770	20
-76.53995	-9.10902	19
-76.55229	-9.18520	22
-76.56534	-8.99947	25
-76.60525	-9.24252	21
-76.76994	-8.96464	17
-76.68868	-9.16344	15
-76.66256	-9.25195	14
-76.70972	-9.07928	16
-76.64588	-9.28242	15
-76.81420	-9.03865	6
-76.84322	-9.13949	4
-76.93318	-9.11773	3
-76.94624	-8.99439	2
-76.90779	-9.17504	1

Figura 101 Ejemplo de base de datos

Resulta sumamente importante que la información de campo sea recolectada a través de parcelas con las mismas dimensiones que la resolución espacial del mosaico RADAR a clasificar, para que exista una correcta relación entre los datos. Por tanto, al componerse el mosaico de píxeles de 20 m se recomienda llevar a cabo el

muestreo en campo en parcelas de 20x20m donde la latitud y la longitud reportadas representen el punto central de la parcela. Por otro lado, se recomienda tener datos de al menos 30 parcelas para el área de estudio deseada.

Una vez se cuente con esta información, en la pestaña de procesos  de clic en la opción de “Más”  en el sector inferior izquierdo, y en la ventana que se despliega seleccione la opción de “Clasificación de imágenes”. Tal como se detalla en el Capítulo 3, en la primera opción del flujo de trabajo que se desplegará en la sección inferior derecha debe escoger la imagen a clasificar, para esto, de clic en la opción de “Añadir”  y en la ventana que se desplegará seleccione Earth Engine.

Al dar clic en dicha opción, la ventana cambiará permitiéndole ingresar el ID del Asset de Earth Engine que le permitirá seleccionar y utilizar en el análisis los mosaicos creados. Recuerde que todos los ID presentan la siguiente estructura: “users/su usuario de google/el nombre del flujo de trabajo de SEPAL con el que guardó el mosaico”. Ingrese el ID del RADAR generado y seleccione todas las bandas disponibles dando clic en estas tal como se muestra en la Figura 102. Finalmente, de clic en “Aplicar”

 Aplicar

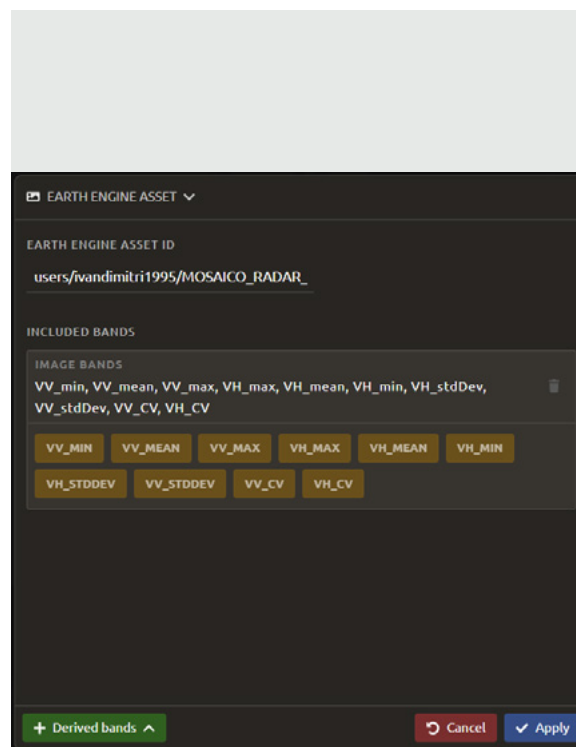



Figura 102 Selección de las bandas y carga del mosaico creado para su análisis

Al final de la carga deberá observar el nombre de los mosaicos en la primera pestaña del flujo de trabajo. Finalmente, de clic en el botón de “Siguiente”  (Figura 103).

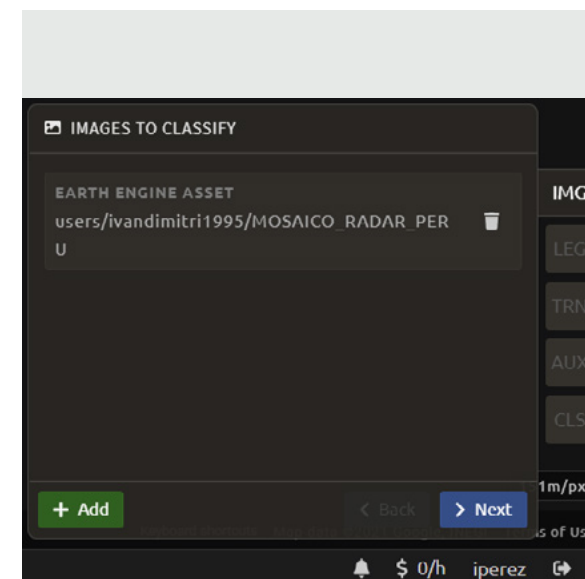



Figura 103 Mosaico RADAR cargado en la primera opción del flujo de trabajo

La segunda pestaña del flujo de trabajo le permitirá crear las clases en las que desea clasificar los mosaicos. Para esto, de clic en el botón añadir  **Añadir**, lo que le permitirá designar un número y un nombre de clase, debe introducir tanto el numero como nombre de clase con el mismo valor, y debe introducir todos los valores de toneladas por hectárea que tenga en su base de datos.

Finalmente de clic en la opción de “Hecho”

 Done

(Figura 104).

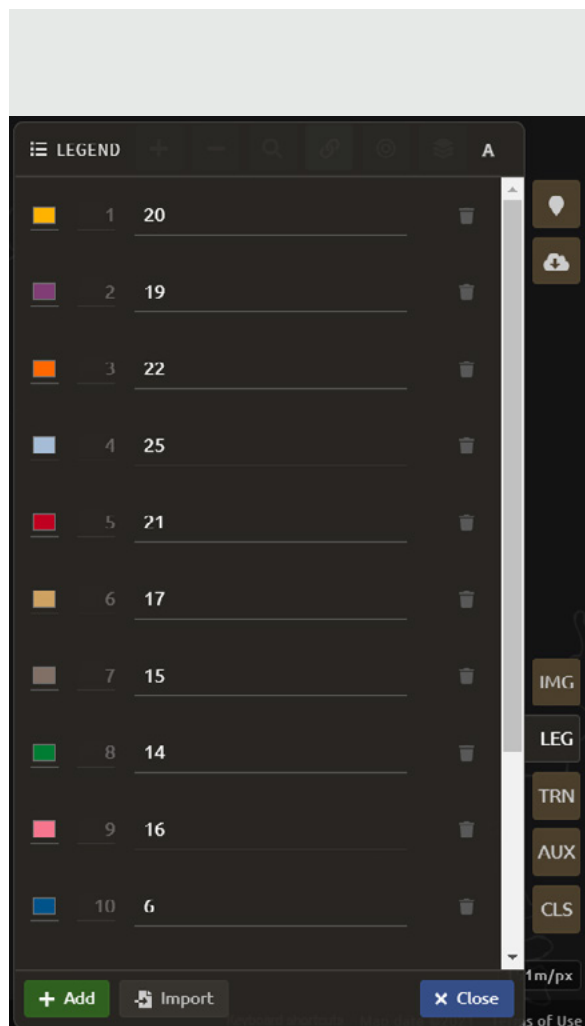


Figura 104 Leyenda para la clasificación de biomasa

En la siguiente pestaña debe cargar la información de campo, para esto, tal como se explicó en el Capítulo 3 debe dar clic en el botón de “Añadir” **+ Añadir** y en la ventana que se despliega seleccione la opción de archivo CSV, para luego arrastrar el archivo hacia la plataforma y de clic en siguiente **> Siguiente** (Figura 105).

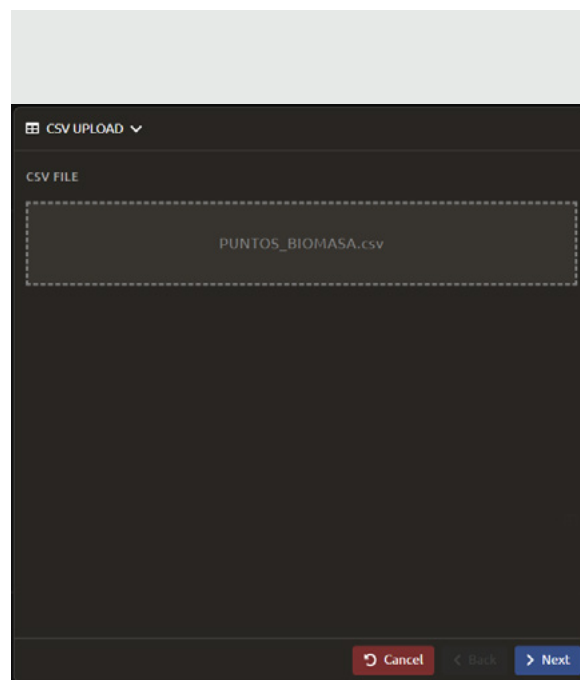


Figura 105 Carga del archivo CSV de datos de campo a la plataforma

En la siguiente ventana seleccione la opción de “Columnas de coordenadas X/Y” **COLUMNAS DE COORDENADAS X/Y** indique al programa el nombre de la columna tanto para la longitud como para la latitud y de clic en “Siguiente” **> Siguiente** (Figura 106).

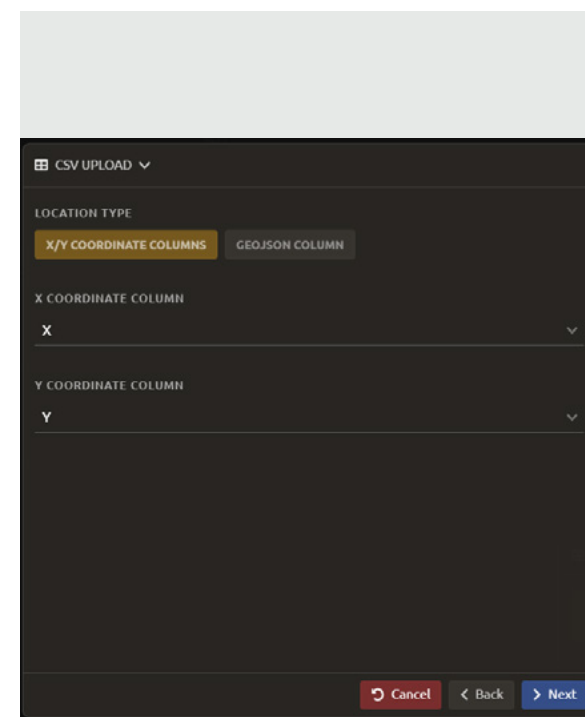
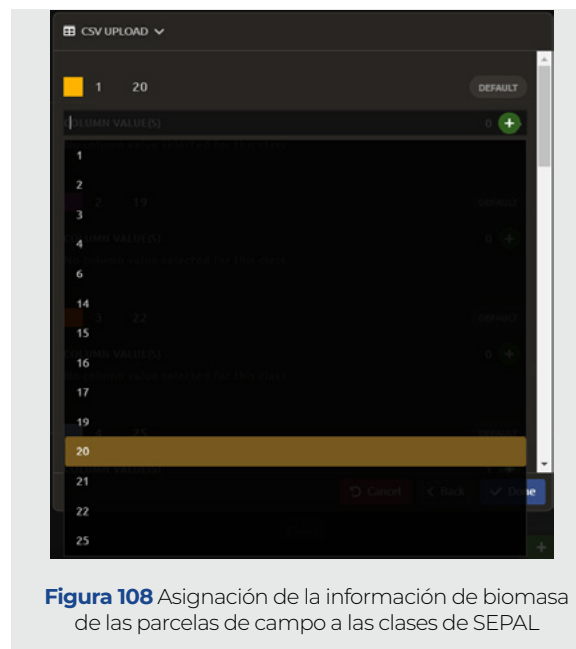


Figura 106 Asignación de las columnas del CSV con las coordenadas X/Y

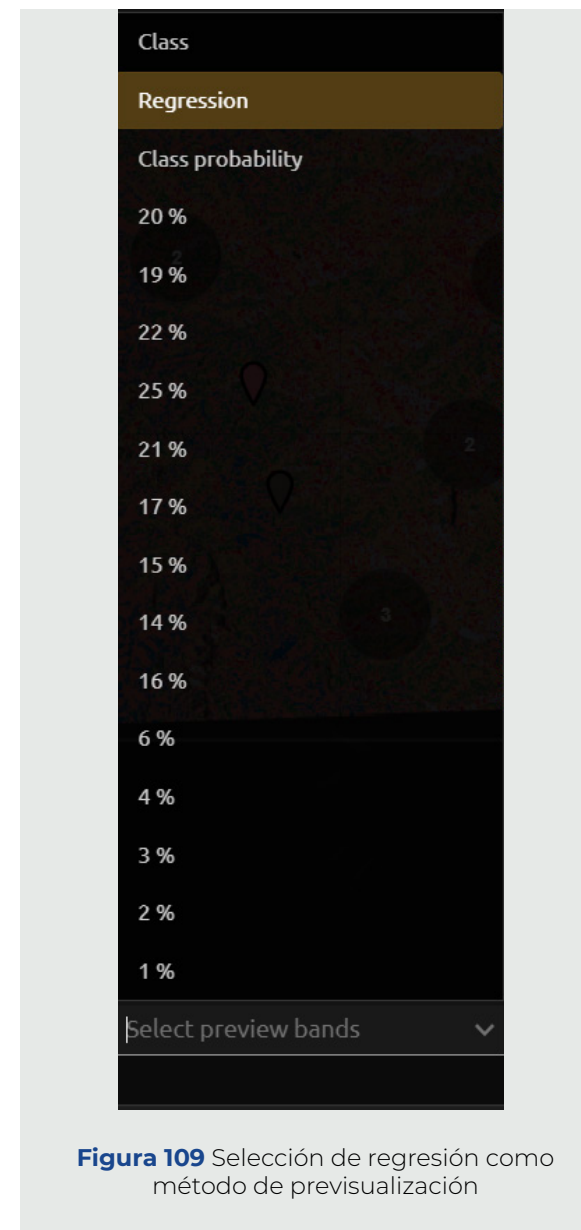
En la ventana que sigue indique a la plataforma que el formato de la clase es de “Columna única” **COLUMNA ÚNICA**, el nombre de la columna del CSV con los datos de biomasa y de clic en “Siguiente” **> Siguiente** (Figura 107).



Finalmente, asigne los valores de la columna con la información de biomasa a las clases de la leyenda creada en SEPAL. Para esto de clic en el botón de “Más” **+** a la par de cada clase y seleccione el dato correspondiente a cada una (Figura 108). Al final dar clic en “Hecho”. **✓ Hecho**



Una vez cargada la información de campo se mostrará la ubicación de los puntos y una previsualización de la clasificación. No obstante, el resultado deseado no corresponde a una clasificación ya que este método da como resultado una agrupación categórica de los píxeles según los datos de las bandas. Por tanto, se debe de indicar a la herramienta que se desea una regresión que permitirá estimar los valores de biomasa para cada píxel según el comportamiento de los datos y los valores de las bandas. Para observar una previsualización de la regresión, en la zona central inferior de la pantalla dar clic en el botón titulada “Clase” **Class**, y en la lista que se le despliega de clic en la opción de “Regresión” (Figura 109).



Una vez hecho esto, podrá observar una previsualización de la regresión, la cual representa la estimación del **Indicador 4. Biomasa por encima del suelo (AGB)** (Figura 110).

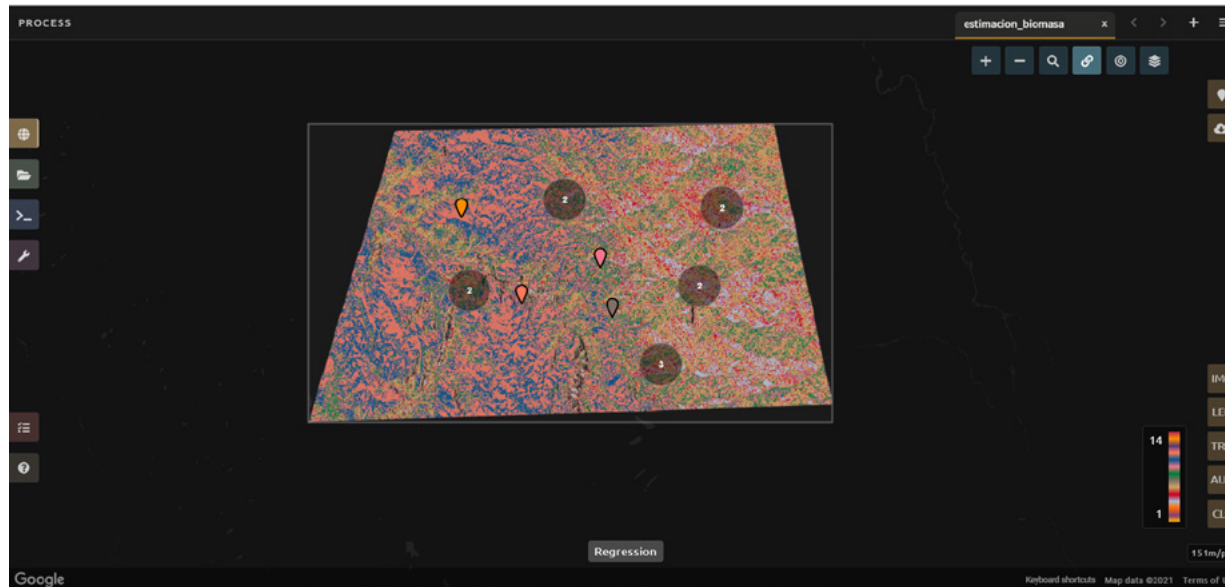


Figura 110 Previsualización de la estimación del **Indicador 4. Biomasa por encima del suelo (AGB)**

Seguidamente, proceda a guardar el flujo de trabajo dando clic en el icono de guardado



 ubicado en la sección superior derecha de la plataforma y dar clic en la opción de “Guardar flujo de trabajo”. En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”  (Figura 111).

Figura 111 Guardado del mosaico

Finalmente, exporte el resultado al espacio de trabajo de Sepal para su descarga. Para esto, de clic al icono de “Importar mosaico”






 en la sección superior derecha de la pantalla y en la ventana que se desplegará seleccione la opción de “Regresión”, y seleccione la escala de importación en 20m, de clic en la opción de “Espacio de trabajo de Sepal” y luego de clic en “Importar”  (Figura 112).

Figura 112 Configuración de la opción de “Importar regresión”.

Al igual que con los demás procesos de importado, puede monitorear el avance de este en la pestaña de tareas  a la izquierda de la pantalla. Una vez finalizado este proceso diríjase a la pestaña de “Documentos”  para la descarga del archivo raster. Para esto bajo la opción de “Descargas” busque el nombre con el que guardó la regresión. Luego, despliegue las opciones hasta poder observar los archivos .tif y .vrt, de clic en una de estos para seleccionarlo y descárguelo dando clic en la opción de descargar  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla (Figura 113); seguidamente descargue el otro archivo.

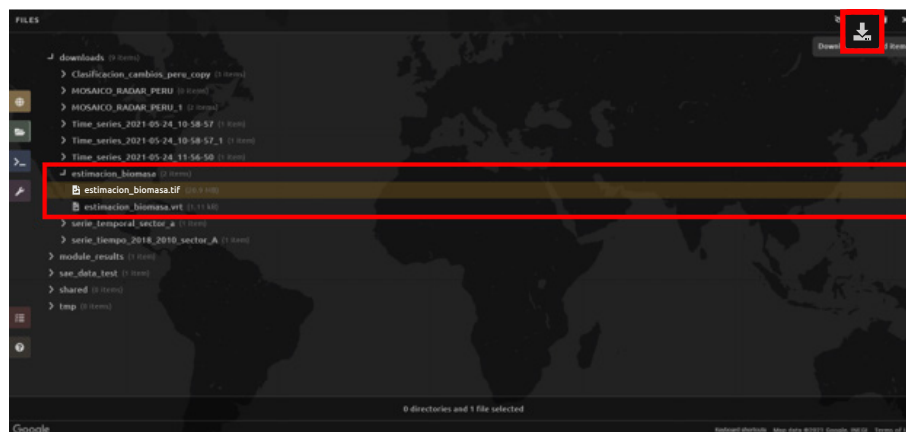


Figura 113 Selección y descarga de la estimación de biomasa

Para poder calcular el carbono secuestrado en un período de tiempo se deben realizar los procesos anteriormente descritos para dos años en estudio. Es importante que para ambos años se reserve al menos el 30% de los datos de campo para poder llevar a cabo validaciones de los resultados. Con las imágenes descargadas proceda a abrir ambos

rásters en su software GIS de preferencia, por ejemplo, QGIS y habrá la calculadora ráster (Figura 114).

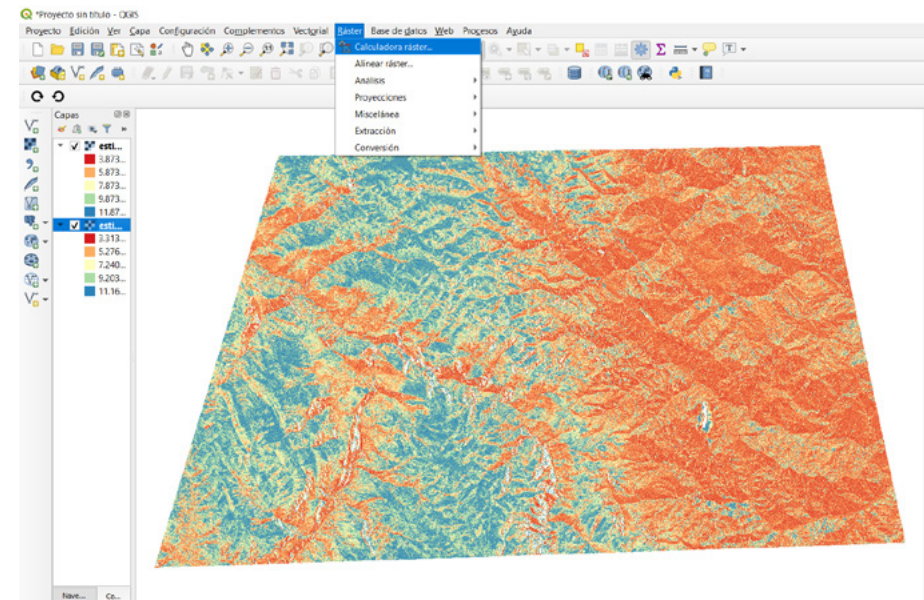


Figura 114 Selección de la calculadora ráster

Seguidamente, para calcular y obtener el **Indicador 5. Cambios en el carbono en un período de tiempo**, en la calculadora ráster proceda a restarle la biomasa del año base del período de estudio (año 1) a la biomasa del año de comparación año 2. Además, con el fin de transformar los valores de biomasa a valores de carbono, proceda a dividir el resultado entre dos. Para fines prácticos de este ejercicio, se toma como válido que la biomasa se encuentra compuesta aproximadamente por un 50% de carbono. Sin embargo, esta conversión debe revisarse para cada caso específico, y utilizar en la medida de lo posible, valores de referencia que se asemejen a las

condiciones de sitio². Finalmente, guarde el resultado con un nombre indicado. La configuración de la calculadora ráster se muestra en la Figura 115, y el resultado final del **Indicador 5** se muestra en la Figura 116.

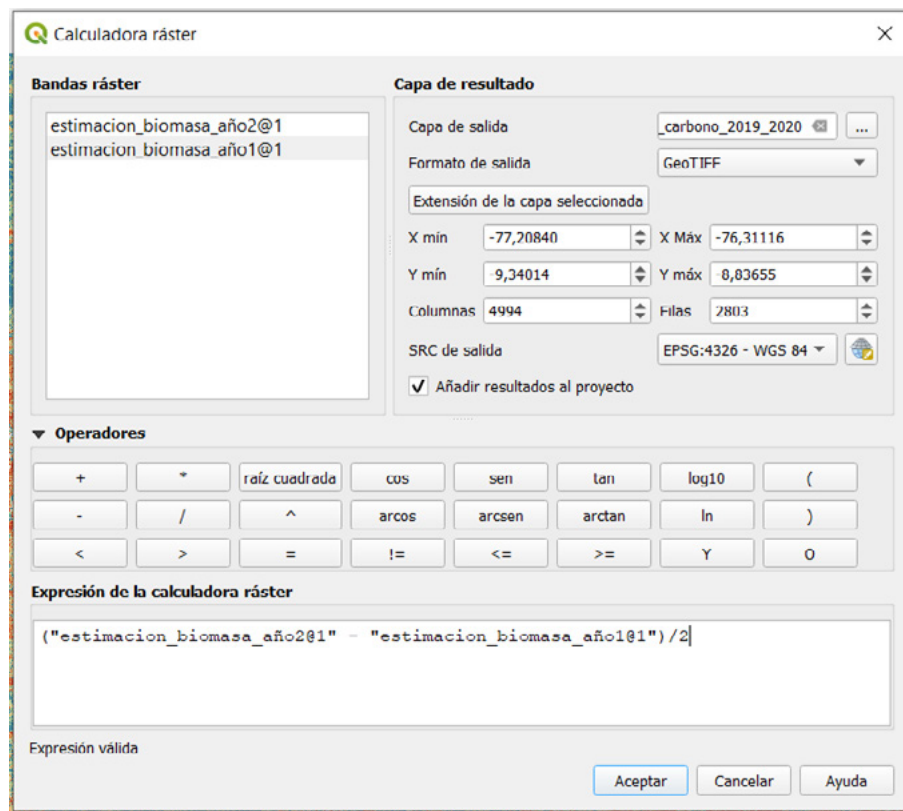


Figura 115 Configuración de la calculadora Ráster

2. Se recomienda revisar las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Volumen 4 Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, Capítulo 4 Tierras forestales, (https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_04_Ch4_Forest_Land.pdf)



Figura 116 Resultados del **Indicador 5. Cambios en el carbono en un período de tiempo**

Como se puede observar en la Figura 116, se presentan datos tanto negativos como positivos. Los datos negativos (zonas en rojo y naranja) implican que existió una disminución de la biomasa estimada en el píxel y por tanto una liberación de carbono. Por otro lado, los resultados positivos (zonas en verde y azul) implican un incremento en la biomasa y por ende un secuestro de carbono entre los años en estudio. Los datos cercanos a 0 (zonas en amarillo) implican que el cambio en carbono fue mínimo en el período de análisis.

En la imagen 116 y a modo de ejemplo, se puede determinar que existieron zonas donde se dio una liberación de carbono de alrededor de 3.11 toneladas por hectárea, no obstante, también existen zonas donde se dio un secuestro de carbono de aproximadamente 3.25 toneladas por hectárea.

Para acceder a un video explicativo de este Capítulo ingrese al siguiente enlace: <https://youtu.be/cHOwnSJJxSg>

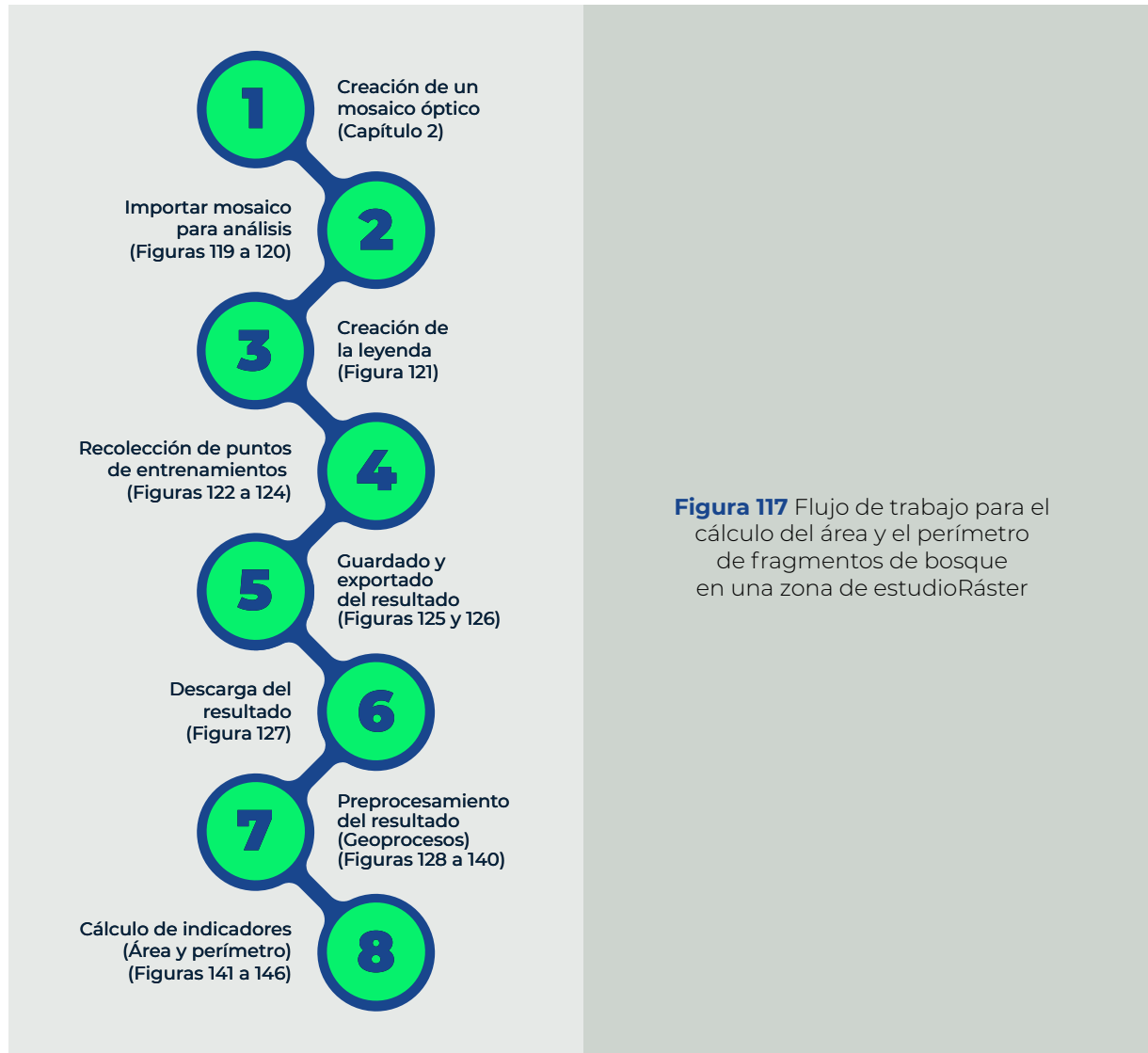
CAPÍTULO

06

Cálculo del área de bosque fragmentado
y tamaño de los fragmentos



Para poder determinar el área de bosque y el tamaño de los fragmentos debe seguir el flujo de procesos que se detalla en la Figura 117.



Lo primero que debe realizar es un mosaico de imágenes Sentinel-2 de un área de estudio y un año definidos. Para esto, seleccione la opción de “Dibujar un polígono” en la primera pestaña del flujo de trabajo y siga la metodología de trabajo detallada en el Capítulo 2, de manera que obtenga un resultado similar al que se muestra en la Figura 118.



Figura 118 Ejemplo de mosaico Sentinel - 2 (2020)

Guarde el flujo de trabajo dando clic en el icono de guardado ubicado en la sección superior derecha de la plataforma y de clic en la opción de “Guardar flujo de trabajo”. En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”

Seguidamente, exporte el resultado como un Asset de Google Earth Engine dando clic al icono de “Importar mosaico” en la sección superior derecha de la pantalla y configure la ventana que se desplegará según la Figura 119 y luego de clic en “Importar”.

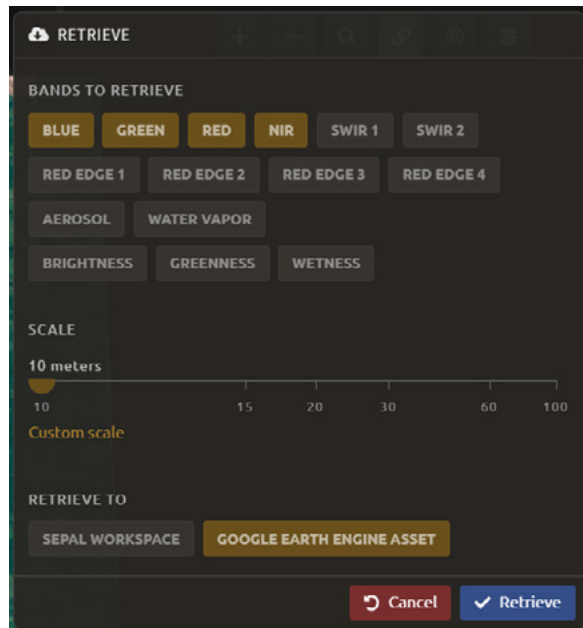


Figura 119 Importado del mosaico para su clasificación

Una vez la importación esté completa, proceda a clasificar el mosaico en 2 categorías: Bosque y No Bosque. Para esto, en la ventana de procesos seleccione la opción de “Clasificación de imágenes” y en la primera opción del flujo de trabajo que se desplegará en la sección inferior derecha

escoja el mosaico recién creado. Para esto siga los pasos detallados en el Capítulo 3 para la selección y carga de un mosaico para su clasificación.

Al final de la carga deberá observar el nombre del mosaico en la primera pestaña del flujo de trabajo y el área demarcada en el visor (Figura 120). Finalmente, de clic en el botón de “Siguiente”

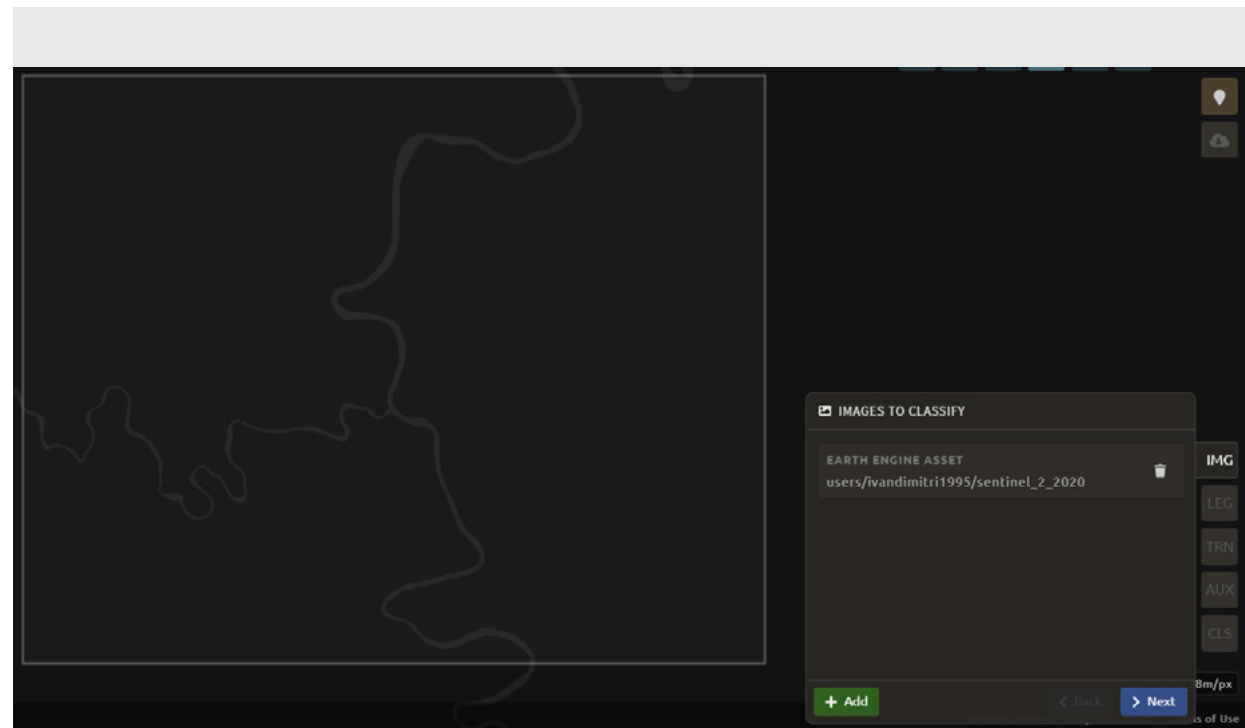


Figura 120 Mosaico cargado en la primera opción del flujo de trabajo

En la segunda pestaña del flujo de trabajo cree las dos clases recomendadas para clasificar el mosaico. Configure la ventana tal como se muestra en la Figura 121.



Figura 121 Creación de las clases para la clasificación

La codificación de los colores de las clases es la siguiente:

1. Bosque, Verde: R:0, V:255, B:0
2. No bosque, Rojo: R: 255, V:0, B:0

Una vez finalizada la configuración de las clases a utilizar, debe dar clic en la opción de “Hecho” **✓ Hecho**

Para iniciar la recolección de los puntos de entrenamiento, debe acceder primero a mostrar imágenes para el año en análisis, por lo que debe dirigirse a la opción de “Selección de capas a mostrar” que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla y en la ventana que se despliega seleccione la opción de Planet, tal como se muestra en la Figura 122.

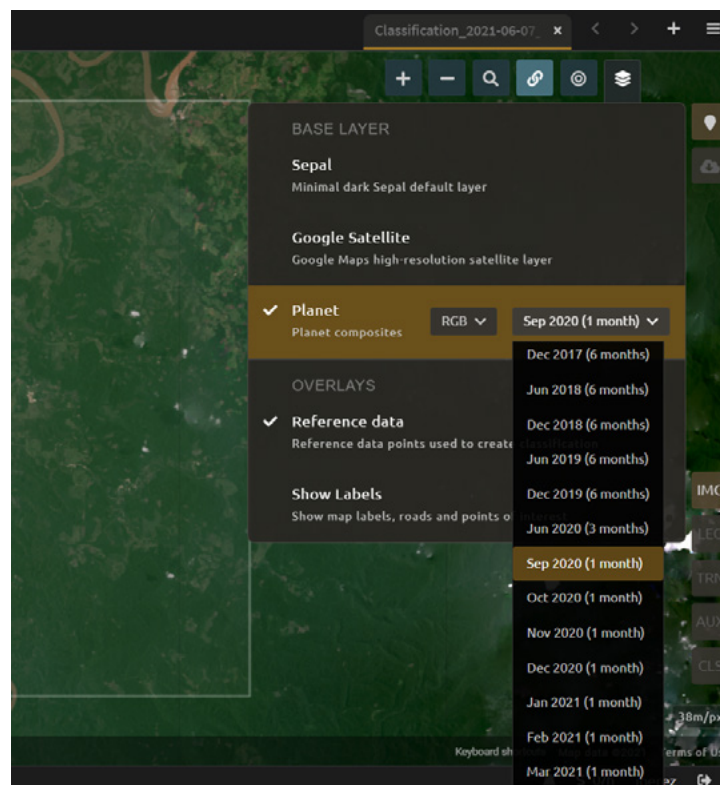



Figura 122 Selección de las imágenes de referencia

Varíe la visualización de las imágenes Planet entre las imágenes disponibles para el año en estudio. Finalmente, recuerde activar en la sección de “Capas de superposición” (Overlays) las opciones de “Datos de referencia” (Data reference) y “Mostrar etiquetas” (Show labels), ya que esta información le será de utilidad para ubicarse en la imagen.

Luego de configurar las imágenes, debe de empezar a identificar y etiquetar puntos

en el mapa que correspondan a las clases previamente definidas. Para esto active la opción de “Activar la recopilación de datos de referencia”  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla y de clic en una sección del área de estudio para crear un punto de referencia para el algoritmo de clasificación (Figura 123).

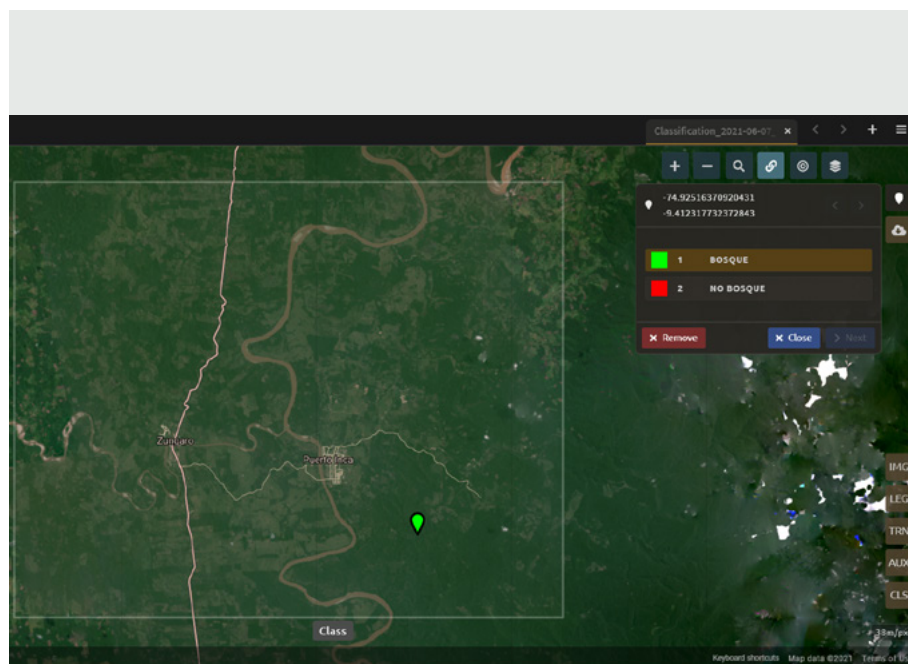


Figura 123 Creación de punto de referencia de la clase de bosque

Recuerde que al momento de crear el primer punto debe de seleccionar la clase a la que corresponde en la ventana que se despliega, tal como se muestra en la Figura 123. Una vez seleccionada una clase los puntos siguientes seguirán perteneciendo a esta clase a menos que se seleccione una nueva clase en la ventana.

Alternando entre las diferentes imágenes Planet disponibles para los años de comparación identifique áreas correspondientes a cada una de las clases y coloque los puntos de referencia. Identifique al menos 30 puntos para cada una de las clases y revise que la previsualización del resultado coincida con las imágenes de referencia (Figura 124).

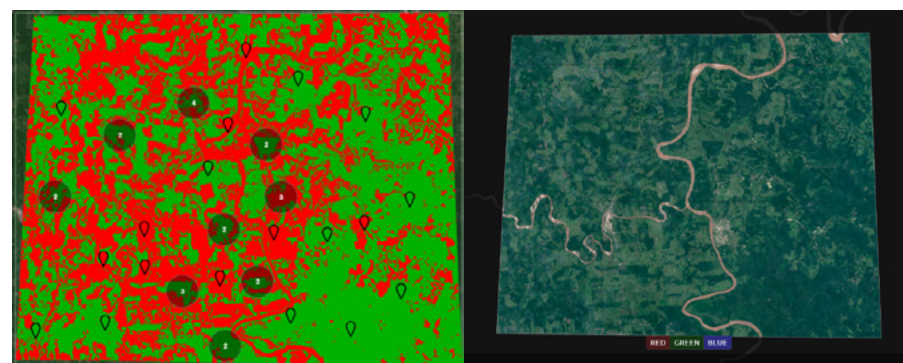




Figura 124 Comparación de los resultados de la clasificación con las imágenes Planet

Cuando el resultado sea satisfactorio, proceda a guardar el flujo de trabajo dando clic en el icono de guardado  ubicado en la sección superior derecha de la plataforma y de clic en la opción de “Guardar flujo de trabajo”. En la ventana que se desplegará, nombre el flujo de trabajo de manera que sea fácil de identificar en un futuro, y de clic en “Guardar”  (Figura 125).

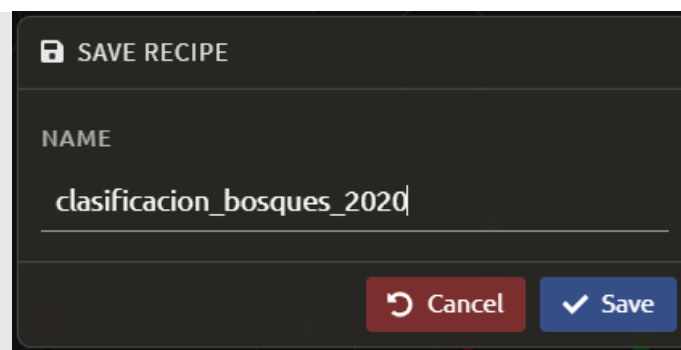




Figura 125 Guardado de la clasificación

Finalmente, importe el resultado al espacio de trabajo de Sepal para su descarga. Para esto, de clic al icono de “Importar mosaico”  en la sección superior derecha de la pantalla y en la ventana que se desplegará seleccione la opción de “Class”, y seleccione la escala de importación en 10m, de clic en la opción de “Espacio de trabajo de Sepal” y luego de clic en “Importar”  (Figura 126).

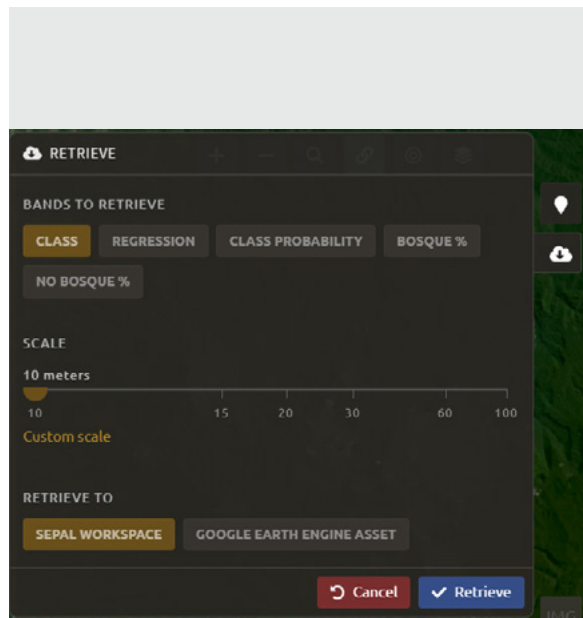





Figura 126 Configuración de la opción de “Importar clasificación”

Al igual que con los demás procesos de importado, puede monitorear el avance de este en la pestaña de tareas  a la izquierda de la pantalla. Una vez finalizado este proceso dirijase a la pestaña de “Documentos”  para la descarga del archivo ráster. Para esto bajo la opción de “Descargas” busque el nombre con el que guardó la clasificación. Luego, despliegue las opciones hasta poder observar los archivo .tif y .vrt, de clic en una de estos para seleccionarlo y descárguelo dando clic en la opción de descargar  que se encuentra en la sección superior derecha de la pantalla (Figura 127); seguidamente descargue el otro archivo.

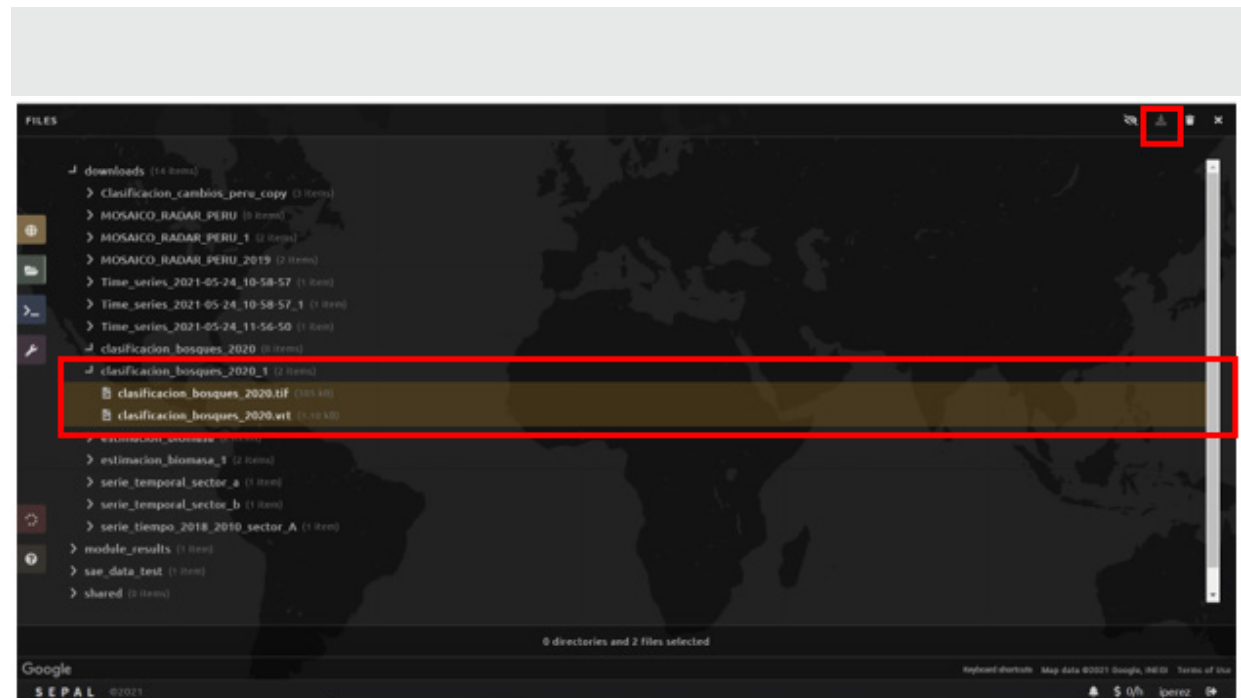


Figura 127 Selección y descarga de la clasificación de bosques

Con las imágenes descargadas proceda a abrir el ráster en su software GIS de preferencia, por ejemplo, QGIS (Figura 128).

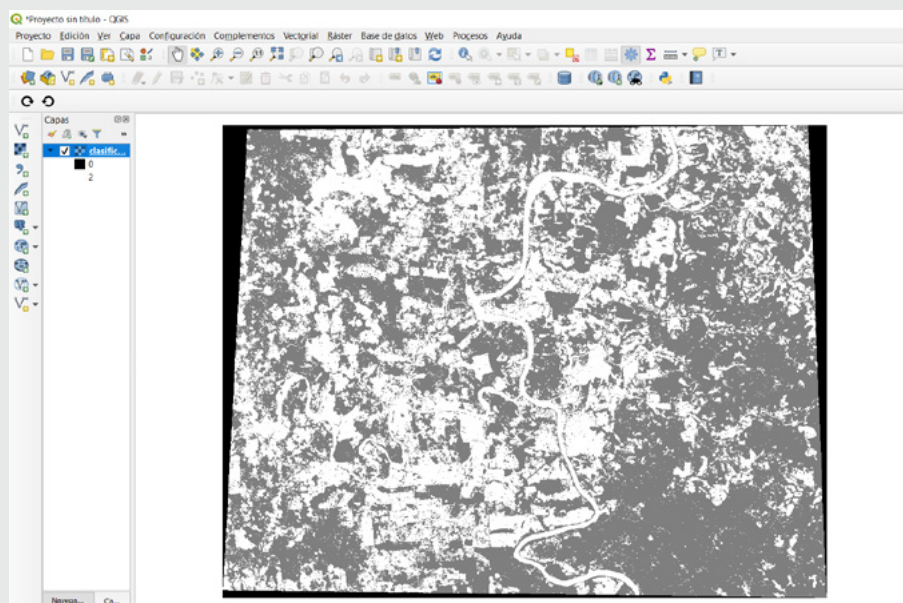


Figura 128 Despliegue del resultado en QGIS

Una vez desplegado el archivo proceda a vectorizar el archivo, para esto en QGIS diríjase a **“Ráster>Conversión>Poligonizar”** (Figura 129).

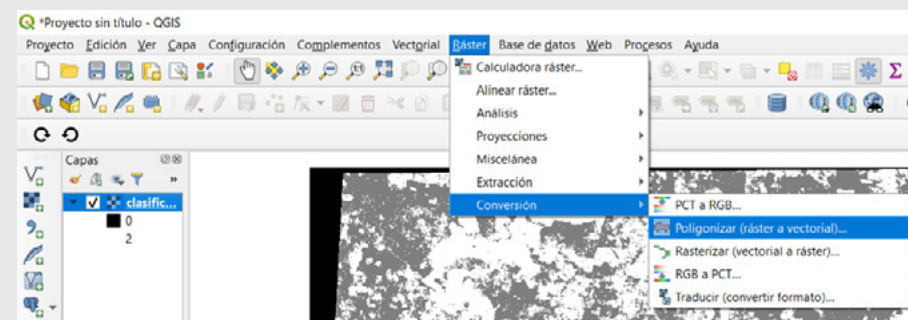


Figura 129 Ubicación de la herramienta de vectorizado

En la ventana que se despliega seleccione la capa ráster que descargó de SEPAL que va a vectorizar y guarde el archivo en formato shape de ESRI tal como se muestra en la Figura 130.

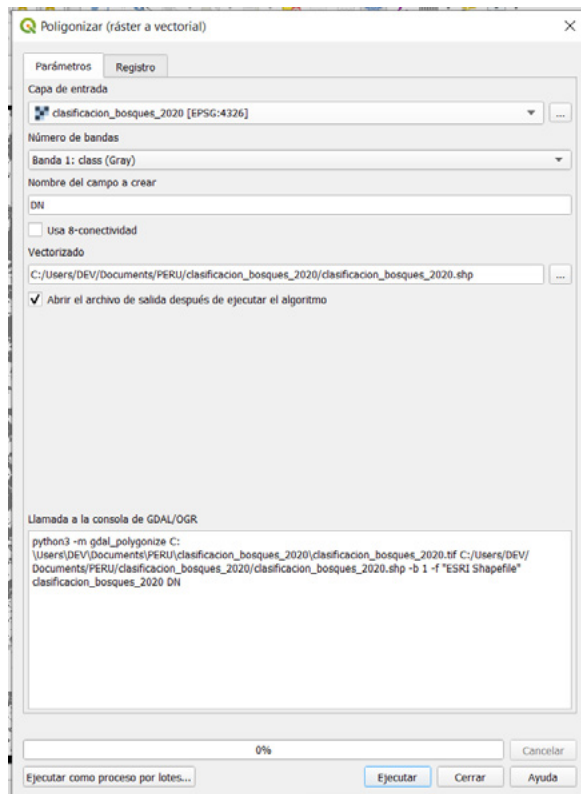


Figura 130 Configuración de la herramienta poligonizar

El resultado debe ser un archivo shape tal como se muestra en la Figura 131.

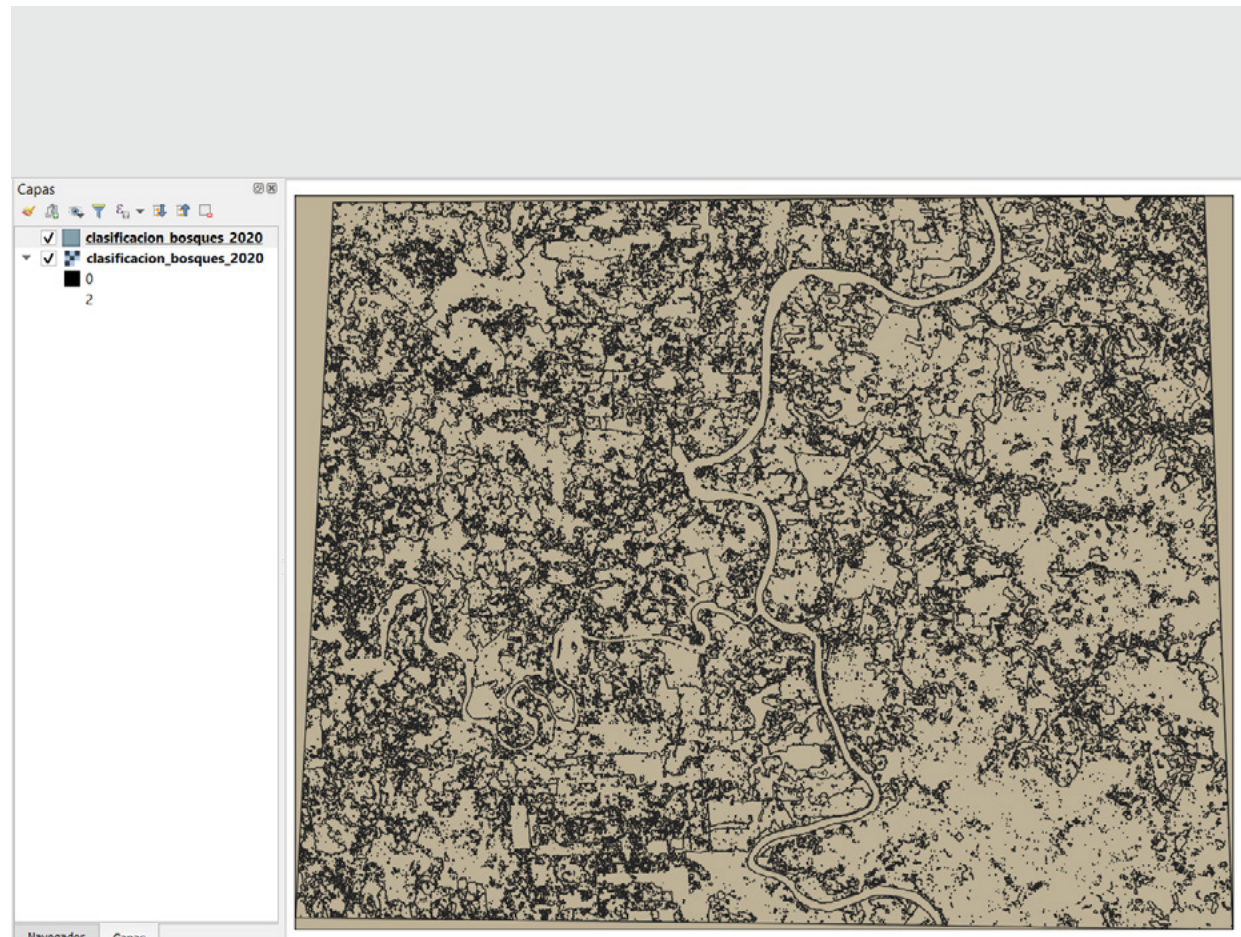


Figura 131 Clasificación de bosques vectorizada

Seguidamente proceda a eliminar todos los atributos que no corresponden a la clase de bosque. Para esto abra la tabla de atributos de la capa dando clic derecho en el nombre>Abrir tabla de atributos (Figura 132).

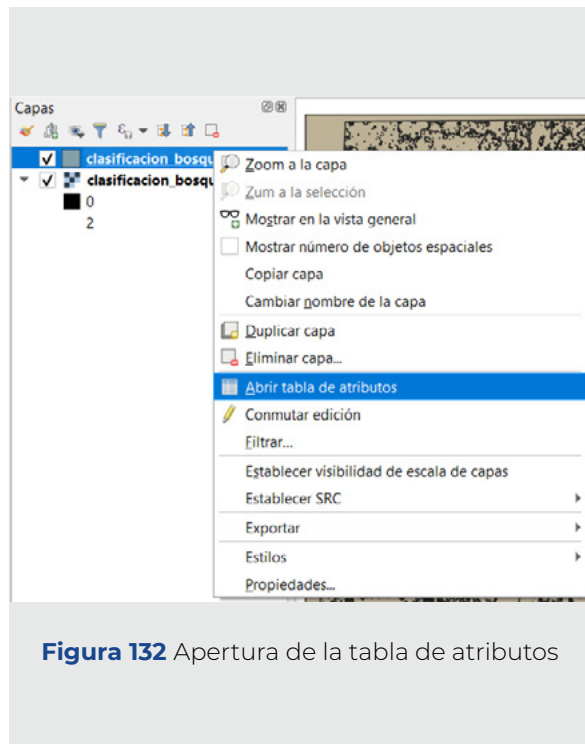



Figura 132 Apertura de la tabla de atributos

En la ventana que se desplegará seleccione la opción de “Seleccionar objetos espaciales usando una expresión”  que se encuentra en la barra de atributos, y en la nueva ventana digite la expresión que se muestra en la Figura 133 y de clic en el botón de “Seleccionar objetos espaciales”.

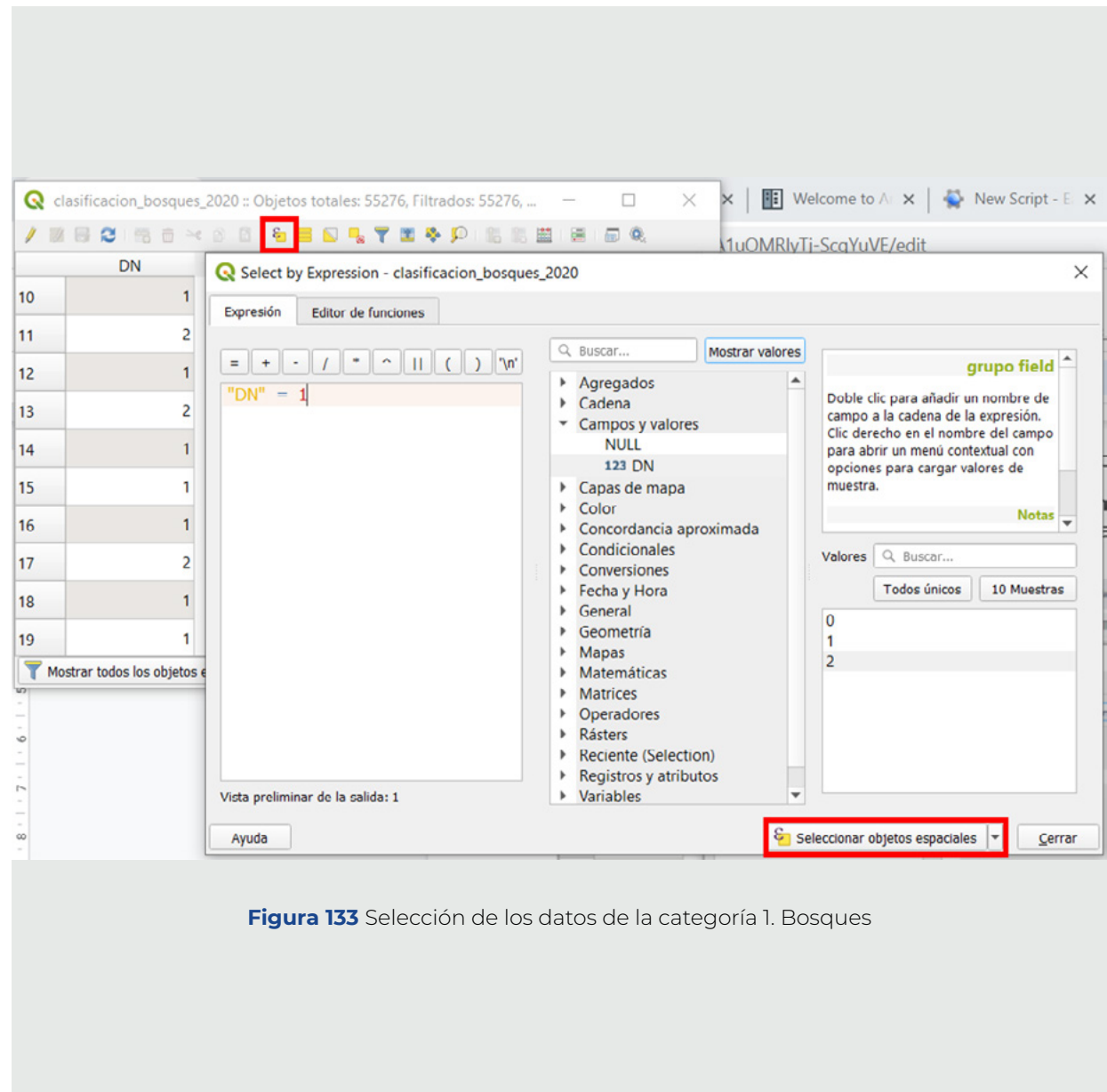





Figura 133 Selección de los datos de la categoría 1. Bosques

Seguidamente invierta la selección dando clic en la opción de “Invertir selección”  en la barra de herramientas. Luego proceda a eliminar los atributos que no corresponden a la clase bosques dando clic en la opción de “Conmutar el modo edición”  y luego en el botón de “Borrar objetos seleccionados” . De esta forma solo deberían de quedar los polígonos clasificados en la clase de bosque (Figura 134).

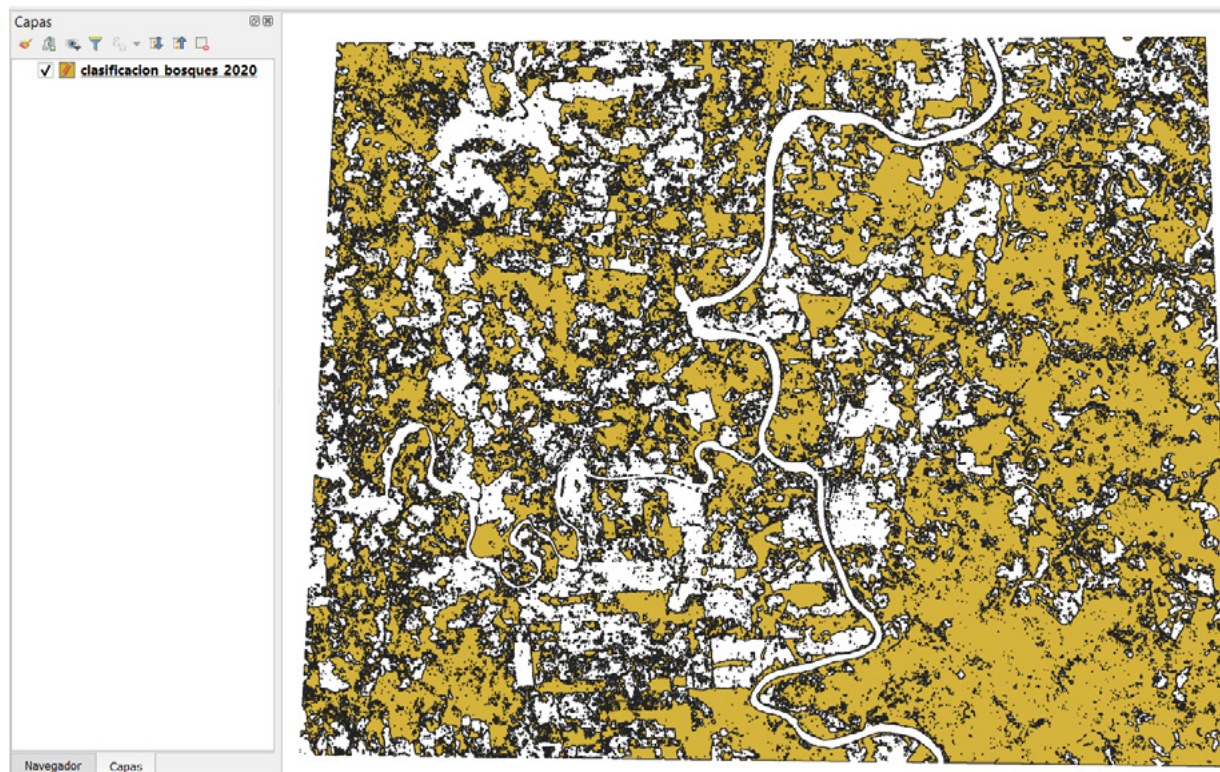


Figura 134 Polígonos de la clase de bosque

Siempre es recomendable corregir las geometrías de la capa después de estos procesos para esto en la caja de herramientas escriba “Corregir geometrías” y seleccione la opción que se le despliega (Figura 135).

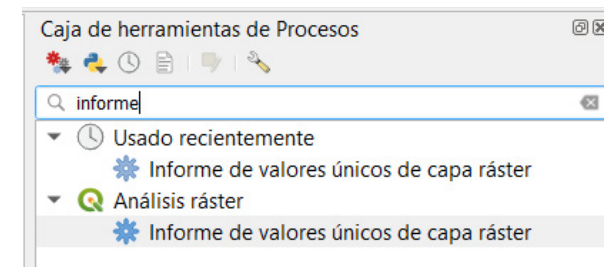


Figura 135 Selección de la herramienta “Corregir geometrías”

En la ventana que se despliega seleccione la capa con los polígonos de bosque y de clic en “Ejecutar” (Figura 136).

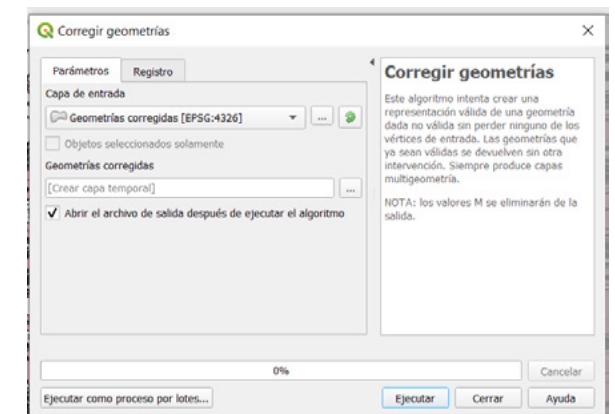


Figura 136 Configuración de la herramienta de “Corregir geometrías”

Seguidamente, para poder unificar segmentos continuos proceda a disolver el archivo, para esto en QGIS dirijase a **“Vectorial>Herramientas de geoprosesos>Disolver** (Figura 137).



Figura 137 Selección de la herramienta “Disolver”

En la ventana que se despliega seleccione la capa corregida y de clic en ejecutar (Figura 138).

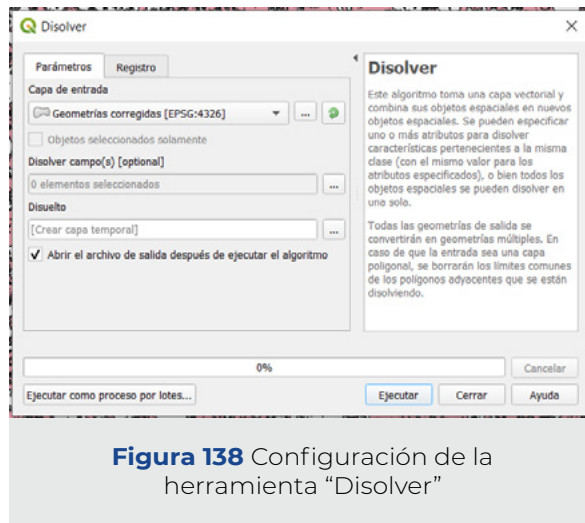


Figura 138 Configuración de la herramienta “Disolver”

Tras la disolución toda la geometría de los polígonos identificados como bosque se encontrará en un solo atributo, sin embargo, para poder obtener las áreas de cada uno de los segmentos aislados debe llevar a cabo una partición de la capa disuelta, para esto en QGIS puede utilizar la herramienta de “Multiparte a monoparte” que se encuentra en la caja de herramientas (Figura 139).

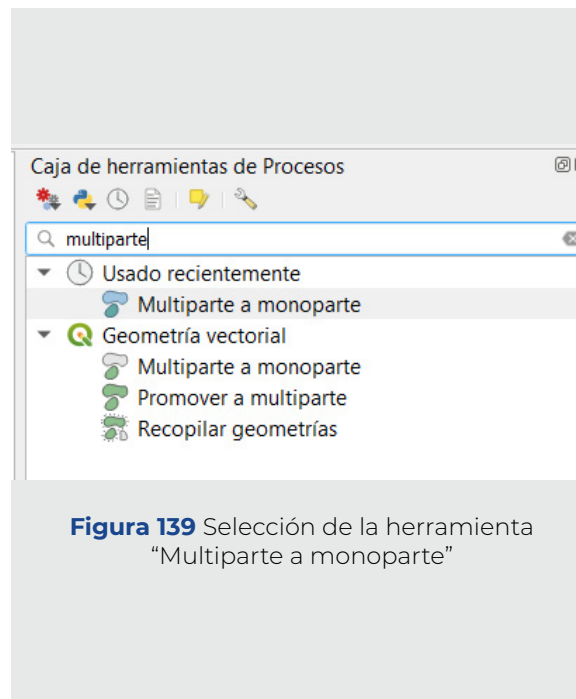


Figura 139 Selección de la herramienta “Multiparte a monoparte”

En la ventana que se desplegará seleccione la capa disuelta como el insumo para el proceso y guarde el resultado con un nombre representativo, tal como se muestra en la Figura 140 y luego de clic en Ejecutar.

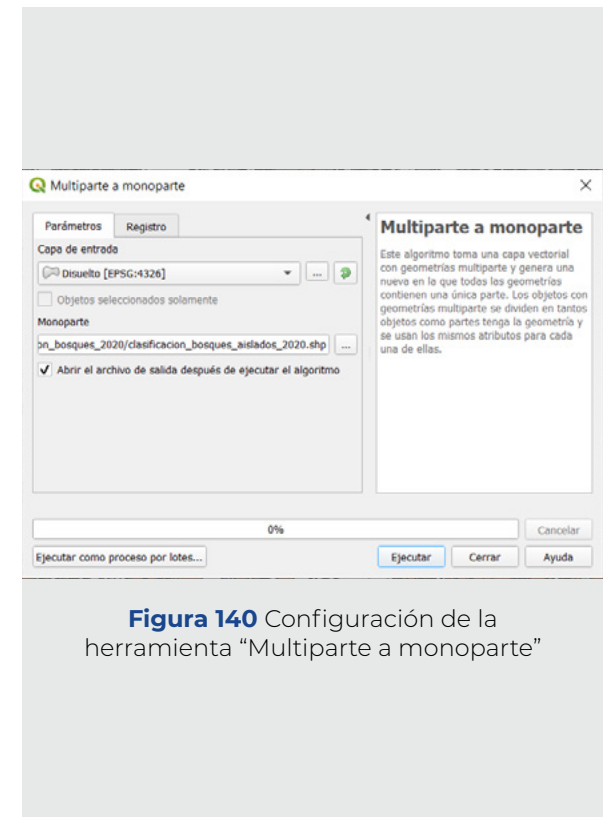


Figura 140 Configuración de la herramienta “Multiparte a monoparte”

Seguidamente, despliegue la tabla de atributos dando clic derecho en el nombre de la capa de atributos y luego en Abrir tabla de atributos. En dicha tabla, seleccione la opción de “Abrir calculadora de campos”



en la barra de herramienta, y en la ventana que se despliega cree un nuevo campo de tipo Número decimal llamado Área configurando dicha ventana tal como se muestra en la Figura 141.

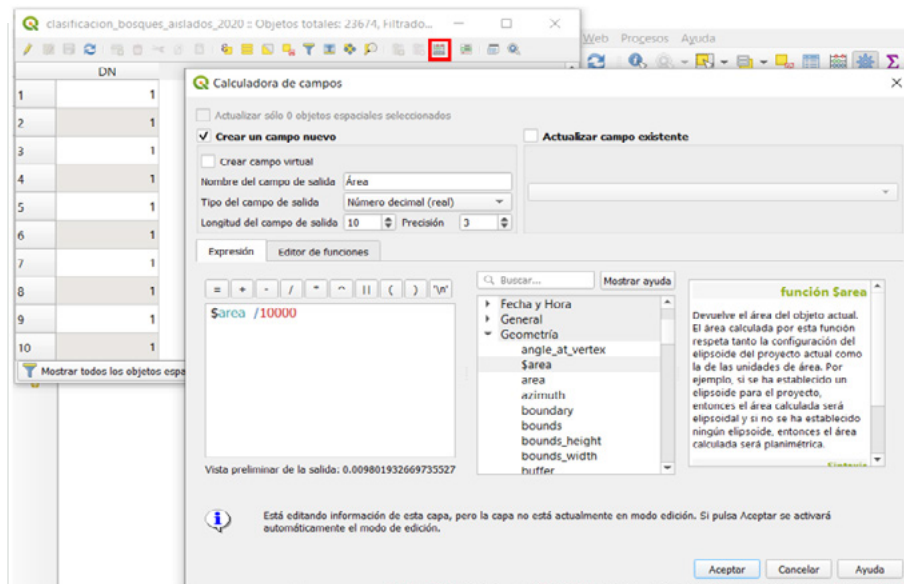


Figura 141 Cálculo del área de cada fragmento de bosque en hectáreas

Al calcular las áreas podrá observar que algunas presentan un tamaño de hasta 0.01 ha. Esto se debe a que esa área representa el tamaño mínimo posible de un polígono proveniente de un mosaico Sentinel-2 con una resolución de 10m. Estos resultados se deben a que dichos píxeles se encuentran en zonas donde hay una acumulación de copas de árboles lo que provoca una semejanza espectral de dichos píxeles con píxeles típicos de bosque. Sin embargo, por diversos factores como área y uso de la tierra es claro que estos polígonos no corresponden a bosque por lo que se recomienda eliminar toda aquella área menor a la definición de bosque que se desee implementar, por ejemplo FAO (2012) define bosque como:

“Tierras que se extienden por más de 0.5 hectáreas dotadas de árboles de una altura superior a 5 metros y una cubierta de dosel superior al 10 por ciento, o de árboles capaces de alcanzar esta altura in situ. No incluye la tierra sometida a un uso predominantemente agrícola o urbano”

Por tanto, según esta definición se deben eliminar todos aquellos polígonos menores a 0.5 hectáreas. Para esto, abra la tabla de atributos de la capa y de clic en la opción de “Seleccionar objetos espaciales usando una expresión” que se encuentra en la barra de atributos. En la nueva ventana que se despliega digite la expresión que se muestra en la Figura 142 y de clic en el botón de “Seleccionar objetos espaciales”.

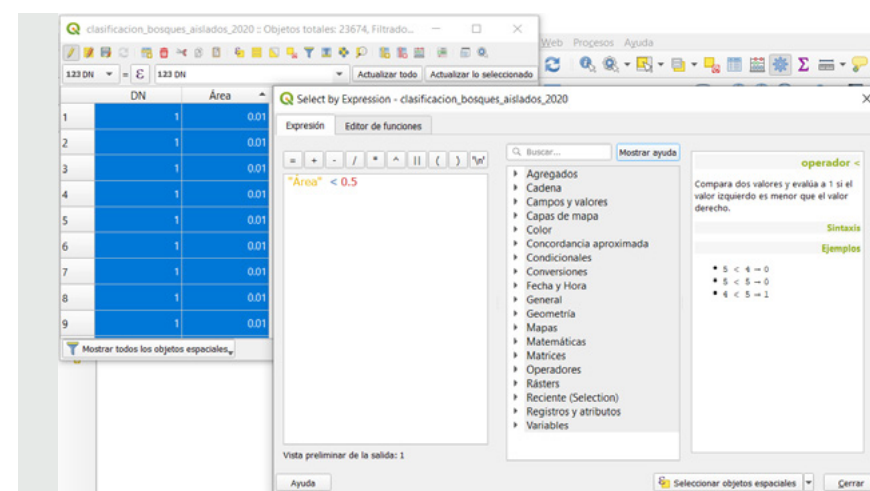





Figura 142 Selección de polígonos menores a 0.5 ha

Luego proceda a eliminar los atributos seleccionados dando clic en la opción de “Conmutar el modo edición”  y luego en el botón de “Borrar objetos seleccionados” . Finalmente, guarde los resultados dando clic nuevamente en “Conmutar el modo edición” . Para conocer la cantidad de fragmentos de bosque identificados, así como el área total de bosque y el tamaño mínimo, máximo y promedio de los fragmentos, debe de activar el “Panel de Estadísticas”. Para esto, de clic derecho en la barra de herramientas principal de QGIS y en la lista de paneles que se desplegará seleccione la opción de “Panel de Estadísticas” (Figura 143).

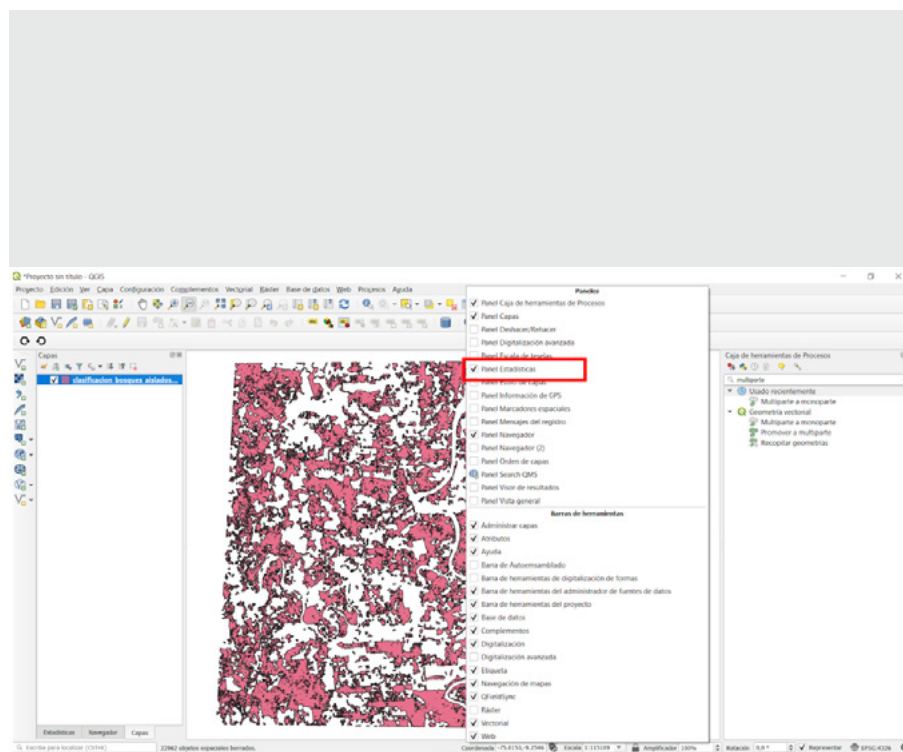


Figura 143 Activación del “Panel de estadísticas”

En dicho panel (el cual usualmente se despliega en la sección izquierda del programa), seleccione la capa shape procesada y en la columna analizar selección “Área” de manera que se desplieguen las estadísticas para este dato (Figura 144).

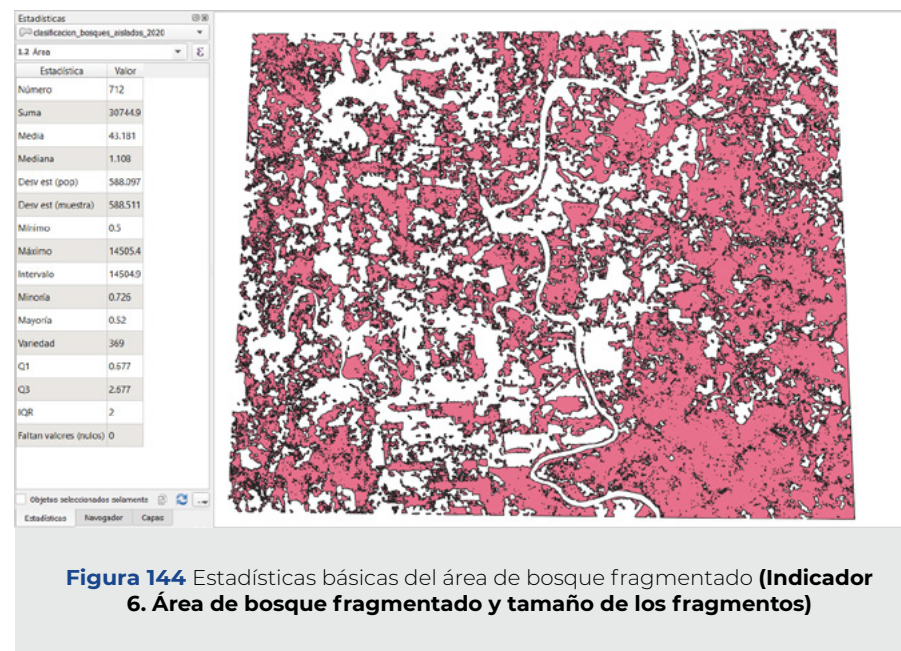


Figura 144 Estadísticas básicas del área de bosque fragmentado (**Indicador 6. Área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos**)

Como se puede observar en la Figura anterior, a través del panel de estadística es posible obtener el **Indicador 6. Área de bosque fragmentado y tamaño de los fragmentos**. Por ejemplo, en la zona de estudio de ejemplo se presentan 712 fragmentos de bosque, los cuales en total poseen un área de 30,744.9 ha. El segmento más pequeño encontrado corresponde a un área de 0.5 ha, mientras que el fragmento de bosque más grande posee un área de 14,505.4 ha.

Si desea calcular además el perímetro de los fragmentos en kilómetros, despliegue la tabla de atributos dando clic derecho en el nombre de la capa de atributos y luego en Abrir tabla de atributos. En dicha tabla, seleccione la opción de “Abrir calculadora de campos”



en la barra de herramienta, y en la ventana que se despliega cree un nuevo campo de tipo “Número decimal (real)” llamado “PERÍMETRO” configurando dicha ventana tal como se muestra en la Figura 145.

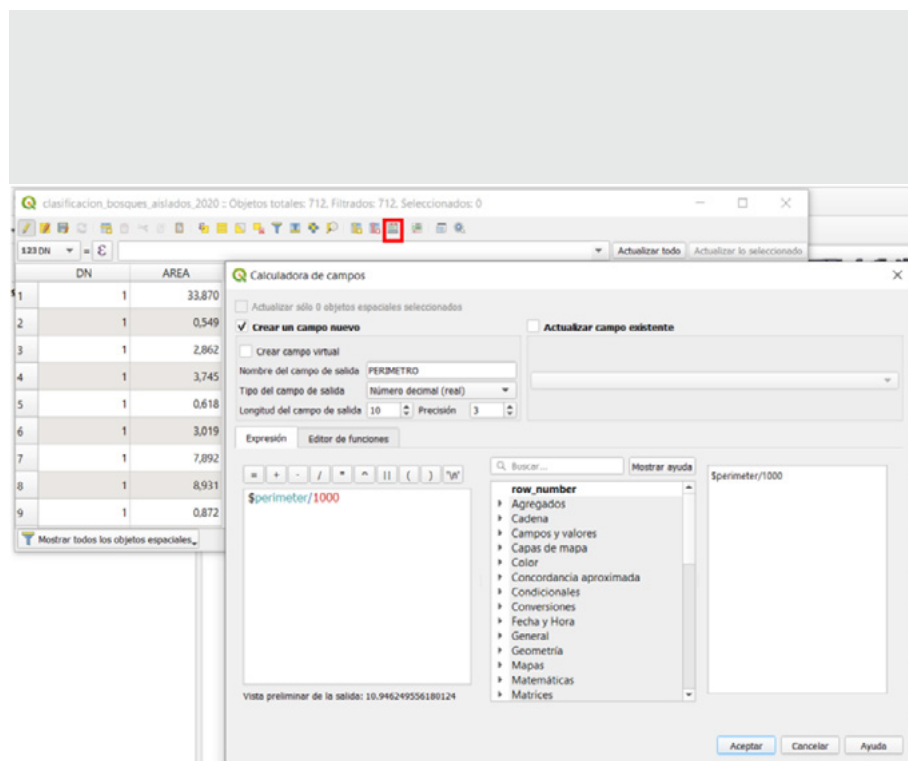


Figura 145 Cálculo del perímetro de cada fragmento de bosque en kilómetros

Para conocer la suma total de los perímetros en el área de estudio, así como el tamaño mínimo, máximo y promedio de estos, en el panel de estadísticas seleccione la capa shape procesada y el "PERÍMETRO", de manera que se desplieguen las estadísticas para este dato (Figura 146).

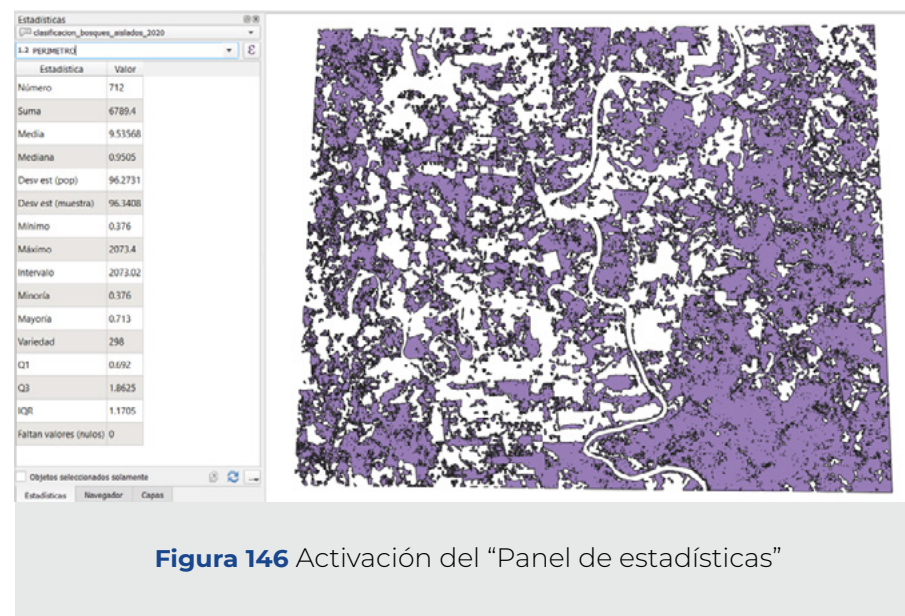


Figura 146 Activación del "Panel de estadísticas"

Como se puede observar en la figura anterior, en la zona de estudio de ejemplo los 712 fragmentos de bosque poseen una suma total del perímetro igual a 6,789.4 km. El segmento más pequeño encontrado presenta un perímetro de 0.376 km, mientras que el fragmento de bosque más grande posee un perímetro de 2,073.02 km.

Es importante mencionar que a partir del resultado obtenido en Sepal es posible obtener otra variedad de estadísticos importantes para caracterizar la fragmentación del bosque y la ecología del paisaje, como la forma de los fragmentos y la distancia entre estos. No obstante, para poder llevar a cabo esos análisis es necesario un programa especializado. Dentro del catálogo de programas disponibles se recomienda el uso del software FRAGSTATS, del cual se puede obtener mayor información en el siguiente link:

<https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.

Para acceder a un video explicativo de este Capítulo ingrese al siguiente enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=kL-xQ9lao4c>

REFERENCIAS

Bustamante, R., Grez, A. (1995) Consecuencias ecológicas de la fragmentación de los bosques nativos. *Ambiente y Desarrollo*, 11(2), 58-63.

Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía. (sf). Restauración de ecosistemas forestales degradados. Recuperado de: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/menuitem.7e1cf46ddf59b-b227a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=d1273c9498f7a210VgnVCM2000000624e50aRCRD&vg-nextchannel=953b6fa4a465e310VgnVCM2000000624e50aRCRD>

ESRI. 2016. ¿Qué es un mosaico?. Recuperado de: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-a-mosaic.htm>

FAO. (2015). Documento de Trabajo de la Evaluación de los Recursos Forestales No. 180. Recuperado de: fao.org/3/ap862s/ap862s00.pdf

FAO. 2018. OPEN FORIS Y SEPAL. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/ca1085es/CA1085ES.pdf>

García-Calabrese, M., Amarilla, S., Insfrán, O., Medina, C. (2017). Análisis multitemporal del cambio de uso de la tierra en el Departamento de Alto Paraguay, Paraguay. *Investigación Agraria*. 19. 93-100. 10.18004/investig.agrar.2017.diciembre.93-100.

Kumar, P., Sharma, L. K., Pandey, P. C., Sinha, S., & Nathawat, M. S. (2013). Geospatial Strategy for Tropical Forest-Wildlife Reserve Biomass Estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(2), 917–923. doi:10.1109/jstars.2012.2221123

Li, H., Wan, W., Fang, Y., Zhu, S., Chen, X., Liu, B., & Yang, H. (2018). A Google Earth Engine-enabled Software for Efficiently Generating High-quality User-ready Landsat Mosaic Images. *Environmental Modelling & Software*. doi:10.1016/j.envsoft.2018.11.004

Pauchard, A., Aguayo, M., Alaback, P. (2006). Cuantificando la fragmentación del paisaje: las métricas y sus significados ecológicos. En: GREZ, A.; SIMONETTI, J. y BUSTAMANTE, R. (eds.).

Biodiversidad en ambientes Fragmentados de Chile: patrones y procesos a diferentes escalas. Santiago: Editorial Universitaria, 41-67.

Sinha, S., Jeganathan, C., Sharma, L. K., & Nathawat, M. S. (2015). A review of radar remote sensing for biomass estimation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5), 1779–1792. doi:10.1007/s13762-015-0750-0

REFERENCIAS

Sinha, S., Jeganathan, C., Sharma, L. K., & Nathawat, M. S. (2015). A review of radar remote sensing for biomass estimation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(5), 1779–1792. doi:10.1007/s13762-015-0750-0

Tondapu, G., Markert, K., Lindquist, E., Wiell, D., Díaz, A., Johnson, G., Ashmall, W..., R., Saah, D. (2018). A SERVIR FAO Open Source Partnership: Co-development of Open Source Web Technologies using Earth Observation for Land Cover Mapping. American Geophysical Union, vol. 2018.

Vaghela, D. & Naina, K. (2014). A Review of Image Mosaicing Techniques. *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management Studies*, 2(3).

Vargas, O., Mora, F. (2008). La restauración ecológica. Su contexto, definiciones y dimensiones.. En *Estrategias para la restauración ecológica del bosque altoandino*. (pp.19 - 40) Vargas, O. Ed. Universidad Nacional de Colombia.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(1), 106–115. doi:10.1016/j.rse.2009.08.014

ANEXO 01

Producto 1 // Plan de trabajo



INTRODUCCIÓN

El “Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático” busca fortalecer la respuesta mundial al cambio climático, para lo cual requiere que todas las Partes fortalezcan sus esfuerzos en los años venideros (Bustamante et al, 2019). Dentro de esta convención, la Restauración del Paisaje Forestal (FLR por sus siglas en inglés) se enmarca como un concepto clave para la mitigación al cambio climático. La FLR fue definida por un grupo de 30 especialistas como “un proceso planificado que tiene como objetivo recuperar la integridad ecológica y mejorar el bienestar humano en paisajes deforestados o degradados” (Stanturf et al, 2017). Es por esta razón que, dentro de las acciones más reconocidas para la mitigación del cambio climático se encuentran la reforestación y la restauración forestal, ya que permiten mejorar los servicios ecosistémicos, al igual que los hábitats naturales y, por ende, la biodiversidad y el sustento de los estilos de vida de las poblaciones más tradicionales (Nunes et al, 2017).

Los paisajes restaurados son también claves para la adaptación de las comunidades rurales a los impactos del cambio climático. Estos paisajes pueden proporcionar medios de vida, seguridad alimentaria, energética y hídrica y, al mismo tiempo, eliminar el carbono de la atmósfera. La adaptación basada en ecosistemas (AbE) tiene como objetivo reducir las vulnerabilidades humanas mediante la provisión de servicios ecosistémicos. Es un enfoque que utiliza la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas para ayudar a las personas a adaptarse al cambio climático (Rizvi et al. 2015). La agroforestería es otro enfoque de adaptación relacionado a la restauración forestal, donde se combina la siembra de árboles con los cultivos agrícolas, haciendo hincapié en un mejor uso de los suelos para prácticas agrícolas como cultivos y pastizales.

La forestería comunitaria brinda otro enfoque de adaptación donde la restauración forestal puede jugar un rol determinante. Involucra múltiples actores a múltiples escalas. Apoya la existencia de estructuras sólidas de gobernanza y una participación activa de los actores locales en la planificación del paisaje y la organización de sus comunidades. Además, brinda herramientas para la implementación de técnicas de manejo forestal sostenible, desarrollo de empresas forestales comunitarias, agregación de valor en la producción forestal, y apoyo en el acceso a mercados y financiamiento, por lo que mejora la conservación de la biodiversidad e impulsa la resiliencia económica y social a largo plazo de las comunidades rurales (Kozak, 2007; CIFOR, 2008; Macqueen, Buss, & Sarroca, 2012; FAO, 2012; RECOFTC, 2013; FAO, 2016).

A partir del Acuerdo de París, surgen las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC, por siglas en inglés), las cuales corresponden a metas de adaptación y mitigación que

involucran a todos los sectores y actores de la sociedad en torno a objetivos comunes para la sostenibilidad de un país. En el caso de Perú, las NDC enfocadas en adaptación establecen objetivos y metas para reducir la vulnerabilidad ante los peligros asociados al cambio climático en cinco áreas temáticas priorizadas: 1) Agricultura; 2) Bosques; 3) Pesca y acuicultura; 4) Salud; y 5) Agua (MINAM, s.f).

Dentro de la temática de Bosque, las metas planteadas por el gobierno incluyen la restauración de ecosistemas (MINAM, 2016). Dichas zonas se han identificado como áreas prioritarias de restauración bajo el proceso ROAM a nivel departamental y nacional, referidas a dos grandes afectaciones del uso de la tierra: prácticas agropecuarias en tierras con aptitud forestal y de protección, y por la pérdida de la fertilidad en tierras agropecuarias (Mamani et al, 2019). Las áreas prioritarias resultante del proceso ROAM constituye la base de la brecha nacional en restauración de ecosistemas y tierras forestales que asciende a 2´150,172 ha aprobado por R.M. N° 338-2020-MIDAGRI habilitando el fomento de inversión pública y privada para desarrollar proyectos de inversión orientados al cierre de brecha. Para cumplir con esta meta, el gobierno peruano ha identificado una serie de actores entre entidades gubernamentales (entre las que destaca SERFOR e INIA), no gubernamentales, gobiernos locales y regionales y academia, que deben de apropiarse de las iniciativas de la restauración.

Adicionalmente, existe un reto importante en cuanto al monitoreo del desempeño de los procesos de restauración. Los gobiernos, comunidad científica y organizaciones de la sociedad civil, se enfrentan a la tarea de determinar estrategias de monitoreo que ayuden a evaluar con precisión el rendimiento de estos esfuerzos. Actualmente, las estimaciones de la cobertura forestal y los cambios en la dinámica de bosques determinados mediante teledetección son comúnmente aceptados como medidas del éxito de la restauración a escala comunitaria, regional, nacional y mundial (Cordell et al, 2016). Los datos adquiridos a partir de sensores remotos pueden proporcionar información de grandes áreas, disminuyendo o eliminando la necesidad de extrapolar información a grandes escalas espaciales a partir de muestras limitadas. Esto puede ser especialmente importante en paisajes fragmentados donde el muestreo de campo tradicional pueda no ser capaz de representar la extensión o distribución de la cubierta vegetal (Shuma & Ambrose, 2003).

Dentro de la disciplina de la teledetección existen gran variedad de métodos y fuentes de datos, por lo que es importante determinar los resultados esperados de manera que se seleccionen los insumos y los procesos más adecuados para tal fin. Por ejemplo, en los últimos años, la plataforma en línea Google Earth Engine ha destacado por ser una plataforma de geoprocесamiento, basada en la nube, diseñada para proporcionar acceso computacional a vastos conjuntos de datos geoespaciales, lo que la vuelve una excelente opción para

implementar algoritmos de detección de cambios (Kennedy et al, 2018). De igual forma, la plataforma Sepal desarrollada por la FAO es una plataforma basada en la nube para el monitoreo autónomo de la tierra utilizando datos de detección remota. Ambas plataformas permiten a los usuarios acceder a poderosos recursos de computación en la nube y procesar datos satelitales de manera rápida y eficiente para crear análisis avanzados (Tondapu, 2018).

En cuanto a las fuentes de datos, estas pueden clasificarse en sensores de mediana y alta resolución espacial. De los sensores de mediana resolución destacan los satélites: Landsat, Sentinel, SPOT y RapidEye que permiten monitorear indicadores de restauración y degradación como: Usos de la tierra y patrones del paisaje a gran escala, riqueza de especies y biodiversidad, cantidad de biomasa, detección de cambios en la cobertura forestal, fragmentación de bosques y tamaño de los fragmentos, entre otros. Dentro de los sensores de alta resolución destacan WorldView, GeoEye y Quickbird que además de las estimaciones anteriormente mencionadas permiten realizar un mapeo de las especies y el cálculo de la distribución, abundancia y composición de estas dentro de los bosques (Reif & Theel, 2016).

OBJETIVOS

Objetivo General:

Desarrollar una metodología para el monitoreo del proceso de restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre aplicando tecnología de sensores remotos

Objetivos específicos:

- ▶ Evidenciar el desempeño de los procesos de restauración forestal, en particular el desarrollo de los proyectos de inversión en el cierre de la brecha nacional en recuperación de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, a través de indicadores que ayuden a informar sobre el avance y logros de los proyectos de restauración a nivel nacional, regional y local, en el marco de los lineamientos para la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre.
- ▶ Monitorear el avance hacia la meta de la medida NDC en cuanto a la recuperación de la cobertura forestal, a cargo del SERFOR y evaluar la eficiencia y efectividad de las acciones realizadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El planteamiento metodológico para el desarrollo de la consultoría se estructurará en dos fases:

- ▶ Recopilación, revisión, consolidación, integración y análisis de experiencias existentes a nivel nacional e internacional, relacionadas al monitoreo de la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre degradados.
- ▶ Desarrollo de una propuesta metodológica del instrumento de gestión para el monitoreo de la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre.

El cuadro 1 muestra las actividades que se llevarán a cabo en cada una de las etapas anteriormente detalladas.

Cuadro 1. Actividades y esfuerzo (días) para el desarrollo de la propuesta

PRODUCTO	TAREA		INSUMOS	SEMANA									
				12/04	19/04	26/04	03/05	10/05	17/05	24/05	31/05	07/06	14/06
Plan de trabajo	1	Redacción de borrador de plan de trabajo	Reunión con equipo de GIZ y/o SERFOR	0,5									
	2	Revisión del borrador de plan de trabajo		0,5									
	3	Incorporación de observaciones y entrega del Plan de trabajo			0,5								
Recopilación, revisión, consolidación, integración y análisis de experiencias existentes relacionadas al monitoreo de la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre	4	Consolidación de una base de datos que incluya artículos científicos, documentos de política pública, informes institucionales, bases de datos oficiales, evaluaciones de proyectos, entre otros, asociada al monitoreo de la restauración de ecosistemas forestales mediante sensoramiento remoto, con especial énfasis en el proceso ROAM	Literatura científica publicada a nivel nacional e internacional; documentos de política pública del Perú referidos a procesos de restauración, informes de proyectos de inversión en Perú sobre restauración forestal, bases de datos institucionales con indicadores previamente identificados, informes y otras fuentes del proceso ROAM		2	2	1						
	5	Elaboración y socialización de propuesta de una matriz resumen que incluya experiencias sobre monitoreo de la restauración nacional e internacional de ecosistemas forestales, por ej.: Indicador, definición, metodología, requerimientos, imágenes de teledetección multitemporal, disponibilidad de datos, fuentes de información					2	2					
	6	Presentación del borrador matriz resumen con los indicadores identificados	Reunión con equipo de GIZ y/o SERFOR					0,5					
	7	Incorporación de observaciones a la matriz y entrega de Primer informe de consultoría	Reunión con equipo de GIZ y/o SERFOR						0,5				
Propuesta metodológica del instrumento de gestión para el monitoreo de la restauración de ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre	8	Preparación del borrador de la propuesta metodológica, por ej.: Objetivo, indicadores seleccionados, áreas prioritarias, pautas metodológicas, gestión de información, actores, roles y funciones	Bases de datos nacionales e internacionales con información de indicadores: metadatos, publicaciones, entre otros						3	3	2		
	9	Presentación del borrador de la propuesta metodológica	Reunión con equipo de GIZ y/o SERFOR									0,5	
	10	Incorporación de observaciones a la propuesta y presentación	Reunión con equipo de GIZ y/o SERFOR									1	
	11	Entrega del Informe final de consultoría con el manual técnico	-										
TOTAL				1	2,5	2	3	2,5	3,5	3	2	1,5	

La primera fase se desarrollará con el fin de recopilar y analizar las experiencias en el monitoreo y la evaluación de procesos de restauración a nivel global que puedan ser incorporados en Perú. Esta etapa se desarrollará entre el 19 de abril y el 21 de mayo del 2021 con 10 días laborales efectivos. El producto de esta fase será una matriz que contenga una primera base de indicadores relacionados al monitoreo de la restauración, con información sobre su metodología, alcance, fuentes de información, calidad de la información, temporalidad de los datos, entre otros. Esta información se obtendrá de documentos de política pública de Perú, documentos técnicos de proyectos nacionales e internacionales sobre restauración, artículos científicos, y bases de datos nacionales y/o institucionales. La matriz resumen será presentada al equipo de SERFOR y GIZ, con el fin de validar el set de indicadores más apropiado y utilizarlos en la siguiente etapa.

La segunda fase constituye la preparación de la propuesta metodológica para el monitoreo de la restauración, según los indicadores previamente seleccionados. Esta etapa se llevará a cabo del 17 de mayo al 18 de junio con un total de 9,5 días de labor efectiva. En esta fase, se diseñará un método práctico para medir los indicadores, enfocado en el uso de herramientas de sensoramiento remoto, según las circunstancias nacionales (por ej. los compromisos de Perú sobre restauración, lo planteado en el marco del proceso ROAM, la escala de paisaje y combinación de diferentes usos del suelo, y las áreas prioritarias ya definidas en el país). El producto final de esta fase es un manual técnico para la implementación de la metodología de monitoreo.

Este manual se enfocará en incluir un detalle gráfico y práctico para la medición de cada indicador. Tendrá como objetivo instruir al usuario en el uso de la metodología y la solución de los problemas que puedan surgir en la operación. Este será entregado en formato de documento PDF y contará (al menos) con las siguientes secciones:

- ▶ Prefacio: Donde se indicará cómo utilizar el manual y a quién va dirigido (funcionarios del SERFOR).
- ▶ Índice: Para proveer al usuario de una forma rápida de ubicarse en el documento.
- ▶ Desarrollo: Donde se documentará paso a paso cada uno de los procesos necesarios para aplicar la metodología propuesta para el monitoreo de la restauración en las zonas prioritarias de manera que el usuario final sea capaz de replicar dicho método.
- ▶ Información de contacto: De manera que sea posible contactar a los autores en caso de dudas.
- ▶ Referencias y sitios de interés: Por si se desea ampliar los conocimientos en la metodología.

Además el manual contará con enlaces a videos demostrativos que guiarán al usuario a través del proceso.

Al igual que la matriz resumen de la primera fase, este documento será presentado al equipo de SERFOR y GIZ, de manera que se puedan incorporar sus observaciones.

ANEXO 01 REFERENCIAS

- ▶ Bustamante, M., Silva, J., Scariot, A. et al. (2019) Ecological restoration as a strategy for mitigating and adapting to climate change: lessons and challenges from Brazil. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* 24, 1249–1270. <https://doi.org/10.1007/s11027-018-9837-5>
- ▶ CIFOR. (2008). Manejo forestal comunitario en América Latina: Experiencias, lecciones aprendidas y retos para el futuro. Bogor, Indonesia. 274 p.
- ▶ Cordell, S., Questad, E. J., Asner, G. P., Kinney, K. M., Thaxton, J. M., Uowolo, A., ... Chynoweth, M. W. (2016). Remote sensing for restoration planning: how the big picture can inform stakeholders. *Restoration Ecology*, 25, S147–S154. doi:10.1111/rec.12448
- ▶ FAO. (2012). Community-based forestry (online, disponible en www.fao.org/forestry/participatory).
- ▶ FAO. (2016). Forty years of community-based forestry: A review of its extent and effectiveness. Rome, Italy. 168 p.
- ▶ Kennedy, R., Yang, Z., Gorelick, N., Braaten, J., Cavalcante, L., Cohen, W., & Healey, S. (2018). Implementation of the LandTrendr Algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing*, 10(5), 691. doi:10.3390/rs10050691
- ▶ Kozak, R. (2007) Small and Medium Forest Enterprises: Instruments of Change in the Developing World. Rights and Resources Initiative, Washington, USA.
- ▶ Macqueen, D. J., Buss, C., Sarroca, T. (2012). TFD Review: Investing in locally controlled forestry. New Haven, USA: The Forest Dialogue.
- ▶ Mamani, A., Benavides, J., González, F., Mendoza, R., Calderón, A., Saavedra, L. (2019). RESTAURACIÓN DE PAISAJES EN EL PERÚ Sitios prioritarios y evaluación de oportunidades. MINAGRI y SERFOR, Perú.
- ▶ MINAM, (2016). La Contribución Nacional del Perú - iNDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCI%C3%93N-NACIONAL-DEL-PER%C3%91.pdf>
- ▶ MINAM, (s.f). Contribuciones Nacionalmente Determinadas. Recuperado de: <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/ndc/>

ANEXO 01

REFERENCIAS

- ▶ Nunes, F., Soares, B., Rajão, R., Merry, F. (2017). Enabling large-scale forest restoration in Minas Gerais state, Brazil. *Environmental Research Letters* 12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6658>
- ▶ RECOFTC. (2013). *Community forestry in Asia and the Pacific: pathway to inclusive development*. Bangkok.
- ▶ Reif, M. K., & Theel, H. J. (2016). Remote sensing for restoration ecology: Application for restoring degraded, damaged, transformed, or destroyed ecosystems. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 13(4), 614–630. doi:10.1002/ieam.1847
- ▶ *Restoration, A Practitioner's Guide*. International Union of Forest Research Organizations, Special Programme for Development of Capacities (IUFRO-SPDC). Vienna, Austria. 128 p.
- ▶ Rizvi, A.R., Baig, S., Barrow, E., Kumar, C. (2015). *Synergies between Climate Mitigation and Adaptation in Forest Landscape Restoration*. Gland, Switzerland: IUCN.
- ▶ Shuman, C. S., & Ambrose, R. F. (2003). A Comparison of Remote Sensing and Ground-Based Methods for Monitoring Wetland Restoration Success. *Restoration Ecology*, 11(3), 325–333. doi:10.1046/j.1526-100x.2003.00182.x
- ▶ Stanturf, J., Mansourian, S., Kleine, M., eds. 2017. *Implementing Forest Landscape*
- ▶ Tondapu, G.; Markert, K.; Lindquist, E. J.; Wiell, D.; Díaz, A. S. P.; Johnson, G.; ... Saah, D. (2018). A SERVIR FAO Open Source Partnership: Co-development of Open Source Web Technologies using Earth Observation for Land Cover Mapping. American Geophysical Union, Fall Meeting.

ANEXO 02

Producto 2 // Experiencias sobre
monitoreo de la restauración
nacional e internacional de
ecosistemas forestales



CONTEXTO

El 1 de marzo de 2019, en virtud de la Resolución 73/284, la Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó 2021-2030 como el Decenio de las Naciones Unidas para la Restauración de Ecosistemas, con el objetivo principal de prevenir, detener y revertir la degradación de los ecosistemas en todo el mundo. La resolución enfatiza en los numerosos beneficios derivados de los procesos de restauración, para el logro de los objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, por ejemplo, poner fin a la pobreza, conservar la biodiversidad, combatir el cambio climático y mejorar los medios de vida para todas las personas.

Dada la creciente inversión de recursos en distintos procesos de restauración, existe una necesidad urgente de desarrollar programas de monitoreo para evaluar la efectividad de la restauración (Durigan et al., 2016; Gatica-Saavedra et al., 2017; Watson et al., 2017), que sean robustos y transparentes, y que satisfagan las necesidades de gobiernos en incluir indicadores específicos, medibles, alcanzables, relevantes y basados en el tiempo. La selección de indicadores también debe tener la intención de apoyar el monitoreo de ecosistemas por parte de personas, comunidades y países a través de la generación de normativa, orientación metodológica, y la inclusión de herramientas de tecnología e innovación. De esta forma, también debe permitir la transferencia de conocimiento y tecnología, y el desarrollo de capacidades locales para monitorear su propio progreso de forma participativa.

Los programas de monitoreo a largo plazo han cobrado especial importancia ya que permiten evaluar el cumplimiento de los compromisos climáticos de los gobiernos, por ejemplo, en sus Contribuciones Nacionalmente Determinadas, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y las acciones en el marco del Desafío de Bonn (Benini and de Adeodato, 2017; Ray et al., 2017; Gatica- Saavedra et al., 2017). Además, brindan opciones para evaluar el éxito de las intervenciones, o corregir su trayectoria cuando así se requiera, mediante la generación de recomendaciones de manejo, como el enriquecimiento, el control de especies invasoras, etc.

Usualmente, el progreso en procesos de restauración se monitorea a través de inventarios de campo, donde se evalúan parámetros asociados a la estructura del bosque (como la apertura del dosel, el diámetro y altura de los árboles) y su biodiversidad. Estas métricas permiten a su vez tener estimaciones de biomasa y stocks de carbono, las cuales son variables críticas que representan uno de los resultados más importantes de la restauración por su potencial de mitigar los efectos del cambio climático (Locatelli et al., 2015; Griscom et al., 2017), y son un excelente proxy para la obtención de otros indicadores asociados con el desarrollo sucesional de los bosques tropicales (Chazdon, 2014; Lennox et al., 2018).

Sin embargo, el monitoreo de la restauración en proyectos a gran escala representa un gran desafío, principalmente porque la evaluación de campo utilizando varios indicadores consume mucho tiempo, suele ser costosa y requiere técnicos capacitados (Zahawi et al., 2015; Reif y Theel, 2017; Viani et al., 2017; Ockendon et al., 2018). Además, presenta desafíos en cuanto a la coherencia metodológica, su estandarización, repetibilidad, asequibilidad y continuidad (White et al., 2017; Reynolds et al., 2016; Gatica-Saavedra et al., 2017).

Ante esta realidad, el uso de técnicas de procesamiento de imágenes digitales y de teledetección, se consideran prometedores para reducir la necesidad de métodos de medición de campo (Reif y Theel, 2017; Viani et al., 2017). La teledetección ofrece una herramienta eficaz para monitorear estos procesos de restauración, ya que permite la adquisición de datos de manera constante, cubriendo uniformemente grandes áreas en el espacio y tiempo, lo que hace que su uso sea muy conveniente (Nagler et al., 2009).

El área cubierta por diferentes tipos de vegetación representa un indicador que puede ser obtenido a partir de técnicas de teledetección, y que sirve para evaluar la condición del paisaje restaurado y monitorear las tendencias de los ecosistemas en el tiempo. El análisis de cobertura ayuda además a entender dinámicas propias de los ecosistemas para fomentar procesos de restauración, como la estructura del bosque, la cantidad de luz que ingresa al suelo, la infiltración de agua, y el crecimiento de especies nativas en el sotobosque, entre otros. Además, se puede combinar con métricas sobre la salud de la vegetación, como índices de vegetación (EVI, NDVI, NDGI y RVI), índice de área foliar (LAI) y la cobertura de vegetación fraccionada (Fvc) (Huang et al., 2013; Bao et al., 2017).

La cobertura de la tierra incluye métodos de adquisición, procesamiento y análisis de imágenes satelitales de alta resolución, que pueden realizarse en la nube con plataformas gratuitas y de fácil manipulación. El análisis de cobertura a través de clasificaciones de imágenes satelitales, con métodos supervisados y no supervisados, junto a una gran diversidad de métodos para la detección de cambios en cobertura en series temporales, representan algunos de los productos más utilizados en el monitoreo de la restauración a gran escala, y que han expandido en gran forma la información disponible actualmente.

El alto volumen de datos con que se cuenta hoy en día, sobrepasa la capacidad de almacenamiento que los centros de datos tradicionales pueden manejar, ya que es notablemente complicado y costoso su mantenimiento y actualización. Además, existen importantes desafíos en la manipulación de grandes conjuntos de datos provenientes de diversos tipos de sensores, con diferentes bandas espectrales, a diferentes resoluciones espaciales, con una amplia temporalidad, y disponibles en varios formatos.

Aprovechando la flexibilidad y el alto nivel de transparencia, la computación en la nube ofrece un servicio idóneo donde los recursos se alojan en servidores con gran capacidad de almacenamiento y procesamiento, siendo accesibles bajo demanda y en muchos casos de forma gratuita. La incorporación de la computación en la nube para facilitar aplicaciones científicas a gran escala representa una solución real ante los desafíos computacionales y de almacenamiento. Su integración en el sensoramiento remoto, proporciona a los usuarios servicios en la nube que integran datos, procesamiento, producción, plataformas informáticas, almacenamiento y análisis espaciales integrados (Wang et al. 2019), a fin de entender y evaluar las dinámicas en los procesos de restauración de paisajes.

OBJETIVO

Identificar y caracterizar herramientas digitales para el monitoreo de la restauración forestal, que se enfoquen en el uso de técnicas de teledetección, sean accesibles para el usuario y provean indicadores específicos, medibles, alcanzables, relevantes y basados en el tiempo.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran las principales características de seis herramientas utilizadas para el monitoreo de procesos de restauración. Estas herramientas están basadas principalmente en el uso de información geoespacial mediante análisis de teledetección que se realiza en la nube, ofreciendo opciones de acceso, procesamiento y análisis de información espacial accesibles para los usuarios.

Las herramientas presentadas no deben ser entendidas como las únicas existentes, o las que mejor se adaptan a condiciones específicas de un país o región. Es importante que los usuarios analicen de forma detallada los beneficios de cada una, y tomen las decisiones según los objetivos que se planteen y las circunstancias nacionales, regionales o locales (por ejemplo, disponibilidad de datos, calidad de la información, capacidad institucional, normativa, entre otros). Estas herramientas permiten tener métricas con gran exactitud a grandes escalas y en paisajes con gran diversidad de interacciones biofísicas, sin embargo, la exactitud en las estimaciones de los resultados depende en gran medida de la calidad y disponibilidad de la información, y de los diferentes métodos que se utilizan para su procesamiento, donde un requisito crítico es la incorporación de datos provenientes de inventarios de campo como forma de validación, cuando los recursos de los usuarios así lo dispongan.

Principales indicadores

Estas herramientas permiten obtener indicadores relevantes que se pueden analizar a grandes escalas y altas resoluciones. Algunos de los indicadores que se usan de forma más común mediante técnicas de teledetección, en el monitoreo de los procesos de restauración son:

- ▶ **Área de cobertura forestal:** clasificaciones de cobertura vegetal creadas a partir del análisis de imágenes satelitales de mediana y alta resolución (p.ej. Landsat y Sentinel), utilizando sus bandas multiespectrales, con métodos de clasificación supervisada (con puntos de entrenamiento provenientes de imágenes satelitales de muy alta resolución -p.ej. Planet) y no supervisada, y aplicando métodos de corrección geométricos y atmosféricos.
- ▶ **Cambio de cobertura forestal en series temporales:** clasificaciones de cobertura forestal creados a partir del análisis de imágenes satelitales de mediana, alta y muy alta resolución, en diferentes puntos de tiempo, con el fin de detectar cambios (pérdidas o ganancias) en la cobertura vegetal.
- ▶ **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI):** estimación de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación calculado a partir de la relación entre la banda del infrarrojo cercano (NIR) y banda del rojo (Red), y que presenta una escala de medición entre 1 y -1, donde valores cercanos a uno (1) indican áreas de bosque, valores cercanos a cero (0) son superficies con arbustos o praderas y valores negativos a superficies sin ningún tipo de vegetación.
- ▶ **Biomasa por encima del suelo (AGB):** estimaciones de la biomasa aérea a partir de combinaciones de diferentes datos (p.ej. imágenes satelitales Landsat, MODIS, RADAR ALOS PALSAR, datos de NDVI, parcelas de monitoreo, ecuaciones alométricas).

Consideraciones en el uso de herramientas de teledetección

Las herramientas que se presentan en la Tabla 1 brindan una gran facilidad para el manejo y procesamiento de los datos en la nube, de forma gratuita y con programación computacional. Los métodos que estas herramientas incluyen, permiten que los usuarios no dependan de la capacidad de los servidores tradicionales para almacenar grandes cantidades de datos, ni de amplios conocimientos en programación para procesar la información y producir los resultados deseados.

Las herramientas que utilizan código abierto también brindan la posibilidad de transparentar los métodos y adecuar los procesos según las circunstancias específicas que cada usuario requiera. Estas técnicas se han expandido de forma excepcional en los últimos años, al igual

que el número de usuarios y las guías disponibles en diferentes formatos. Esta realidad también permite que los diferentes códigos en algoritmos, sigan en constante desarrollo y expansión, y promuevan una mayor diversidad de herramientas para analizar e interpretar datos de sensores remotos.

Otra ventaja es la integración que estas herramientas tienen entre sí, de forma que diferentes procesos computacionales pueden realizarse entre diferentes herramientas, aprovechando las facilidades que cada una brinda. Por ejemplo, la producción de mapas de cobertura forestal, los análisis de biomasa y carbono, y datos sobre la calidad de la vegetación, pueden obtenerse utilizando una plataforma en línea (p.ej. SEPAL), que se conecta con servidores que alojan una gran infraestructura de datos (p.ej. Google Earth Engine), para producir resultados que posteriormente se pueden manipular en un SIG (p.ej. gvSIG).

La disponibilidad actual de datos sobre imágenes satelitales de alta resolución, también confiere una gran ventaja para los usuarios. Las herramientas proveen el uso de servidores en línea y algoritmos pre-establecidos, para su procesamiento, análisis y confección de resultados, de forma rápida, gratuita y con resultados que tienen gran exactitud para los niveles de escala requeridos. A pesar de que los inventarios forestales ayudan a evaluar la condición de los ecosistemas de forma exacta, la estimación de indicadores como la biomasa aérea mediante datos adquiridos in situ, es un método laborioso, costoso, que demanda tiempo y que se realiza a escalas locales. En su lugar, la teledetección ofrece una alternativa para resolver esta problemática, y ha probado tener resultados confiables en los trópicos en las últimas décadas. Estas imágenes tienen la capacidad de obtener información a resoluciones muy altas y de forma constante. Por ejemplo, las imágenes Planet están disponibles de forma diaria y/o mensual³ a una resolución espacial de 3.7 metros por pixel, con mosaicos libres de nubes, y las imágenes Sentinel 2 están disponibles cada 2.3 días a una resolución espacial de 10 metros por pixel.

En el caso de la biomasa aérea y el carbono almacenado asociado, varios estudios han producido mapas a escalas continentales y nacionales (Saatchi et al., 2011; Cartus et al., 2014; Avitabile et al., 2016; Rodríguez-Veiga et al., 2016; Urbazaev et al., 2018; Rodríguez-Veiga et al., 2019). Sin embargo, en áreas tropicales con estructuras de vegetación complejas y altos valores de biomasa, las incertidumbres pueden ser altas cuando se usan técnicas de teledetección (Avitabile et al., 2016; Rodríguez-Veiga et al., 2016).

3. La herramienta SEPAL actualmente da acceso gratuito a imágenes Planet todos los días para Chile, Colombia, República Democrática del Congo, Costa Rica, Ghana, Indonesia, México y Mozambique, y de forma mensual para el resto de países. Se espera que en el corto plazo más países puedan incluirse para tener acceso a estas imágenes de forma diaria en el marco de Iniciativa Internacional Sobre el Clima y los Bosques del Gobierno de Noruega (NICFI).

De igual forma, el uso de datos provenientes de inventarios forestales puede contener altas incertidumbres. En el caso de bosques en restauración, la adquisición de datos de campo debe adecuarse a las condiciones de la vegetación, ya que individuos con portes pequeños en estas áreas (p.ej. >10cm DAP), generalmente no se incluyen en los inventarios forestales nacionales, subestimando los cálculos de la biomasa que estos árboles representan. Los tiempos entre cada inventario también son una fuente de error. Los inventarios no siempre contemplan las dinámicas naturales de los bosques, que suceden entre los años de cada inventario, por ejemplo, respecto a la biomasa perdida o ganada por las tasas de mortalidad, reclutamiento y crecimiento de los boques.

Un método comúnmente utilizado es la combinación de datos de parcelas de monitoreo con información de sensores remotos. Los datos LiDAR (Light Detection and Ranging) pueden ofrecer información sobre la estructura de la vegetación, de forma similar a las parcelas de campo, ya que el sensor es capaz de penetrar el dosel del bosque, y estimar la biomasa de forma precisa. Estos datos pueden posteriormente validarse y/o complementarse con datos de campo para corregir errores asociados. Sin embargo, debido a los altos costos de adquisición de datos LiDAR, la disponibilidad de información en países en desarrollo no siempre es posible (Næsset, 2002; Lefsky et al., 2005; Matasci et al., 2018).

Otro sensor es el Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) del satélite ALOS de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). Este sensor tiene una resolución de 25 metros, y al igual que LIDAR, puede penetrar en el dosel del bosque e interactuar con tallos y ramas donde se almacena la mayor parte de la biomasa (Joshi, 2017), y combinarse con datos de parcelas de monitoreo en el campo. Dentro de sus limitaciones, se ha demostrado que el radar puede saturarse con valores de biomasa entre 70 y 150 Mg ha⁻¹ (Mitchard et al., 2009; Mermozet al., 2014; Mermoz et al., 2015; Yu and Saatchi, 2016), y teniendo en cuenta que muchos bosques en etapas tardías de sucesión tienen valores más altos que estos, el radar podría subestimar el mapeo de la biomasa. Además, las nubes persistentes en áreas tropicales durante todo el año dificultan la obtención de imágenes ópticas claras (Asner, 2001). A pesar de ello, PALSAR ha demostrado brindar resultados precisos en formaciones vegetales con valores menores a 100 Mg ha⁻¹ (Bouvet, 2018), por lo cual podría adecuarse en áreas en restauración que se encuentren en estadíos sucesionales tempranos.

Tabla 1. Matriz con las principales características de herramientas para el monitoreo de procesos de restauración forestal con técnicas de sensoramiento remoto.

HERRAMIENTA	FUNCIONAMIENTO	TIPOS DE RESULTADOS OBTENIDOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	INDICADORES UTILIZADOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FUENTE DE DATOS ESPACIALES UTILIZADAS MÁS COMUNES	ENLACES RELACIONADOS
SEPAL	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Plataforma de código abierto para el acceso, procesamiento, y análisis de información espacial en línea, donde se puede acceder a un catálogo amplio de imágenes y bases de datos geoespaciales. ▶ Mediante clics a botones digitales y pestañas se puede acceder a diferentes herramientas y análisis pre programados en la plataforma de manera que los productos obtenidos corresponden a capas que pueden ser exportadas a la computadora del usuario para la creación de mapas ▶ En caso de requerir análisis fuera de los pre programados, se pueden crear códigos mediante programación computacional que complementen la información que se obtiene por defecto en la plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mosaicos de imágenes satelitales ▶ Clasificaciones de cobertura forestal en series de tiempo ▶ Clasificaciones de zonas de pérdida y ganancia de cobertura forestal ▶ Clasificaciones de puntos de calor de deforestación e incendios forestales ▶ Clasificaciones de bosques fragmentados y reportes de sus características ▶ Mapas de biomasa arriba del suelo para bosques secos, usando L-band Synthetic Aperture Radar (PALSAR) ▶ Identificación del estado de salud de la vegetación ▶ Análisis de la precisión en mapas 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Área de uso forestal ▶ Área con aumento de cobertura forestal (restaurada) ▶ Área propensa a degradación ▶ Áreas deforestadas ▶ Alertas de incendios forestales ▶ Área de bosque fragmentado, tamaño de los fragmentos, distancia entre los fragmentos ▶ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ▶ Biomasa por encima del suelo, cambios en biomasa forestal y degradación forestal en bosques secos 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Plataforma de acceso gratuito y de código abierto ▶ No se necesitan grandes capacidades de hardware ni velocidades de internet para su funcionamiento ▶ Procesa grandes conjuntos de datos en poco tiempo ▶ Acceso a amplia diversidad de métodos y fuentes de datos para el procesamiento de imágenes satelitales ▶ Provee una interfaz gratis para usar códigos creados por los usuarios ▶ Permite el uso de imágenes de muy alta resolución de Planet de forma mensual, para la validación y calibración de productos ▶ Interfaz amigable con el usuario y disponible en español ▶ Fuentes de datos con constante mantenimiento y actualización periódica y están disponibles para Perú ▶ Permite incluir información subida por el usuario ▶ Existe un foro participativo con usuarios en todo el mundo, gran diversidad de manuales de uso, apoyo técnico y logístico de Equipo de Monitoreo Forestal (NFM) de FAO-HQ 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ No es una plataforma creada para visualizar datos, sino para crearlos y manipularlos ▶ De momento las herramientas están más enfocadas en usuarios ligados a actividades forestales ▶ Puede requerir conocimiento en programación computacional en caso de que se desee realizar análisis más complejos ▶ Algoritmos preestablecidos pueden no ajustarse a las condiciones de los sitios analizados y se necesitarían manipular 	Landsat, Sentinel 1 y 2, Planet, PALSAR, Airbus y Digital Globe (a través de Google Earth)	https://docs.sepal.io/en/latest/index.html

HERRAMIENTA	FUNCIONAMIENTO	TIPOS DE RESULTADOS OBTENIDOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	INDICADORES UTILIZADOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FUENTE DE DATOS ESPACIALES UTILIZADAS MÁS COMUNES	ENLACES RELACIONADOS
Google Earth Engine (GEE)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ En una plataforma en línea que hace todos los procesos mediante código y programación computacional ▶ Accede a un gran catálogo de información como imágenes satelitales y bases de datos geoespaciales mundiales ▶ Mediante código computacional se corren en la nube algoritmos para procesar información de sensores remotos y realizar análisis geoespaciales, que permiten la creación de productos como capas digitales, que pueden ser exportadas a la computadora del usuario para su análisis e interpretación 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Detección de cambios positivos y negativos en la cobertura forestal mediante algoritmo LandTrendr ▶ Mapas de cobertura forestal utilizando clasificaciones supervisadas y no supervisadas ▶ Análisis de degradación utilizando algoritmo CODED ▶ Análisis de resistencia a incendios ▶ Análisis de fragmentación del paisaje (áreas de bosque fragmentado y sus características: tamaño del fragmento, largo del borde, entre otros) ▶ Mapas de biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Área de uso forestal ▶ Área con aumento de cobertura forestal (restaurada) ▶ Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ▶ Área degradada ▶ Área propensa a incendios ▶ Área de bosque fragmentado, tamaño de los fragmentos, distancia entre los fragmentos ▶ Toneladas de biomasa acumulada 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Acceso a amplia diversidad de métodos de sensoramiento remoto y fuentes de datos ▶ Procesamiento de información en la nube ▶ Alta capacidad de personalización en los análisis ▶ Permite incluir información subida por el usuario 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Se necesita conocimiento en programación computacional java script para realizar los análisis 	Landsat, Sentinel 1 y 2, MODIS, raster de geodatabases mundiales de cobertura del suelo, precipitación, temperatura, erosión, entre otras	https://developers.google.com/earth-engine/datasets/tags/landcover
Global Forest Watch	<ul style="list-style-type: none"> ▶ En una plataforma en línea que permite visualizar y analizar datos, utilizando mapas y tableros visuales (dashboards) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mapas de zonas de pérdida y ganancia de cobertura forestal ▶ Mapas de uso y cobertura forestal ▶ Mapas de puntos de calor de deforestación ▶ Mapas de zonas propensas a incendios ▶ Mapas de calor de concentración de biomasa y carbono capturado por la vegetación ▶ Mapas de integridad de biodiversidad, mapas de calor de biodiversidad y mapas de áreas claves para la biodiversidad ▶ Mapas de emisiones provenientes de la pérdida de bosque 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Área con aumento de cobertura forestal (restaurada) ▶ Área de uso forestal ▶ Área deforestada ▶ Área propensa a incendios forestales ▶ Toneladas de biomasa y carbono acumulado ▶ Índice de integridad de la biodiversidad ▶ Área de alta biodiversidad 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Visualmente amigable para el usuario ▶ Más de 200 conjuntos de datos espaciales ▶ Combina herramientas en línea con aplicaciones móviles para la toma de datos ▶ Contiene acceso a resultados provenientes de imágenes de muy alta resolución ▶ Amplia variedad de métricas que se visualizan de forma fácil y rápida ▶ Usuario puede realizar análisis de pérdidas y ganancia de cobertura, basados en áreas de interés 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Requiere la adquisición de licencias de ARCGIS en caso de que se desee realizar análisis más complejos a los implementados por defecto en la plataforma ▶ No permite modificar parámetros en la detección de cambios de cobertura ▶ No incluye información sobre los parámetros que la herramienta usa para obtener algunos indicadores 	Landsat, GLAD, Terra-i	https://data.globalforestwatch.org

HERRAMIENTA	FUNCIONAMIENTO	TIPOS DE RESULTADOS OBTENIDOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	INDICADORES UTILIZADOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FUENTE DE DATOS ESPACIALES UTILIZADAS MÁS COMUNES	ENLACES RELACIONADOS
Modelo de Almacenamiento y Secuestro de Carbono (Invest)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mediante la descarga e instalación de un software desarrollado por la Universidad de Stanford, se corre el modelo que incorpora información geoespacial, que debe ser alimentada por datos generados previamente por el usuario ▶ El modelo está enfocado en entender los patrones espaciales de carbono y su valor económico 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Mapas de carbono almacenado por los ecosistemas ▶ Mapas de carbono secuestrado por los ecosistemas ▶ Tablas de valor económico del carbono secuestrado ▶ Áreas prioritarias para escenarios REDD+ y Pagos por Servicios Ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Carbono almacenado en un punto del tiempo ▶ Carbono secuestrado en un período de tiempo ▶ Valor presente neto del carbono secuestrado 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Para el cálculo del volumen total de carbono, el modelo se basa en los principios del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), y toma en cuenta cuatro depósitos de carbono: biomasa por encima del suelo, biomasa subterránea, madera muerta y materia orgánica del suelo ▶ Adicionalmente, el modelo permite incorporar datos de carbono en productos de madera ▶ El modelo permite realizar análisis de incertidumbres, con información adicional que el usuario debe proveer ▶ El modelo permite incorporar la valoración económica del carbono secuestrado, cuando se tienen valor su precio de referencia y una tasa de descuento ▶ El modelo permite incluir mapas de cobertura proyectada a futuro, para el cálculo del carbono secuestrado 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ El modelo no toma en cuenta cambios en el carbono por crecimiento de la vegetación, solamente en áreas con cambio de cobertura y cambio de uso entre diferentes categorías ▶ El usuario debe de crear la información geoespacial antes de correr el modelo, proveniente de datos de campo a escalas locales ▶ El modelo no toma en cuenta tasas de cambio en los sumideros de carbono ▶ La valoración económica del modelo, asume que el carbono se secuestra de forma lineal en el tiempo ▶ Los resultados del modelo tienen la misma precisión que las clases de uso y datos de carbono provistos por el usuario ▶ Los procesamiento no se realizan en la nube, y el usuario debe de contar con un software GIS 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ MODIS, información previamente generada por el usuario 	https://storage.googleapis.com/releases.naturalcapitalproject.org/invest-userguide/latest/carbonstorage.html

HERRAMIENTA	FUNCIONAMIENTO	TIPOS DE RESULTADOS OBTENIDOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	INDICADORES UTILIZADOS MÁS COMUNES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS	FUENTE DE DATOS ESPACIALES UTILIZADAS MÁS COMUNES	ENLACES RELACIONADOS
Marco de vigilancia de la degradación de la tierra (LDSF)	<ul style="list-style-type: none"> ► El LDSF está diseñado para proporcionar una línea de base biofísica a nivel de paisaje y un marco de monitoreo para evaluar los procesos de degradación de la tierra y la efectividad de las medidas de rehabilitación (recuperación) a lo largo del tiempo ► Se basa en inventarios de campo, utilizando un protocolo de muestreo en sitios de 100 km² (parcelas de 10 x 10 km) donde se levanta información sobre la vegetación y el suelo, que luego se analiza y se asocia a datos de teledetección mediante software GIS y el uso de herramientas de análisis estadísticos y programación de machine learning en plataformas de uso abierto 	<ul style="list-style-type: none"> ► Clasificaciones de uso de la tierra ► Cuantificación de carbono orgánico y fertilidad del suelo ► Compactación y erosión del suelo ► Análisis de riesgo a inundaciones ► Análisis de diversidad de especies, fenología de la vegetación y rasgos funcionales de la vegetación presente ► Análisis de la capacidad de infiltración y factores de degradación del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ► Área de uso forestal ► Toneladas de carbono orgánico en el suelo y área de mayor fertilidad en la zona de estudio ► Área de suelo compactado y erosionada en la zona de estudio ► Área propensa a inundaciones ► Cantidad de especies en el área de estudio y su fenología ► Áreas clasificadas según potencial de infiltración, Área de suelo degradado 	<ul style="list-style-type: none"> ► Brinda una evaluación integral a nivel de paisaje de la salud de los ecosistemas ► Aplicabilidad para el monitoreo biofísico de procesos de restauración ► Proporciona protocolos de campo para medir indicadores de la salud de un ecosistema, incluyendo la cobertura vegetal, la estructura y la composición florística, el uso histórico de la tierra, los signos visibles de degradación del suelo y las características físicas del suelo ► La información de campo se colecta mediante una aplicación móvil gratuita para facilitar su procesamiento 	<ul style="list-style-type: none"> ► El modelo parte de que se cuenta con una extensiva fase de recolección de datos de campo ► Es necesario tener conocimientos en estadística y programación computacional para el procesamiento de la información y análisis de los resultados ► La herramienta no se diseñó con un enfoque en el uso de datos geoespaciales 	Sentinel 1 y 2, Landsat, MODIS, datos de parcela medidos en campo (Uso y cobertura de la tierra, pendiente, muestras de suelo, mediciones dasométricas, capacidad de infiltración del suelo)	http://landscapeportal.org/blog/2015/03/25/the-land-degradation-surveillance-framework-ldsf/
Software SIG de código abierto (QGIS, SAGA, GRASS, gvSIG)	<ul style="list-style-type: none"> ► Son paquetes de software computacional donde el usuario descarga e instala un archivo ejecutable ► Son plataformas gratuitas de código abierto que brinda múltiples opciones de herramientas para procesamiento y análisis de datos geoespaciales 	<ul style="list-style-type: none"> ► Clasificaciones de uso y cobertura de la tierra ► Detección de cambios positivos y negativos en la cobertura forestal ► Análisis de áreas prioritarias de restauración ► Mapas de biomasa y carbono almacenado y secuestrado por los ecosistemas en restauración 	<ul style="list-style-type: none"> ► Área de uso forestal ► Área con aumento de cobertura forestal (restaurada) ► Área prioritaria de restauración ► Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) ► Biomasa arriba del suelo, cambios en biomasa forestal y degradación forestal 	<ul style="list-style-type: none"> ► Software gratuito ► Amplia cantidad de manuales en línea ► Sistema tradicional y a veces amigable para usuarios ► Integración con computación en la nube (programación, información en línea) ► Múltiples herramientas de álgebra de datos para que el usuario manipule la información y produzca mapas según las necesidades que se requieran 	<ul style="list-style-type: none"> ► Requiere de entrenamiento previo ► Procesamiento y análisis de la información dependen de la capacidad del hardware disponible ► Interfaz compleja de trabajar para usuarios sin experiencia previa ► Análisis se basan en datos previstos por el usuario 	Landsat, Sentinel, MODIS, datos propios, etc	https://www.qgis.org/en/docs/index.html http://www.saga-gis.org https://grass.osgeo.org http://www.gvsig.com/es

ANEXO 02

REFERENCIAS

- ▶ Avitabile, V., Herold, M., Heuvelink, GB., Lewis, SL., Phillips, OL., Asner, GP., Armston, J., Ashton, PS., Banin, L., Bayol, N., Berry, NJ., 2016. An integrated pan-tropical biomass map using multiple reference datasets. *Global Change Biol*; 22(4):1406–20.
- ▶ Asner, G.P., 2001. Cloud cover in landsat observations of the brazilian amazon. *Int. J. Remote Sens.* 22 (18), 3855–3862.
- ▶ Bao, A., Huang, Y., Ma, Y., Guo, H., Wang, Y., 2017. Assessing the effect of EWDP on vegetation restoration by remote sensing in the lower reaches of Tarim River. *Ecological Indicators.* 74, 261-275.
- ▶ Benini, R., de Adeodato, S.M., 2017. Economia da restauração florestal.
- ▶ Bouvet, A., Mermoz, S., Le Thoan, T., Villard, L., Mathieu, R., Naidoo, L., Asner, G., 20128. An above-ground biomass map of African savannahs and woodlands at 25 m resolution derived from ALOS PALSAR. *Remote Sensing of Environment.* 206: 156-173
- ▶ Cartus, O., Kellndorfer, J., Walker, W., Franco, C., Bishop, J., Santos, L., Fuentes, J., 2014. A national, detailed map of forest aboveground carbon stocks in Mexico. *Remote Sens.* 6(6):5559–88.
- ▶ Campbell, J.B., 1996. Introduction to Remote Sensing. The Guilford Press, New York, pp.622.
- ▶ Chazdon, R.L., 2014. Second growth: the promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation. *J. Chem. Inf. Model.* <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- ▶ Durigan, G., Suganuma, M.S., Galv, C., 2016. Valores esperados para atributos de florestas ripárias em restauração em diferentes idades Expected values for attributes of riparian forests undergoing restoration at different ages. *Sci. For.* 463–474.
- ▶ Gatica-Saavedra, P., Echeverría, C., Nelson, C.R., 2017. Ecological indicators for assessing ecological success of forest restoration: a world review. *Restor. Ecol.* 25, 850–857. <http://dx.doi.org/10.1111/rec.12586>.
- ▶ Griscom, B.W., Adams, J., Ellis, P.W., Houghton, R.A., Lomax, G., Miteva, D.A., Schlesinger, W.H., Shoch, D., Siikamäki, J.V., Smith, P., Woodbury, P., Zganjar, C., Blackman, A., Campari, J., Conant, R.T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M.R., Herrero, M., Kiesecker, J., Landis, E., Laestadius, L., Leavitt, S.M., Minnemeyer, S., Polasky, S., Potapov, P., Putz, F.E.,

ANEXO 02

REFERENCIAS

- Sanderman, J., Silvius, M., Wollenberg, E., Fargione, J., 2017. Natural climate solutions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* <https://doi.org/10.1073/pnas.1710465114>.
- ▶ Huang, Y., Li, Y.P., Chen, X., Bao, A.M., Ma, Y.G., 2013. A multistage simulation-based optimization model for water resources management in Tarim River Basin, China. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* 27, 147–158.
 - ▶ Joshi, N., Mitchard, E.T., Brolly, M., Schumacher, J., Fernández-Landa, A., Johannsen, V.K., Marchamalo, M., Fensholt, R., 2017. Understanding ‘saturation’ of radar signals over forests. *Nat Sci Rep.* 7(1):3505. Google Scholar
 - ▶ Lefsky, M.A., Harding, D.J., Keller, M., Cohen, W.B., Carabaja, C.C., Espirito-Santo, F.D., Hunter, M.O., de Oliveira, R., 2005. Estimates of forest canopy height and above-ground biomass using ICESat. *Geophys Res Lett.* 32:L22S02.
 - ▶ Lennox, G.D., Gardner, T.A., Thomson, J.R., Ferreira, J., Berenguer, E., Lees, A.C., Mac Nally, R., Aragão, L.E.O.C., Ferraz, S.F.B., Louzada, J., Moura, N.G., Oliveira, V.H.F., Pardini, R., Solar, R.R.C., Vaz-de Mello, F.Z., Vieira, I.C.G., Barlow, J., 2018. Second rate or a second chance? Assessing biomass and biodiversity recovery in re-generating Amazonian forests *Glob. Chang. Biol.* <https://doi.org/10.1111/gcb.14443>
 - ▶ Locatelli, B., Catterall, C.P., Imbach, P., Kumar, C., Lasco, R., Marín-Spiotta, E., Mercer, B., Powers, J.S., Schwartz, N., Uriarte, M., 2015. Tropical reforestation and climate change: beyond carbon. *Restor. Ecol.* <https://doi.org/10.1111/rec.12209>.
 - ▶ Matasci, G., Hermosilla, T., Wulder, M.A., White, J.C., Coops, N.C., Hobart, G.W., Zald, H.S.J., 2018. Large-area mapping of Canadian boreal forest cover, height, biomass and other structural attributes using Landsat composites and lidar plots. *Remote Sens Environ.* 209:90–106.
 - ▶ Mitchard, E.T.A., Saatchi, S.S., Woodhouse, I.H., Nangendo, G., Ribeiro, N.S., Williams, M., Ryan, C.M., Lewis, S.L., Feldpausch, T.R., Meir, P., 2009. Using satellite radar backscatter to predict above-ground woody biomass: a consistent relationship across four different African landscapes. *Geophys. Res. Lett.* 36, L23401. <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL040692>.
 - ▶ Mermoz, S., Le Toan, T., Villard, L., Réjou-Méchain, M., Seifert-Granzin, J., 2014. Biomass assessment in the Cameroon savanna using ALOS PALSAR data. *Remote Sens. Environ.* 155, 109–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.029>

ANEXO 02

REFERENCIAS

- ▶ Mermoz, S., Réjou-Méchain, M., Villard, L., Le Toan, T., Rossi, V., Gourlet-Fleury, S., 2015. Decrease of L-band SAR backscatter with biomass of dense forests. *Remote Sens Environ.* 159:307–17.
- ▶ Næsset, E., 2002. Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data. *Remote Sens Environ.* 80(1):88–99.
- ▶ Nagler, P.L., Glenn, E.P., Hinojosa-Huerta, O., 2009. Synthesis of ground and remote sensing data for monitoring ecosystem functions in the Colorado River Delta, Mexico. *Remote Sens. Environ.* 113, 1473–1485.
- ▶ Ockendon, N., Thomas, D.H.L., Cortina, J., Adams, W.M., Aykroyd, T., Barov, B., Boitani, L., Bonn, A., Branquinho, C., Brombacher, M., Burrellm, C., Carvern, S., Cricko, H.Q.P., Duguay, B., Everetteq, S., Fokkensr, B., Fullers, R.J., Gibbonst, D.W., Gokhelashviliu, R., Griffinv, C., Halleyw, J.D., Hothamx, P., Hughesy, F.M.R., Karamanlidsz, A.A., McOwenaa, C.J., Milesaa, L., Mitchellab, R., Randsac, M.R.W., Robertsad, J., Sandomae, C.J., Spenceraf, J.W., Broekeag, E., Tewb, E.R., Thomasah, C.D., Anastasiya Timoshynaai, A., Unsworthaj, R.K.F., Warringtonak, S., Sutherlandb, W.J., 2018. One hundred priority questions for landscape restoration in Europe. *Biol. Conserv.* 221, 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.03.002>.
- ▶ Reif, M.K., Theel, H.J., 2017. Remote sensing for restoration ecology: application for restoring degraded, damaged, transformed, or destroyed ecosystems *Integr. Environ. Assess. Manag.* 13, 614–630. <https://doi.org/10.1002/ieam.1847>.
- ▶ Rodríguez-Veiga, P., Saatchi, S., Tansey, K., Balzter, H., 2016. Magnitude, spatial distribution and uncertainty of forest biomass stocks in Mexico. *Remote Sens Environ.* 183: 265–81.
- ▶ Rodríguez-Veiga, P., Quegan, S., Carreiras, J., Persson, HJ., Fransson, JE., Hoschilo, A., Ziółkowski, D., Stereńczak, K., Lohberger, S., Stängel, M., Berninger, A., 2019. Forest biomass retrieval approaches from earth observation in different biomes. *Int J Appl Earth Observ Geoinform.* 77: 53–68.
- ▶ Viani, R.A., Holl, K.D., Padovezi, A., Strassburg, B.B., Farah, F.T., Garcia, L.C., Chaves, R.B., Rodrigues, R.R., Brancalion, P.H., 2017. Protocol for monitoring tropical forest restoration: perspectives from the Atlantic forest restoration pact in Brazil. *Trop. Conserv. Sci.* 10. <https://doi.org/10.1177/1940082917697265>.
- ▶ Wang, L., Yan, J., Ma, Y., 2019. *Cloud Computing in Remote Sensing*. FL, USA. 60p.

ANEXO 02

REFERENCIAS

- ▶ Watson, D.M., Doerr, V.A.J., Banks, S.C., Driscoll, D.A., van der Ree, R., Doerr, E.D., Sunnucks, P., 2017. Monitoring ecological consequences of efforts to restore landscape-scale connectivity. *Biol. Conserv.* 206, 201–209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.032>.
- ▶ White, M.A., Cornett, M.W., Wolter, P.T., 2017. Two scales are better than one: monitoring multiple-use northern temperate forests. *For. Ecol. Manag.* 384, 44–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.032>.
- ▶ Ray, D., Petr, M., Mullett, M., Bathgate, S., Marchi, M., Beauchamp, K., 2017. A simulation-based approach to assess forest policy options under biotic and abiotic climate change impacts: a case study on Scotland's National Forest Estate. *For. Policy Econ.* 0–1. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2017.10.010>.
- ▶ Reynolds, J.H., Knutson, M.G., Newman, K.B., Silverman, E.D., Thompson, W.L., 2016. A road map for designing and implementing a biological monitoring program. *Environ. Monit. Assess.* 188. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5397-x>.
- ▶ Saatchi SS, NL., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, ETA., Salas, W., Zutta, BR., Buermann, W., Lewis, SL., Hagen, S., Petrova, S., White, L., Silman, M., Morel, A., 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proc Natl Acad Sci.*;108: 9899–904.
- ▶ Urbazaev, M., Thiel, C., Cremer, F., Dubayah, R., Migliavacca, M., Reichstein, M., Schmulius, C., 2018. Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. *Carbon Balance Manage.*;13(1): 5.
- ▶ Yu, Y., Saatchi, S., 2016. Sensitivity of L-band SAR backscatter to aboveground biomass of global forests. *Remote Sens.* 8, 522. <http://dx.doi.org/10.3390/rs8060522>.
- ▶ Zahawi, R.A., Dandois, J.P., Holl, K.D., Nadwodny, D., Reid, J.L., Ellis, E.C., 2015. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. *Biol. Conserv.* 186, 287–295. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.03.031>.



Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

Servicio Ntorestal
y de Fauna Silvestre
Av. Javier Prado Oeste 2442.
Urb. Orrantia, Magdalena del Mar
Lima
(+511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri

