



**Pontificia Universidad
Católica del Ecuador**
Seréis mis testigos

MANABÍ

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE REGIONAL MANABÍ PORTOVIEJO
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA**

TRABAJO DE TITULACIÓN:

**EVALUACIÓN DE CAMBIOS DE USOS Y COBERTURA DE LA TIERRA CON
LA BANDA C DE RADARES Y SU IMPACTO EN LA INFILTRACIÓN POTENCIAL
EN LA CUENCA RÍO TOACHI**

**PREVIO AL TÍTULO DE:
INGENIERO HIDRÁULICO**

AUTOR:

JAKSELT JAVIER LÓPEZ GILER

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

MGTR. ANDY MIGUEL GILER ORMAZA

ENERO 2023

PORTOVIEJO – MANABI – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, Mgs

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

CERTIFICA:

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo la Normativa del Trabajo de Integración Curricular; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación

.....

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, Mgs

ACTA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador aprueba el presente trabajo de integración curricular en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí

(f) _____

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza, M Sc.

(f) _____

Ing. Juan Fernando Quiroz Mg.

(f) _____

Ing. José Ramón Alarcón Loor Mg.

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie

.....

Jakselt Javier López Giler

C.I. 1313680827

DECLARACIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo

.....

Jakselt Javier López Giler

C.I. 1313680827

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo. A mis padres por apoyarme con el estudio, hermanos, amigos y seres queridos por motivarme a seguir progresando para poder culminar esta etapa de estudio e investigación. De igual forma agradezco a mi tutor de esta investigación, ya que su guía fue primordial a la hora de perfeccionar el trabajo de integración curricular. Espero contar con siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Jakselt Javier López Giler

Resumen

Esta investigación cuantitativa evaluó los cambios de usos y cobertura de la tierra con la banda C de radares y su impacto en la infiltración potencial en la cuenca del Toachi. Por tanto, este estudio correlacional-exploratorio, desarrollado entre julio y septiembre de 2022, evaluó y analizó la información obtenida en la cuenca para el periodo 2002-2016, utilizando dos mapas. Se usaron datos de *Sentinel-1* obtenidos de la página oficial de *Alaska Satellite Facility* y datos del satélite *European Remote Sensing (ERS)*. Con esta información, se realizó un preprocesamiento en la aplicación *Sentinel Application Platform (SNAP)* para realizar la clasificación *random forest* y obtener los mapas de cobertura de la cuenca. Los resultados indican que la cuenca Toachi presenta buena cobertura arbórea (31%) en 2016, pese a encontrarse disminuida en relación al año 2002 (39%). Por otra parte, los pastizales presentan un incremento del 8% en 2002 al 9,5% en 2016. La evaluación de precisión arroja 77,679% en *overall accuracy* y un *kappa hat* de 0,715 *Sentinel-1*. El satélite *ERS* revela 83,289% en *overall accuracy* y un *kappa hat* de 0,759, lo que indica que esta cuenca, al verse reducida en su cobertura arbórea, presenta cambios negativos incrementando su escorrentía y reduciendo la infiltración dentro de la misma. Se concluye que los radares de banda C son aplicables para el mapeo de usos y cobertura de la tierra en la zona de estudio porque los resultados obtenidos denotan aplicabilidad alta en su uso.

Palabras clave: Toachi, cuenca, escorrentía, infiltración

Abstract

This quantitative research study assessed land use and land cover changes and their impact on potential infiltration into the *Toachi* River Basin by using C-band radars. Thus, this exploratory correlational research study, which was conducted from July through September 2022, evaluated and analyzed data on this basin for the period 2002-2016 by using two maps. Sentinel-1 data provided by the Alaska Satellite Facility official website were used, as well as data from the European Remote Sensing satellite (ERS). Further pre-processing was conducted using Sentinel Application Platform (SNAP) from collected data, in order to carry out random forest classification and design the coverage maps for this basin. The findings show that the *Toachi* River Basin has appropriate tree cover threshold (31%) in 2016, despite a decrease compared to 2002 (39%). On the other hand, pastures present an increase from 8% in 2002 to 9.5% in 2016. The precision evaluation findings reveal 77.679% overall accuracy and a kappa hat value of 0.715 from Sentinel-1. The ERS satellite results reveal 83.289% overall accuracy and a kappa hat value of 0.759; this means that this basin, having reduced its tree cover threshold, exhibits negative changes, increasing runoff and reducing infiltration into it. In conclusion, C-band radars are well-suited for mapping land use land cover in the area under study because the findings are widely applicable.

Keywords: *Toachi*, basin, runoff, infiltration

Tabla de contenido

Introducción	1
Metodología de la investigación	4
Área de estudio	4
Localidad.....	4
Información climatológica	5
Materiales.....	5
Métodos.....	5
Banda C y su función.....	6
Recolección de datos.....	7
Análisis de cambios de cobertura y uso del suelo.....	7
Evaluación de precisión	9
Influencia en la hidrología de los cambios uso de suelo y cobertura.....	11
Diagrama de flujo de actividades.....	12
Resultados	14
Analizar la efectividad de los radares de Banda C para mapeo de usos y cobertura de la tierra (LULC)	14
Evaluación de cambios en mapas LULC producidos con la banda C	15
Evaluación del impacto potencial de los cambios sobre la Infiltración de la cuenca Rio Toachi	16
Discusión.....	18

Conclusiones 18

Bibliografía 19

Anexos 22

Índice de figuras

<i>Figura 1. Datos Alaska Satellite Facility</i>	22
<i>Figura 2. Datos European Space Agency</i>	23
<i>Figura 3. Proceso subconjunto SNAP</i>	24
<i>Figura 4. Proceso de calibración SNAP</i>	24
<i>Figura 5. Proceso Multilooking SNAP</i>	25
<i>Figura 6. Proceso corrección del terreno con DEM externo SNAP</i>	25
<i>Figura 7. Proceso RGB en db división de capas</i>	26
<i>Figura 8. Creación de polígonos de entrenamiento para realizar la clasificación</i>	26
<i>Figura 9. Creación de polígonos de entrenamiento para realizar la clasificación</i>	27
<i>Figura 10. Polígonos de entrenamiento creados</i>	27
<i>Figura 11. Polígonos de entrenamiento creados</i>	28
<i>Figura 12. Ejecución de Random Forest con 150 arboles para la clasificación</i>	28
<i>Figura 13. Ejecución de Random Forest con 150 árboles para la clasificación</i>	29
<i>Figura 14. Cuenca del rio Toachi</i>	30
<i>Figura 15. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2016 con Sentinel-1</i>	31
<i>Figura 16. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2002 con ERS-1</i>	32
<i>Figura 17. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2016 con Sentinel-1</i>	33
<i>Figura 18. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2002 con ERS-1</i>	34
<i>Figura 19. Resultado cobertura cuenca Toachi Sentinel-1</i>	35
<i>Figura 20. Resultado cobertura cuenca Toachi ERS-1</i>	35
<i>Figura 21. Cobertura Toachi 2002 ERS-1</i>	36
<i>Figura 22. Cobertura Toachi 2016 Sentinel-1</i>	36

Figura 23. Creación de clasificación de reporte.....	37
Figura 24. Creación de training input	37
Figura 25. Agregar banda para crear los puntos ROI	38
Figura 26. Crear puntos ROI.....	38
Figura 27. Proceso evaluación de precisión.....	39
Figura 28. Resultado evaluación de precisión Sentinel-1 2016.....	40
Figura 29. Resultado evaluación de precisión ERS 2002	41
Figura 30. Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Toachi durante 2002 al 2016.....	42

Introducción

Los bosques tropicales son conocidos como importantes reservorios de carbono, estos juegan un rol muy importante para la reducción de impactos negativos del cambio atmosférico, tal y como lo indica el proyecto de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal (Anaya y otros, 2020).

Las iniciales razones en la pérdida de cobertura arbórea son las actividades de ganadería y la ampliación agraria migratoria a una diminuta utilización, estas se favorecen por la facilidad de fundaciones de traslado (Rojas Briceño y otros, 2019). Por tal motivo es de suma importancia realizar estudios que involucren al tema, tales como la variación de la cobertura y uso de suelo en el área de las cuencas.

Según Pinos et al. (2017) Las inundaciones son uno de los desastres naturales más comunes en todo el mundo y causan importantes pérdidas económicas y sociales a las localidades perjudicadas. En las últimas décadas, las recomendaciones basadas en evaluaciones de riesgo se han adoptado e incorporado cada vez más en la gestión del riesgo de inundaciones.

De acuerdo con Jalmacin et al. (2017) los cambios son los resultados o efectos de una acción específica, ya que a la hora de determinar la causa se puede deducir un modelo que los relacione. Sin embargo, existen patrones los cuales tienen a originar el cambio de cobertura y uso de suelo, los cuales se ven reflejados por una serie de conductas diversas.

Los datos de radar pueden proporcionar una solución a los problemas causados por las nubes, ya que la banda L en particular, pero también la banda C, se ven menos afectadas por las condiciones climáticas que los datos ópticos, ya que estas trabajan por medio de ondas de esta manera es más factible trabajar con dichos radares, ya que este permite una mayor obtención de

datos. Los datos de SAR (radar de apertura sintética) pueden ser la única fuente de información disponible sobre los recursos forestales en un momento determinado. Por lo tanto, es importante investigar su potencial para el monitoreo forestal en comparación con los datos ópticos. (Siro y otros, 2018)

Por medio de Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (2016) informa que la cuenca del río Toachi, se declaró una zona de riesgo en el Alluriquín, por motivos del desbordamiento del río Damas, ya que este está en confluencia con el río Toachi en la parte posterior del mismo. Por otra parte, el proyecto Toachi-Pilaton aprovecharía el caudal que abarca la misma cuenca vertida para la presa Toachi (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2018)

En todo el mundo el tema de cambio de cobertura y uso de suelo implica fines económicos, políticos o de impacto ambiental. Acorde a lo que menciona Camacho et al. (2017) es una realidad que la economía practicada por diversas comunidades guarda una pequeña y valiosa relación en el uso del suelo y la degradación ambiental.

Ecuador es un país con gran variedad en recursos naturales, en cambio es un país escaso en investigaciones relativas al tema de dicho recurso (Aguilar y otros, 2018). Es de suma importancia realizar investigaciones referentes al tema, tales como son el cambio de la cobertura y uso de suelo en diversas cuencas del país.

Por parte de Loayza Castro (2019) El cambio de uso de suelo por nuevos asentamientos poblacionales, es uno de los inconvenientes sociales y ambientales que se logran observar actualmente, esto se debe al crecimiento demográfico global y local. Por lo tanto, es importante evaluar y modelar estos cambios en la cobertura y el uso de la tierra.

Vélez & Álvarez Mozos (2020) Dice que, en el Ecuador las áreas de reserva natural no constan con regímenes de manejo específico, sino que forman parte de la finalidad de manejo de las áreas protegidas. Sin embargo, estas zonas naturales los recursos financieros son determinados, por lo que no es posible un control fijo de estas áreas, y se espera un deterioro de la calidad ambiental en los espacios más cercanos a la reserva.

De acuerdo con López et al. (2007) existen efectos negativos a la hora de realizar un cambio en la cobertura y uso de suelo. Uno de estos es el engrandecimiento o implementación de diversos cultivos de regío junto a esta la extensión de áreas urbanas, ya que estos son los cambios diversos que alteran el ciclo hidrológico el cual ocasiona un aumento en la escorrentía.

Según los resultados obtenidos la importancia de la investigación es analizar la cuenca, sus cambios de cobertura y uso de suelo, de esta manera proceder a analizar con criterio de hidrología si la cuenca se ve afectada por la escorrentía o infiltración a través de los años 2002 hasta el 2016.

Con estos antecedentes, la siguiente investigación tiene como objetivo general evaluar los cambios de usos y cobertura de la tierra con la banda C de radares y su impacto en la infiltración potencial en la cuenca del Toachi, mientras que los objetivos específicos son: Evaluar la aplicabilidad de los radares de Banda C para mapeo de usos y cobertura de la tierra (LULC); evaluar cambios en mapas LULC producidos con la banda C y Evaluar el impacto potencial de los cambios sobre la Infiltración de la cuenca Rio Toachi.

Metodología de la investigación

Área de estudio

Localidad

La ubicación del área el cual se abarco a estudiar es la de la Cuenca del Río Toachi el cual parte en Bucay. La cuenca del rio Toachi surge cerca de la laguna Quilotoa al norte del Cotopaxi El río desciende en dirección Noroeste, pasa por Santo Domingo y desemboca en el río Blanco. La estación que demarca la cuenca del rio Toachi es H0167. Localizada con las coordenadas exactas en UTM son: zona 17 S, Este: 707253.6, Norte: 9973489.4. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2016)

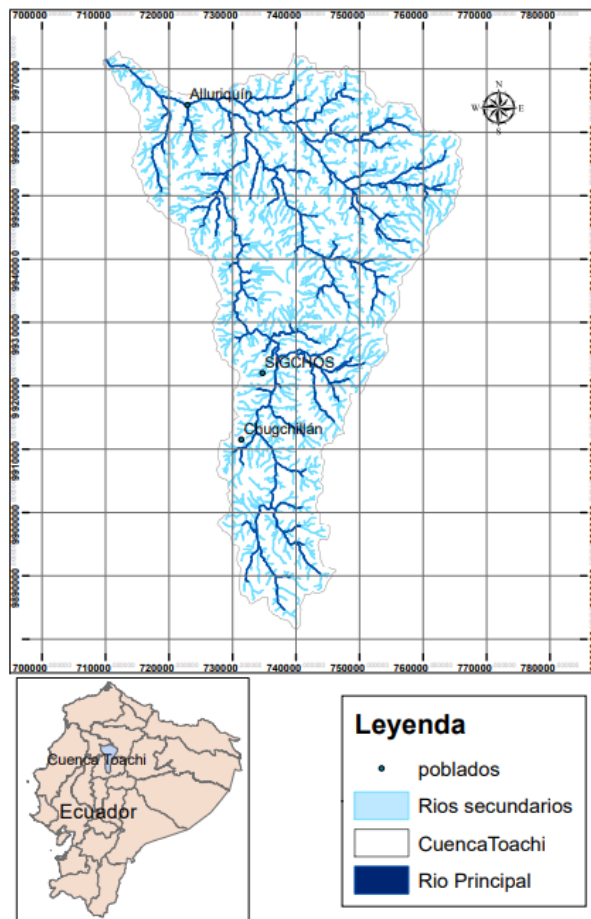


Figura 14 Cuenca del rio Toachi

Información climatológica

La información climatológica de la cuenca del río Toachi ya que encontramos 2 tipos de climas, ya que estos se encuentran a alturas distintas. A 560 m.s.n.m. podemos identificar un clima tropical y en 2930 m.s.n.m. identificamos un clima que varía entre muy húmedo temperado, paramo lluvioso y subhúmedo tropical.

Materiales

Los instrumentos necesarios para realizar la metodología requieren de un programa para análisis de imágenes satelitales SNAP (**Sentinel Application Platform**) la información del radar Sentinel se obtiene en la Universidad de Alaska Fairbanks en el instituto geofísico ASF (**Alaska Satellite Facility**) y la información del radar ERS se obtiene de la ESA (**Agencia Espacial Europea**), También requiere un programa de Sistema de Información Geográfica (**GIS**) para el fin investigativo se utilizan las herramientas de los programas ArcGIS y QGIS.

Métodos

- Obtención de datos por medio de la plataforma Earth Explorer, para la delimitación de la cuenca a través de la aplicación ArcGis
- Búsqueda sistemática en la plataforma de ASF Alaska Satellite Facility.
- Describir los pasos del pre-procesamiento para Sentinel-1.
 - Ejecución de Subconjunto
 - Ejecución de calibración
 - Ejecución de multilooking
 - Ejecución de corrección del terreno

- Clasificaciones con el método de Random Forest (Machine Learning) inteligencia artificial usando Sentinel-1.
- Búsqueda sistemática en la plataforma de ESA European Space Agency
- Describir los pasos del pre-procesamiento para ERS.
 - Ejecución de Subconjunto
 - Ejecución de calibración
 - Ejecución de multilooking
 - Ejecución de corrección del terreno
- Clasificaciones con el método de Random Forest (Machine Learning) inteligencia artificial usando ERS.
- Dividir y restar capas de los mapas con criterios de hidrología

Banda C y su función

La banda C en los radares es uno de los indicados a la hora de trabajar en la cobertura de la tierra y usos de suelo, ya que este trabaja por medio de ondas, las cuales permiten una penetración de señal dependiendo de la longitud de la onda, la banda C puede penetrar la flora, también de igual forma en el suelo cuando este no se encuentre húmedo, mientras más larga sea la longitud de la onda mayor será su penetración, la longitud de onda se calcula por medio de la velocidad de la luz sobre la frecuencia. en este caso la banda C tiene una penetración que puede llegar bajo 5cm de la cobertura. La frecuencia con la cual trabaja la banda C es de 4 a 8 GHz por lo cual es factible a la hora de usarlo en la cobertura agrícola. (Podest, 2018)

Recolección de datos

La evaluación de cambios de usos y cobertura de suelo en la cuenca Toachi se realiza por medio del uso de radares satelitales durante los años 2002 a 2016 con datos de Alaska Satellite Facility (Alaska Satellite Facility, s.f.) y European Space Agency. (European Space Agency, s.f.)

Los datos del uso de suelo y la cobertura de la tierra obtenidos son primordial para la investigación, ya que en estas páginas es posible indagar en diferentes años, por lo cual es posible determinar los cambios más notorios que ocurrieron en la zona a delimitada en el transcurso de los años 2002 a 2016.

Luego de descargar los datos procedemos a descargar un modelo digital (DEM) para la cuenca Toachi, la cual se obtiene por medio de la página Earth Explorer (United States Geological Survey, s.f.)

Análisis de cambios de cobertura y uso del suelo

Para poder realizar el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río toachi. Se inicio delimitando la cuenca, por medio del software ArcGis usando la herramienta Arctoolbox. Se encontró varios parámetros, el necesario es el parámetro de Hydrology para delimitar la cuenca.

Una vez localizada la cuenca se procede a usar los datos descargados de Sentinel-1 de la página de Alaska Satellite Facility (Alaska Satellite Facility, s.f.) Estos datos deben constar con una polarización en este caso nosotros trabajamos con la polarización VV (Vertical Vertical) y VH (Vertical Horizontal) y la dirección de la órbita ascendiente. Trabajamos con los datos del año 2016.

Seguidamente continuamos con el siguiente satélite ERS en la página European Space Agency (European Space Agency, s.f.) Estos datos constan con solo una polarización en este caso nosotros trabajamos con la polarización VV (Vertical Vertical) y la dirección de la órbita ascendiente. Trabajamos con los datos del año 2002.

Luego de obtener los datos procedemos a usarlos en el software SNAP (Sentinel Application Platform). Realizamos los pasos del preprocesamiento de las escenas de Sentinel-1 y ERS Principalmente realizamos un Subconjunto, luego proseguimos con la ejecución de calibración para realizar la corrección radiométrica para la comparación de imágenes, continuamos con la ejecución de multilooking para reducir la pecas o espacios vacíos, a continuación, realizamos la ejecución de corrección del terreno para que las distorsiones de la representación geométrica de la imagen sea lo más cercana posible al mundo real. (Véase Figura 3,4,5,6).

Luego de realizar los pasos del preprocesamiento, creamos polígonos de entrenamiento dentro del área (Véase Figura 8 y 9), los cuales nos ayudan a identificar la cobertura y uso de la tierra se realizó con la información de la página web de Geo portal del Agro Ecuatoriano (Geoportal del Agro Ecuatoriano, 2015). Una vez tengamos los polígonos de entrenamiento proseguimos con la clasificación Random Forest en nuestro caso nosotros trabajamos con 150 árboles, el número de árboles es el número de decisión, mientras mayor sea este número mayor será la precisión del modelo. (Congedo, From GIS to Remote Sensing, 2021) (Véase Figura 12 y 13).

Evaluación de precisión

Para ejecutar la evaluación de precisión debemos poseer los resultados de la cobertura ya culminada, para poder proyectarlas en el software Qgis. En el mismo software debemos instalar un plugin el cual nos facilita realizar la evaluación el nombre de este es (Semi-Automatic Classification Plugin). (Congedo, Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS., 2021)

El procesamiento para realizar la evaluación de precisión se inicia realizando una clasificación de reporte la cual nos aporta el área de cada cobertura de suelo en porcentaje, este se realiza en el menú SCP nos dirigimos al apartado postprocessing y seleccionamos report classification y actualizamos para que nos muestre nuestro ráster agregado y procedemos a ejecutar (Véase figura 23).

Para el diseño de las muestras tenemos que usar la formula brindada por (Olofsson y otros, 2014).

$$N = \sum_{i=1}^C (W_i * S_i / S_o)^2$$

Donde:

W_i = Proporción del área mapeada de las clases

S_i = Desviación estándar del estrato i

S_o = Desviación estándar esperada de la precisión general

N = Número de muestras a distribuir en clases

C = Número total de clases

Para poder realizar esta fórmula necesitamos el porcentaje de área de cada clase, la cual obtenemos del reporte de clasificación, de esta forma podremos obtener la variable W_i . La variable S_i la obtenemos en función de los valores de W_i , en el caso de S_0 es un valor asumible motivo por el cual se usó de 0.01.

Procedemos a calcular el ponderado, equal y mean. Los cuales se obtienen por medio de las siguientes formulas:

Ponderado	Equal	Mean
$N_i = N * W_i$	$N_i = \frac{N}{c}$	$N_i = \frac{\frac{N}{c} + N * W_i}{2}$

Las fórmulas obtenidas son brindadas por (Olofsson y otros, 2014).

Como siguiente paso nos dirigimos a la pestaña SCP el cual consta con un submenú juego de bandas, en el cual deberemos agregar la banda obtenida de SNAP para poder crear los puntos de ROI múltiples (Véase figura 25), debemos verificar que la distancia mínima y máxima dentro de los puntos ROI sea de del valor de 1, ya que esta es el área que define un píxel.

Luego procedemos a crear un nuevo training input el cual nos sirve para guardar los puntos ROI (Regiones de interés) y el mismo los dispersa en el área a trabajar aleatoriamente (Véase figura 24), seguidamente procedemos a la creación de los ROI múltiples el cual nos ayuda a reducir el tiempo de interpretación del ráster. El resultado de Mean lo dividimos para 10, de esta forma obtenemos el número de muestras el cual se usarán en el creador de ROI múltiple.

Antes de agregar el número de puntos, debemos verificar que la opción “estratificado por los valores” se encuentre activada, continuamente procedemos agregando los valores usando la expresión “raster == n” donde n vendría siendo el numero designado en la clasificación. Esta

expresión significa que vamos a seleccionar aleatoriamente puntos que caen sobre píxeles que tienen valor n de la clasificación, de esta forma procedemos a agregar los correspondientes números de muestras a cada clase designada. Y procedemos a ejecutar el programa.

Una vez culminada la ejecución y que los puntos se agreguen al training input corroboramos que cada punto se encuentre en la macroclase y clase correspondiente mediante el uso de imágenes con resolución superior a la clasificación u otros servicios (Google satélite, openstreemap).

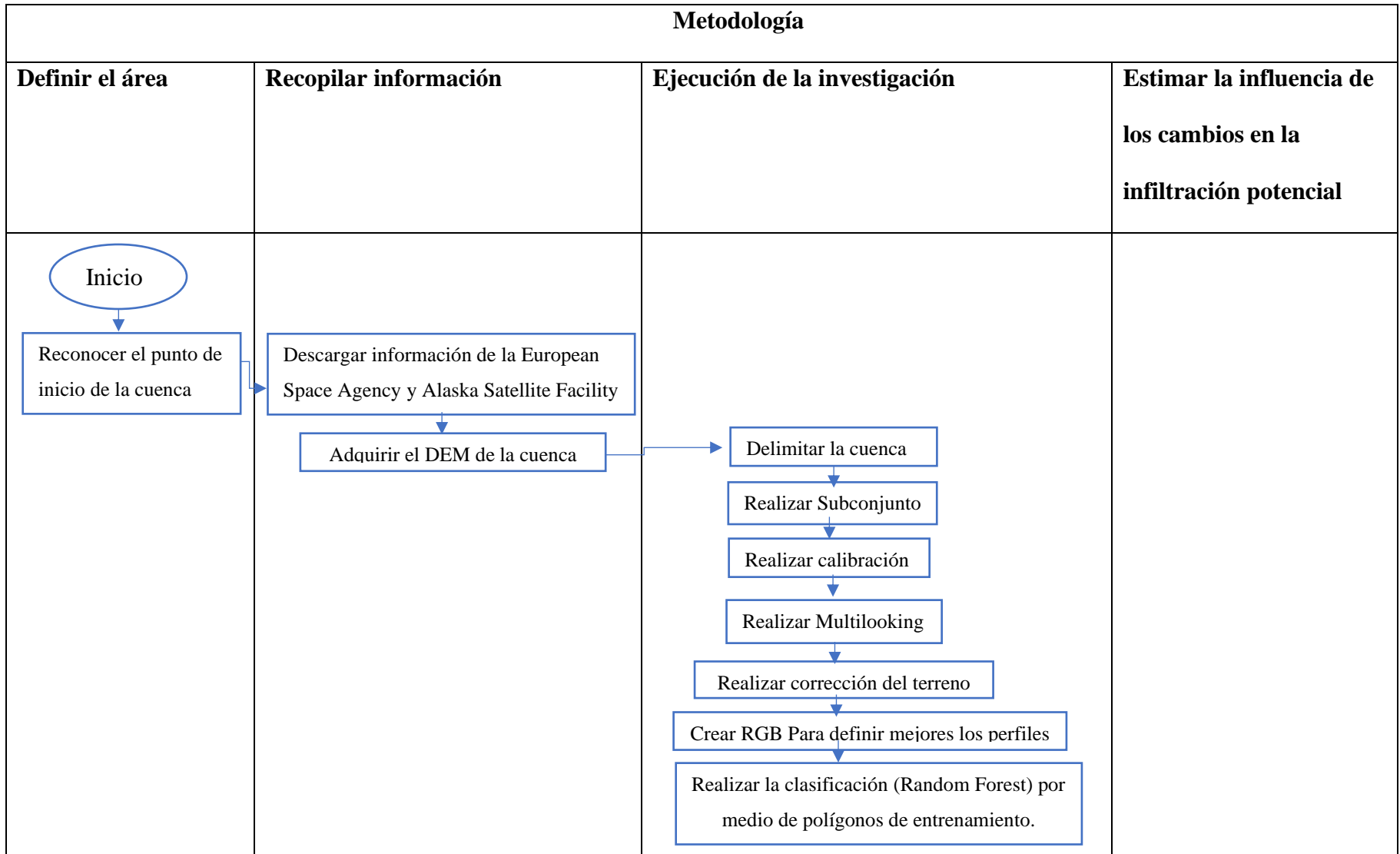
Como último punto procedemos a realizar el cálculo estadístico de precisión en el menú SCP nos dirigimos al apartado postprocesing y seleccionamos accuracy. Luego de seleccionar actualizamos los apartados y seleccionamos la clasificación a evaluar y los ráster de referencia continuamente debemos verificar que se encuentre seleccionada la opción MC_ID en el apartado vector de campo y ejecutamos la evaluación de precisión (Véase figura 26).

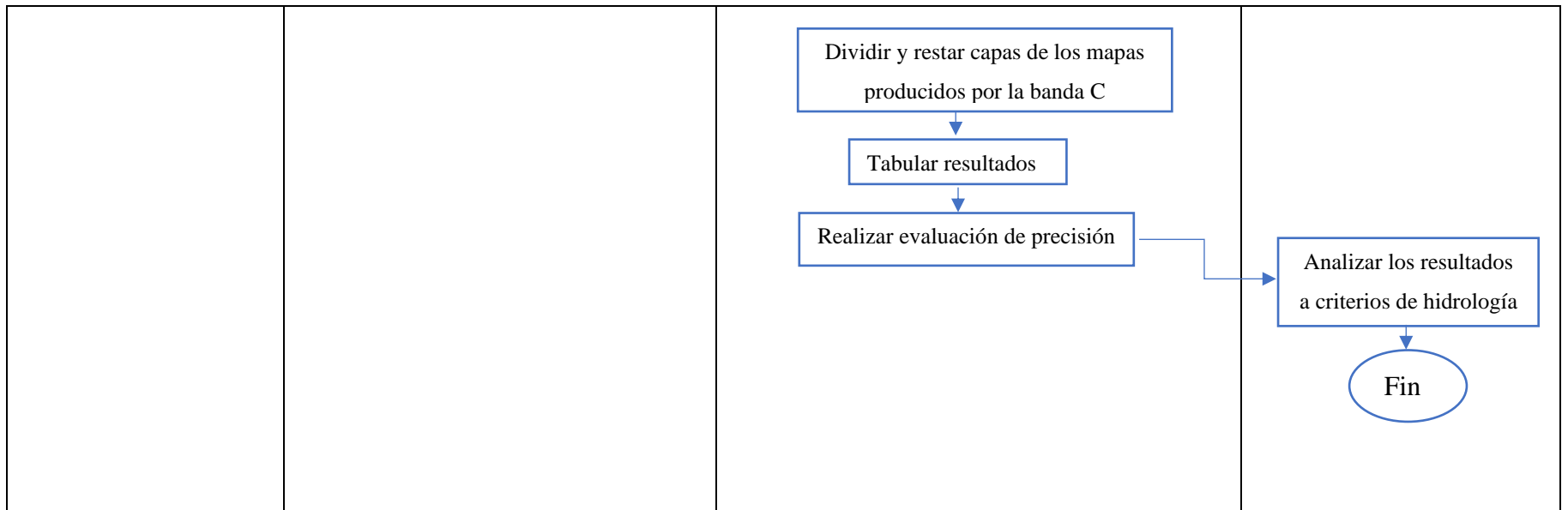
Influencia en la hidrología de los cambios uso de suelo y cobertura

Para analizar los mapas con respecto a la hidrología debemos procesar los mapas en el software de QGIS en el cual nos dirigimos a la ventana Spatial Analyst tool, al apartado Reclass, gracias a este algoritmo permite que reclasifiquemos la capa, esta nos mostrara la nueva capa que nos indicara los cambios de escorrentía e infiltración.

Según Arroyo Canales et al. (2021) nos indica que modificar la cobertura vegetal afecta a la regulación hídrica, motivo por el cual afecta el rendimiento adecuado del servicio ecosistémico, de tal manera procede a aumentar la escorrentía y disminuye la infiltración, alterando la capacidad de regulación hídrica del suelo

Diagrama de flujo de actividades





Resultados

Los resultados se muestran por medio del análisis realizado en la cuenca del río Toachi respecto al cambio de usos de suelo y cobertura de la tierra representado en porcentajes. Luego se identifica la influencia hidrológica de los cambios con respecto a la infiltración potencial.

En los resultados obtenidos de Sentinel-1 mayormente se observa que las áreas de montaña se confunden con cuerpos de agua en el altiplano. Esto sucede porque no se logra detectar la cobertura que se encuentra en la parte posterior del altiplano.

Analizar la efectividad de los radares de Banda C para mapeo de usos y cobertura de la tierra (LULC)

La efectividad obtenida de los radares de la banda C se obtienen por medio de una evaluación de precisión, el resultado obtenido nos indica que es factible para realizar un mapeo de usos y cobertura de la tierra, ya que este nos brinda un 77.6792% en el radar Sentinel 1 y en ERS nos da como resultado un 83.2896% de precisión por lo cual es un resultado muy efectivo.

En la evaluación de precisión como es de esperarse varían para cada una de las clases. Sin embargo, en la zona urbana los valores de PA y UA (Véase figura 28, 29) dan 0, este resultado obtenido es reflejado porque al realizar la evaluación se encontró que ningún píxel de la muestra de la zona urbana realmente no correspondían a dicha clase. Por otra parte, los pastizales en el año 2016 los valores PA y UA dan 100%, este se debe a que los píxeles si correspondían a dicha clase. En el año 2002 el valor más preciso es del de los pastizales. Obteniendo un PA de 96.94% y el valor de UA de 100%. Los píxeles en esta clasificación corresponden a que fueron mayormente precisos.

Evaluación de cambios en mapas LULC producidos con la banda C

En la cuenca Toachi prevalece la cobertura de bosques en los años analizados 2002 a 2016, su cambio reflejado en los años transcurridos nos indica que la cobertura de bosques ha sido disminuida y presentando un aumento en las áreas urbanas. Su disminución de cobertura arbórea fue del 7.575% y el aumento de la zona urbana fue del 2.824%.

Por otra parte, en el transcurso de los pastizales se observó un crecimiento del 1.584%, en los resultados obtenidos también se logra visualizar una reducción de los cultivos de ciclo corto del 7.144% pero este resultado se debe a que en la zona del altiplano no logra detectar la cobertura que se encuentra en la parte posterior del mismo y los toma como cuerpo de agua.

Figura 21 Cobertura Toachi 2002 ERS-1

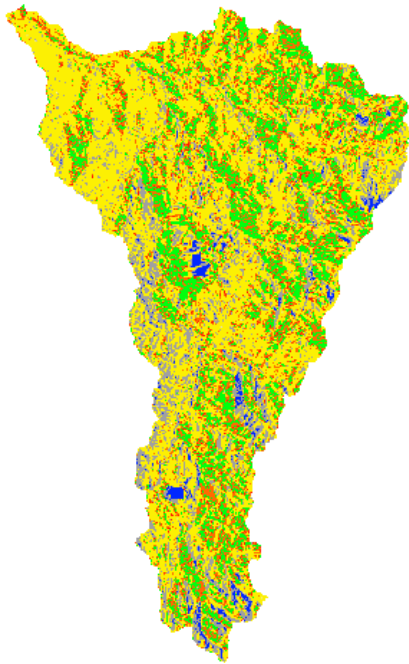
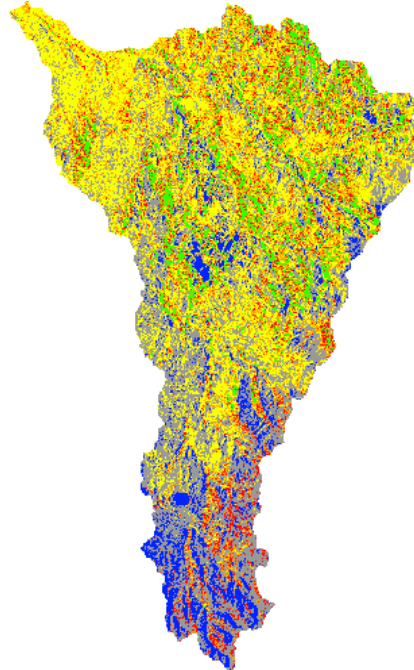


Figura 22 Cobertura Toachi 2016 Sentinel-1



Evaluación del impacto potencial de los cambios sobre la Infiltración de la cuenca Río Toachi

Los cambios en la cuenca Toachi favorecían en el año 2002 a la infiltración, ya que poseía una mayor cobertura arbórea, cosa que no se puede observar en el año 2016, ya que esta disminuye de un 38.938% a 31.363%, por otra parte, esto nos indica que la cuenca aumenta su escorrentía (Véase en las figuras 15,16,30).

Figura 30. Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Toachi durante 2002 al 2016

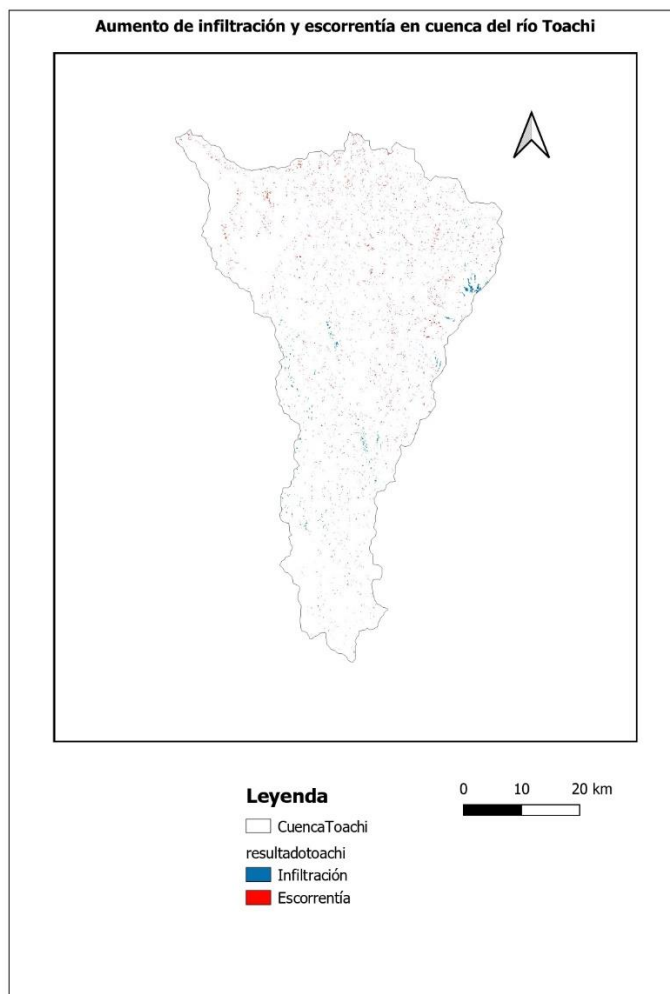


Figura 19 Resultado cobertura cuenca Toachi Sentinel-1

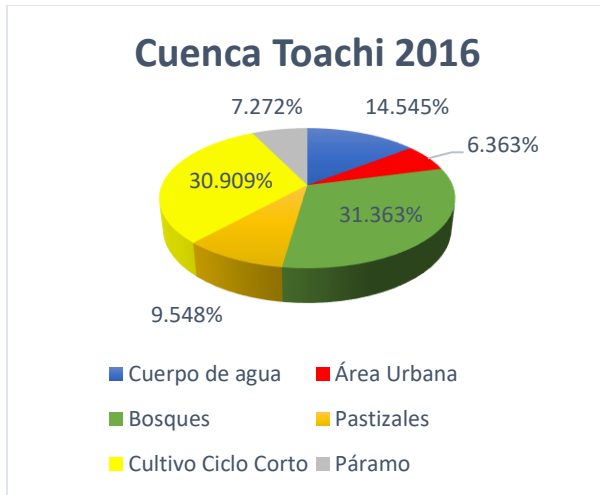
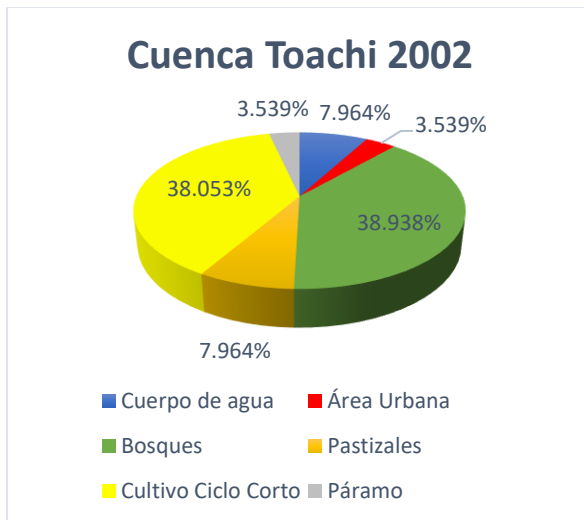


Figura 20 Resultado cobertura cuenca Toachi Sentinel-1



Discusión

Los resultados analizados en la cuenca Toachi nos indican que la cobertura y uso de la tierra en el transcurso de los años la capa arbórea disminuye en el área de estudio, el cual coincide con la investigación de (Espinoza Casanova, 2021). Que también nos indica que la cuenca Toachi cuenta con una disminución arbórea y un aumento de área urbanas.

La cuenca del río Toachi se ve afectada por la escorrentía, ya que se generó una variación en la cobertura y uso del suelo tal y cual nos indica (López y otros, 2007). Que si se muestra una variación en la cobertura y uso de suelo, este generara cambios diversos los cuales alteran el ciclo hidrológico y este ocasionaría un aumento en la escorrentía.

Conclusiones

En la cuenca Toachi en los años 2002 a 2016 presenta cambios que favorecen a la escorrentía debido a los cambios que presentan en el aumento de vegetación en cultivos y pastizales, ambos aumentaban constantemente mientras que por otro lado se disminuía la cobertura de bosques.

La cobertura que predomina sobre cuenca del río Toachi son los cultivos de ciclo corto con un 30.909% y bosques con 31.363%. siendo inferior a los datos del 2002 siendo esta la causa de que su aumento la escorrentía en la cuenca.

Usando el radar sentinel-1 existe una falta de información a la hora de realizar el preprocesamiento del área de estudio, ya que este no logra obtener información de la parte posterior del altiplano, cambiando estos datos a cuerpos de agua, los cuales no existen en el sector.

Bibliografía

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2016). *Ministerio de Ambiente y Agua*.

<http://www.serviciometeorologico.gob.ec>

Aguilar, E., Reyes, K., Ordoñez, O., & Calle, M. (2018). *Uso y valoración de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico: Caso Casacay, cantón Pasaje, El Oro-Ecuador*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2018000100080>

Alaska Satellite Facility. (s.f.). Alaska Satellite Facility: <https://asf.alaska.edu>

Anaya, J., Gutierrez, V., Pacheco, A., Palomino, S., Han, N., & Balzter, H. (2020). *Impulsores de la pérdida de bosques en un hotspot megadiverso en la costa pacífica de Colombia*.

Arroyo Canales, E. M., Bazán Vásquez, L. D., & Catay Ordoñez, J. (2021). *Influencia del cambio climático y uso del suelo en la capacidad de regulación hídrica en la microcuenca medio bajo Mantaro del departamento de Huancavelica, periodo 2015 - 2020*.

Camacho, R., Camacho, J., Balderas, M., & Sánchez, M. (2017). *Cambios de cobertura y uso de suelo: estudio de caso en Progreso Hidalgo, Estado de México*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.21829/myb.2017.2331516>

Congedo, L. (2021). *From GIS to Remote Sensing*. <https://fromgistors.blogspot.com/p/user-manual.html?sref=scp>

Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of Open Source Software*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Corporación Eléctrica del Ecuador. (2018). Toachi Pilatón.

<https://www.celec.gob.ec/termomanabi/index.php/80-toachi-pilatón>

Espinoza Casanova, J. C. (Mayo de 2021). *EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA DEL SUELO EN CUENCAS DE LAS CORDILLERAS OCCIDENTAL Y COSTERA.*

European Space Agency. (s.f.). European Space Agency: <https://earth.esa.int/eogateway>

Geoportal del Agro Ecuatoriano. (2015). Gobierno del Encuentro:

<http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo>

Jalmacin, A., González, G., Mendoza, M., & Silva, F. (2017). *Cambio de cobertura y uso de suelo en cuencas tropicales costeras del Pacífico central mexicano.*

<https://doi.org/https://doi.org/10.14350/rig.56770>

Loayza Castro, M. (2019). *Evaluación del cambio de cobertura y uso del suelo en la zona E del distrito de Lurín.*

<https://doi.org/http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/118>

López, M., Camarasa, A., & Mateu Bellés, J. (2007). *Cambios en los usos del suelo y producción de esorrentía en ramblas mediterráneas: Carraixet y Poyo (1956-1998).*

<https://doi.org/https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2519099>

Olofsson, P., Foody, G., Herold, M., Stehman, S., Woodcock, C., & Wulder, M. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *ELSEVIER.*

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>

- Pinos, J., Timbe, L., & Orellana, D. (2017). Métodos para la evaluación del riesgo de inundación fluvial: revisión de literatura y propuesta metodológica para Ecuador. *DIUC*, Vol. 8(No. 2), 16. <https://doi.org/https://doi.org/10.18537/mskn.08.02.11>
- Podest, E. (23 de Agosto de 2018). NASA. NASA ARSET: <http://arset.gsfc.nasa.gov/>
- Rojas Briceño, Barboza Castillo, Quintana, M., Cruz, O., & López, S. (2019). *Deforestación en la Amazonía peruana: índices de cambios de cobertura y uso del suelo basado en SIG*. Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles. <https://doi.org/https://doi.org/10.21138/bage.2538a>
- Servicio Nacionalde Gestión de Riesgos y Emergencias. (26 de Mayo de 2016). *DECLARATORIA DE ZONA DE RIESGO POR DESBORDAMIENTO DEL RÍO DAMAS-ALLURIQUÍN*. <https://www.gestionderiesgos.gob.ec/declaratoria-de-zona-de-riesgo-por-desbordamiento-del-rio-damas-alluriquin-26052016/>
- Siro, L., Hame, T., Rauste, Y., Kilpi, J., Gunia, K., Paz, B., & Hämäläinen, J. (2018). *Potencial de diferentes datos ópticos y SAR en la clasificación de bosques y cobertura terrestre para respaldar REDD + MRV*.
- United States Geological Survey. (s.f.). Earth Explorer: <https://earthexplorer.usgs.gov>
- Vélez, D. A., & Álvarez Mozos, J. (2020). *Clasificación de usos y cubiertas del suelo y análisis de cambios en los alrededores de la Reserva Ecológica Manglares Churute (Ecuador) mediante una serie de imágenes Sentinel-1*. Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/https://doi.org/10.4995/raet.2020.14099>

Anexos

Figura 1. Datos Alaska Satellite Facility

The screenshot displays the ASF Data Search Vertex interface. At the top, the search parameters are: Search Type: Geographic Search; Dataset: Sentinel-1; Area of Interest: WKT POLYGON((-79.5465 -1.6...); Filters: 250 of 68 Files. The search range is from Jul 01 2016 to Dec 01 2016, with Polarizations: VV+VH.

The main map view shows a satellite image of a coastal region in Alaska. A red polygon outlines the search area, and a yellow rectangle indicates the 'Approximate Placement Only' of the satellite's ground track. The map includes a zoom control and a status bar showing coordinates: lat -01.0675° lon -78.8622°.

Below the map, there is a list of 22 scenes (68 of 68 files). The list includes scene IDs, acquisition times, and icons for viewing and downloading. The selected scene is S1B_IW_GRDH_1SDV_20161001T233606_20161001T233631_002319_003EC0_B0F9, acquired on October 01 2016 at 23:36:06Z.

The scene detail panel for the selected scene shows the following information: Sentinel-1 · C-Band; Start Time: 10/01/16, 23:36:06Z; Stop Time: 10/01/16, 23:36:31Z; Beam Mode: IW; Path: 18; Frame: 1175; Flight Direction: ASCENDING; Polarization: VV+VH; Absolute Orbit: 2319; Data courtesy of ESA; Citation.

At the bottom, there are buttons for 'SEARCH:', 'Baseline', 'SEAS', and 'More Like This'.

Figura 2. Datos European Space Agency

ESA | earth.esa.int

ESA Online Catalogue - Search Result

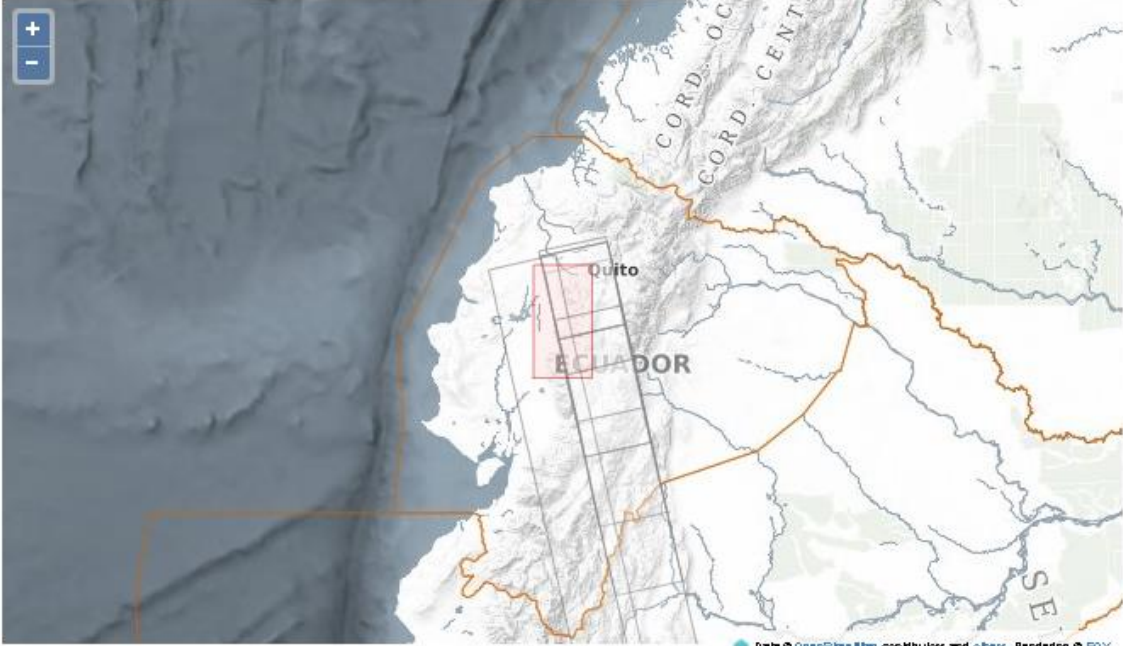
[back to search form](#) | [bulk download lists](#)

1 2 3 >

Collection SAR_IMM_1P

Level 1 Medium Resolution products for ERS Image Mode.
More information can be found in this page.

Search result page 1 of 6 pages (10 of 52 records found in 6.617 seconds).



polarisationChannels W

SAR_IMM_1PWDSI20021206_035506_00000021A079_00447_39880_0001

[Download Product](#) | [Product Info](#) | [Browse](#)

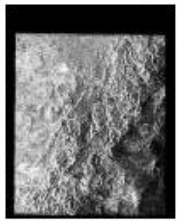


Figura 3. Proceso subconjunto SNAP

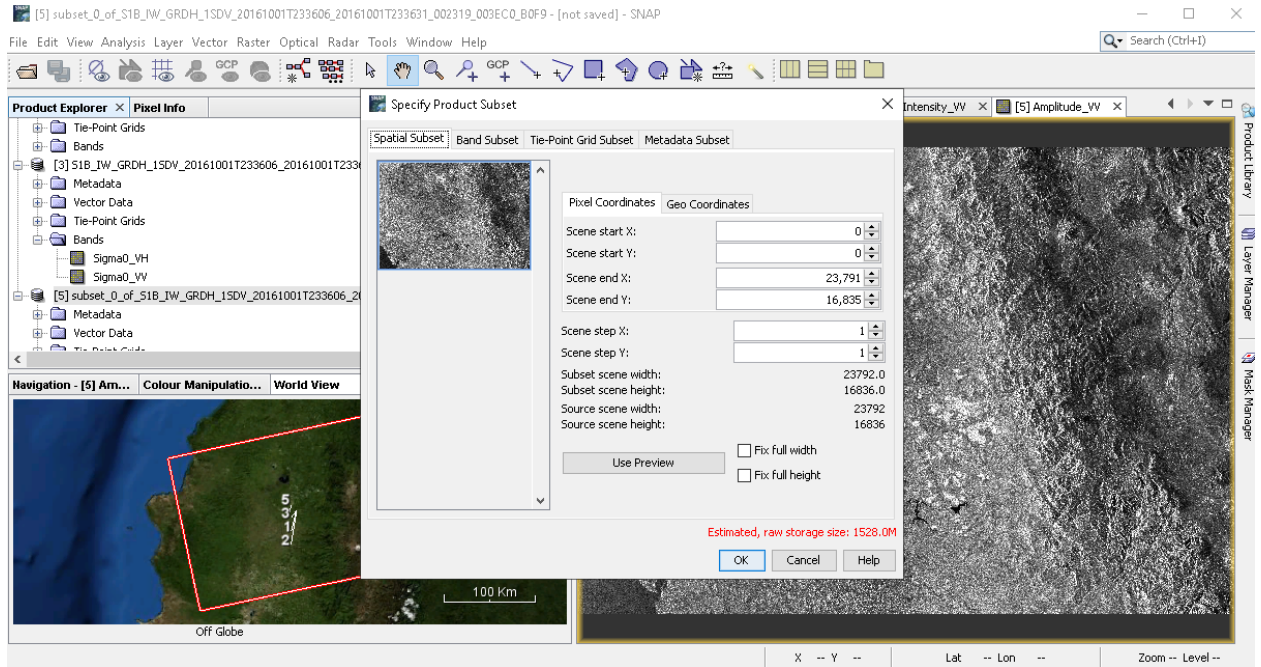


Figura 4. Proceso de calibración SNAP

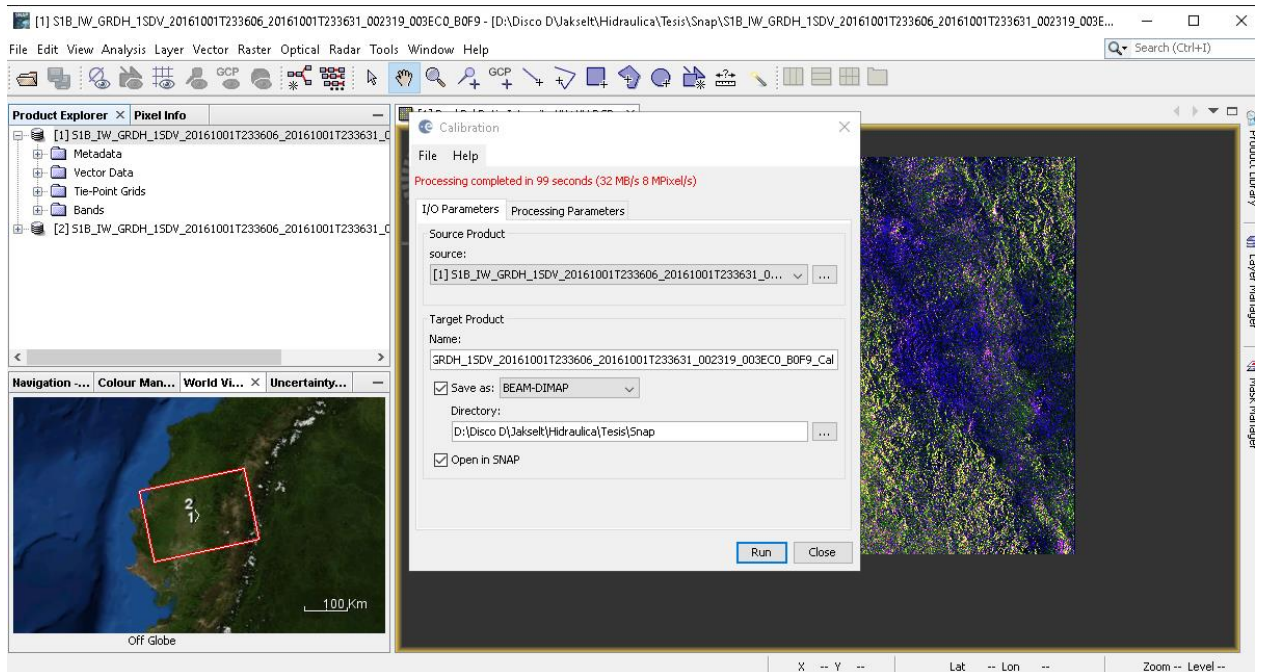


Figura 5. Proceso Multilooking SNAP

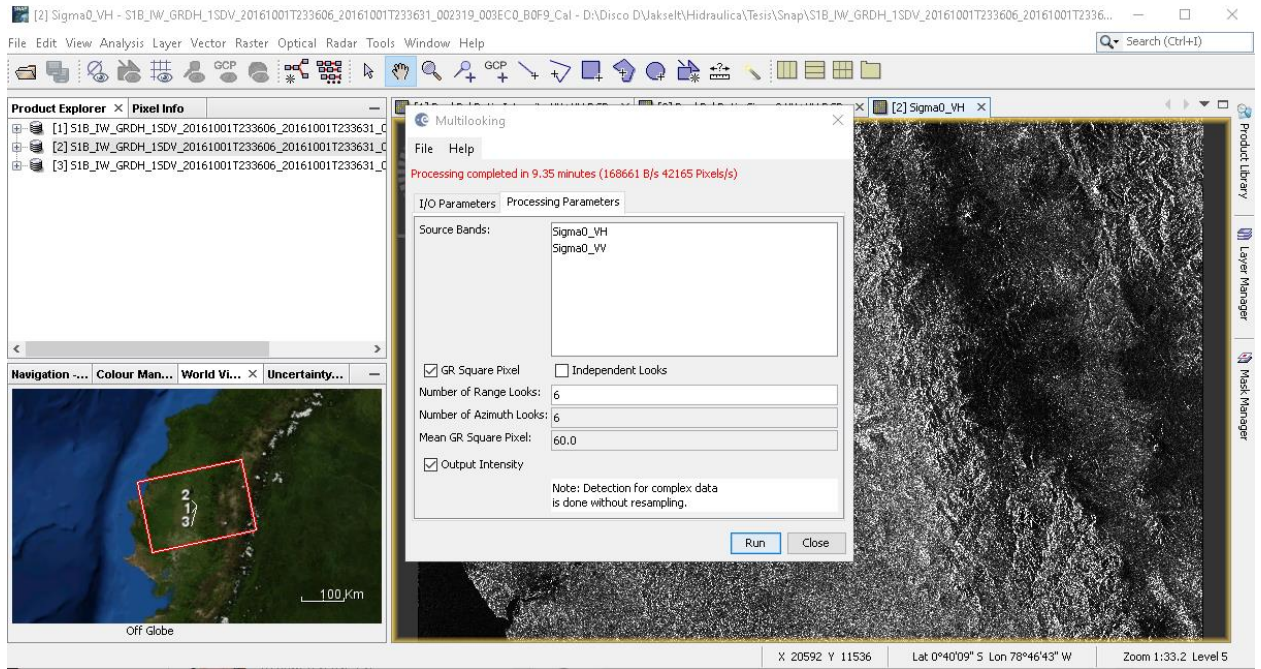


Figura 6. Proceso corrección del terreno con DEM externo SNAP

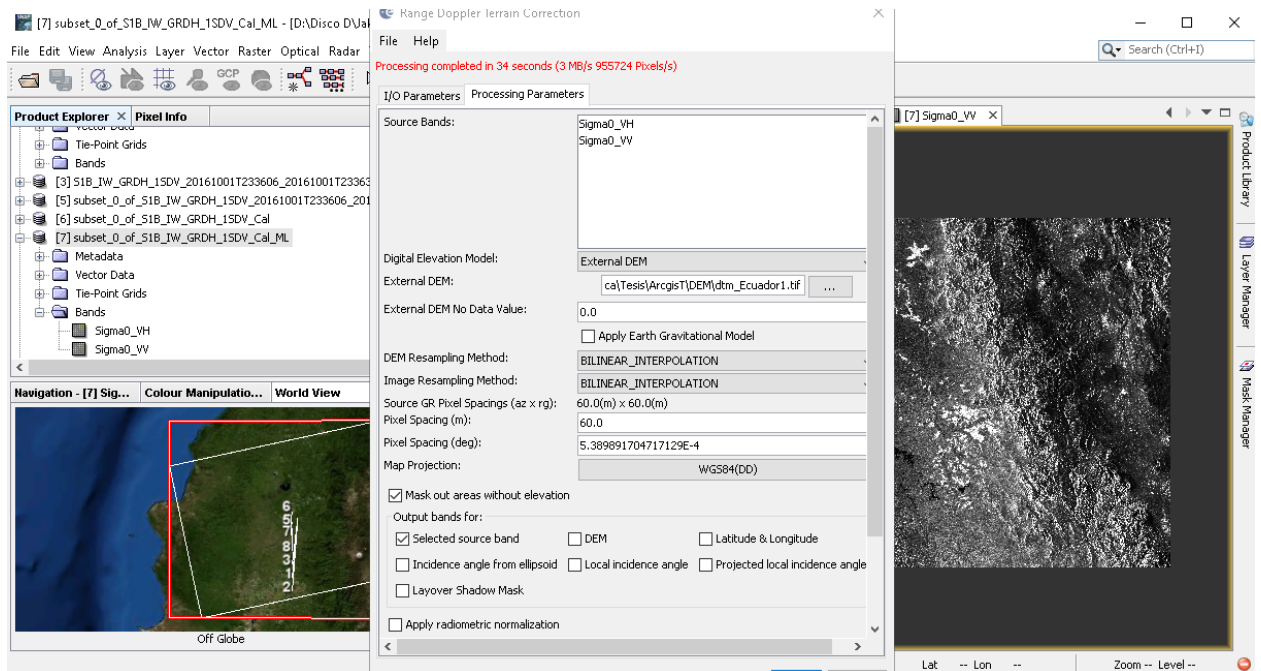


Figura 7. Proceso RGB en db división de capas

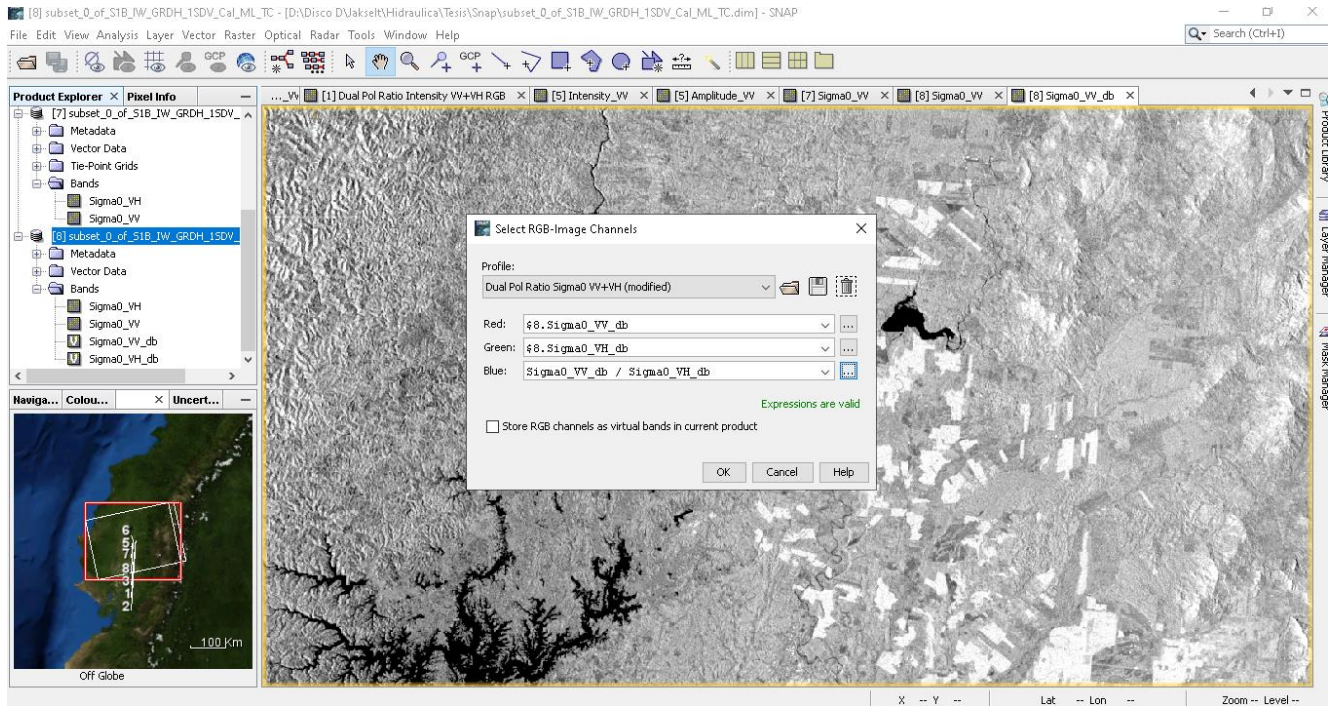


Figura 8. Creación de polígonos de entrenamiento para realizar la clasificación

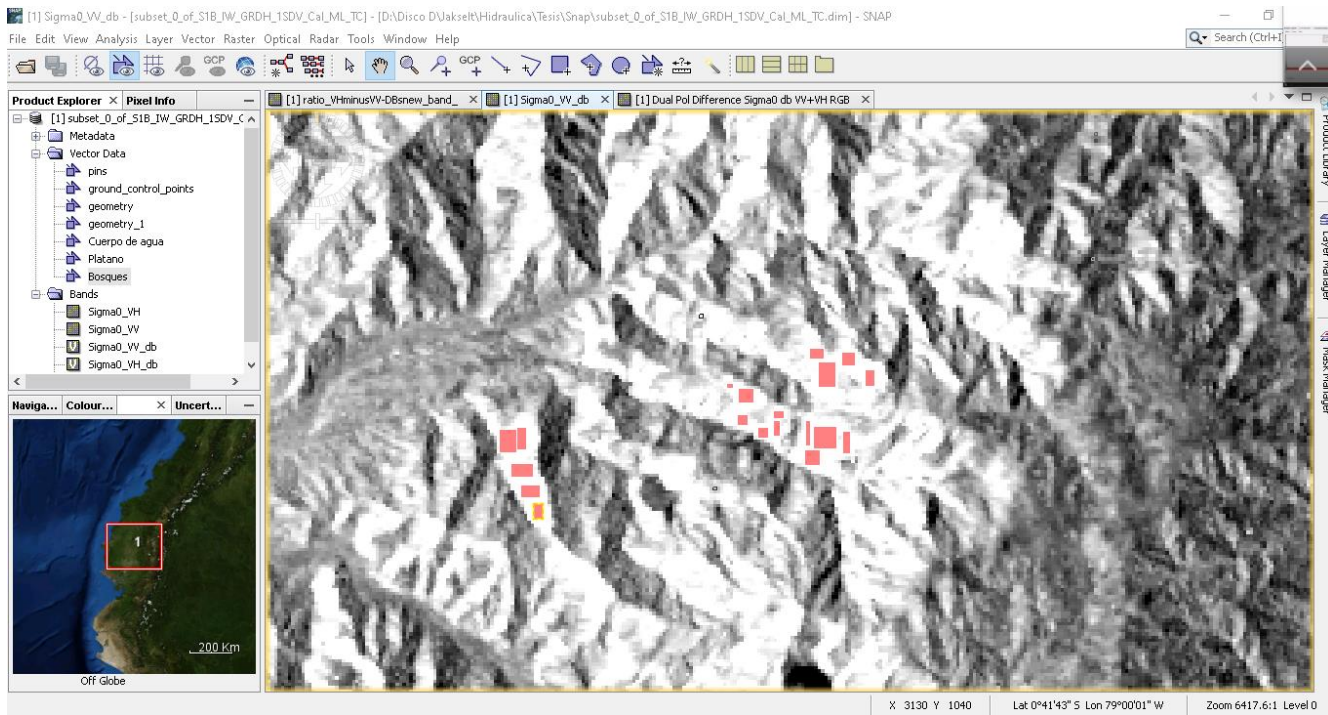


Figura 9. Creación de polígonos de entrenamiento para realizar la clasificación

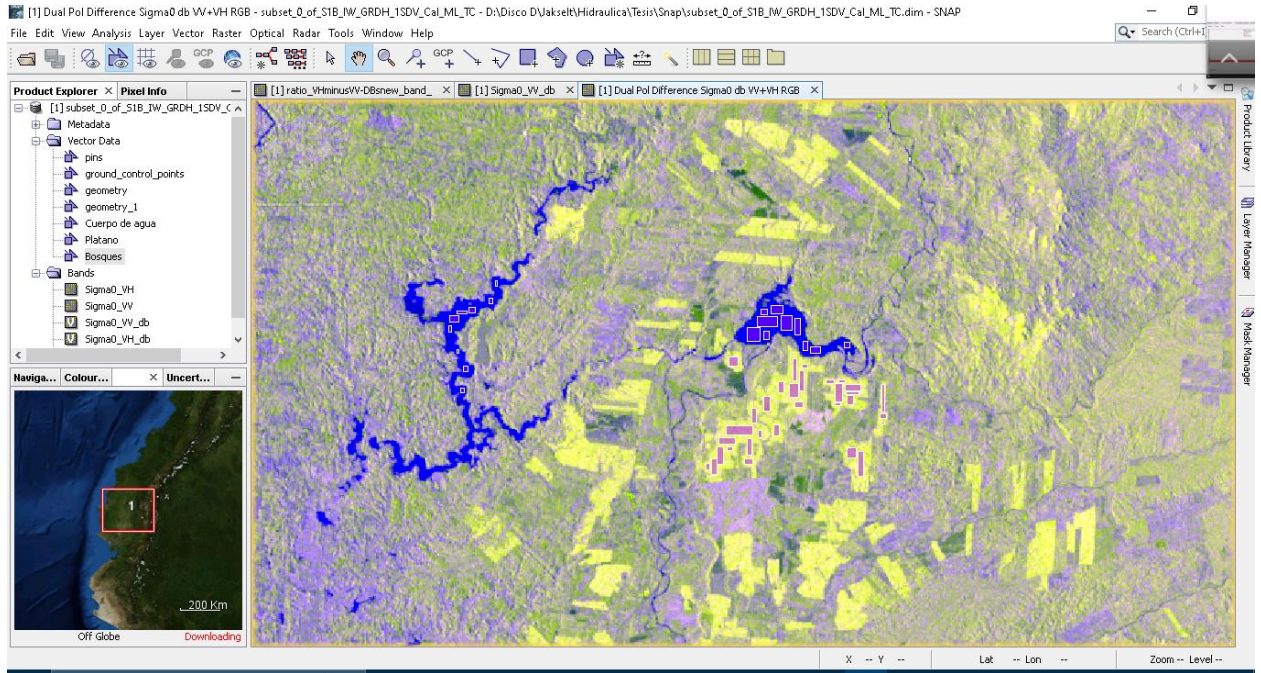


Figura 10. Polígonos de entrenamiento creados

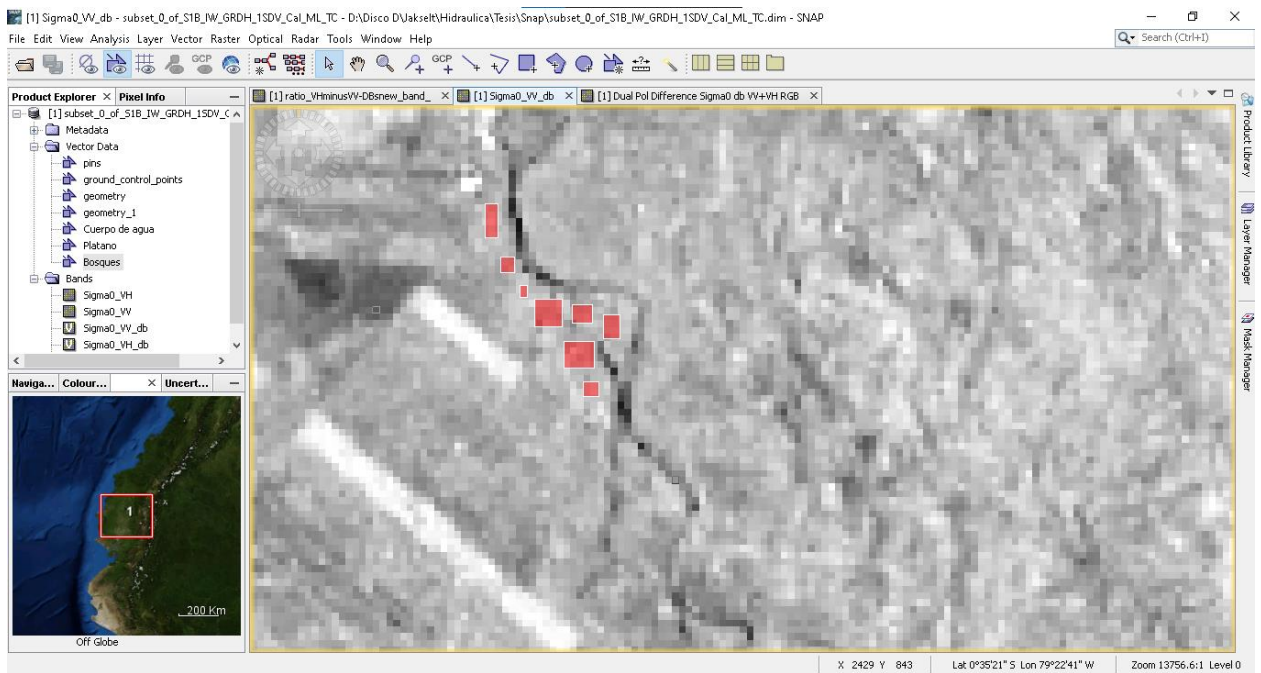


Figura 11. Polígonos de entrenamiento creados

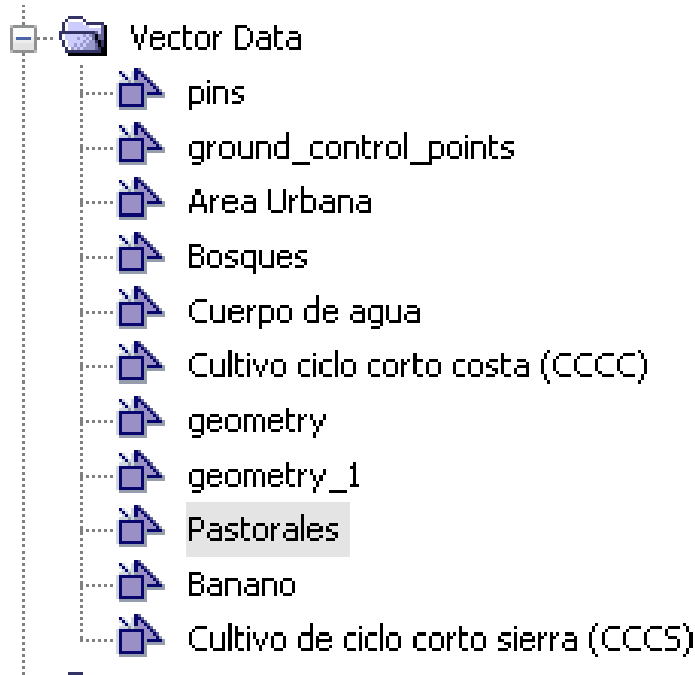


Figura 12. Ejecución de Random Forest con 150 arboles para la clasificación

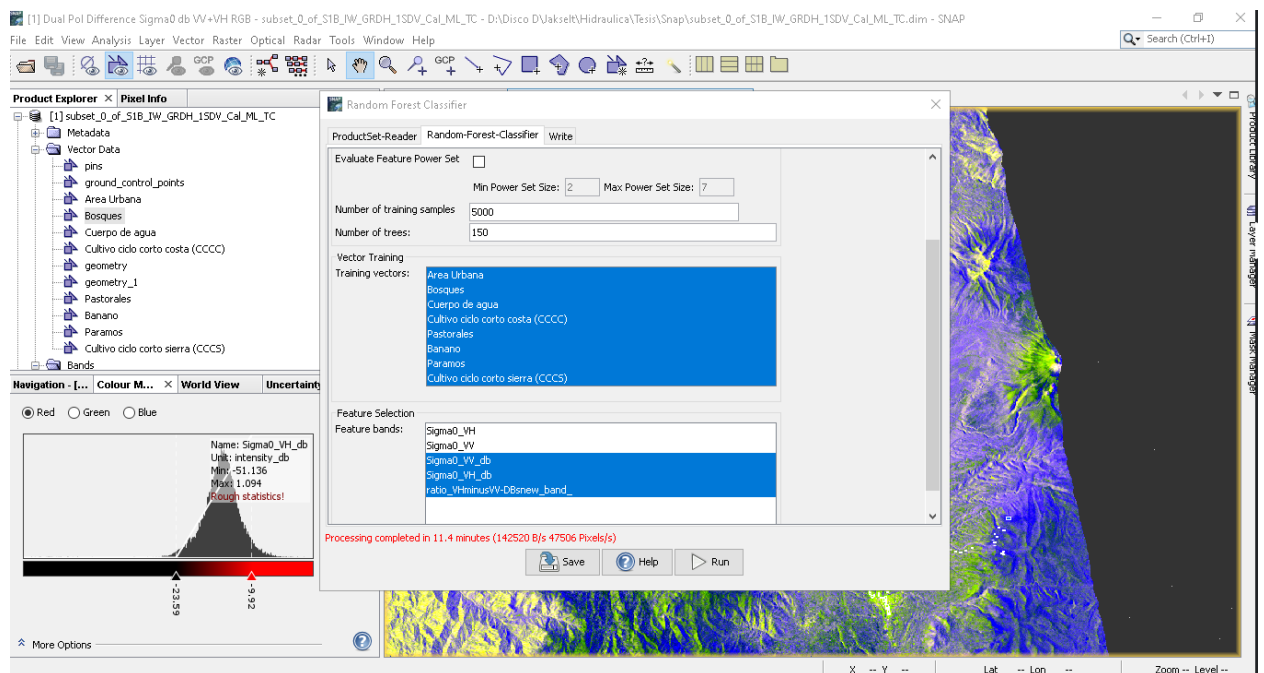


Figura 13. Ejecución de Random Forest con 150 árboles para la clasificación

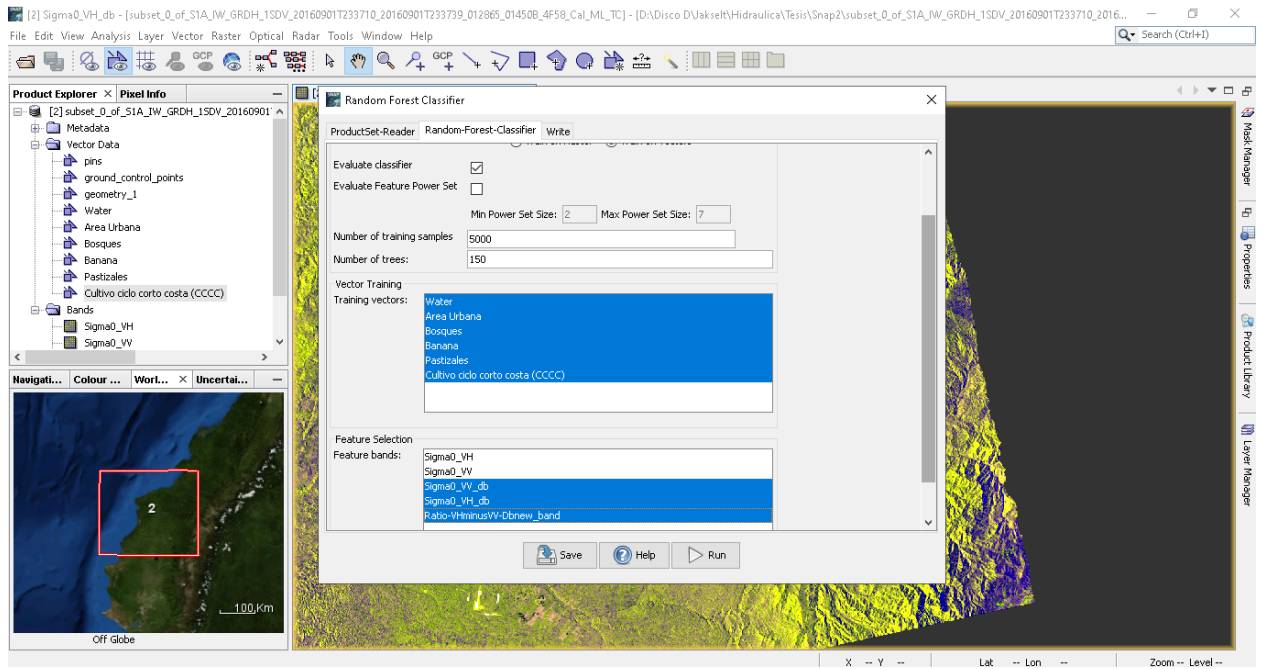


Figura 14. Cuenca del rio Toachi

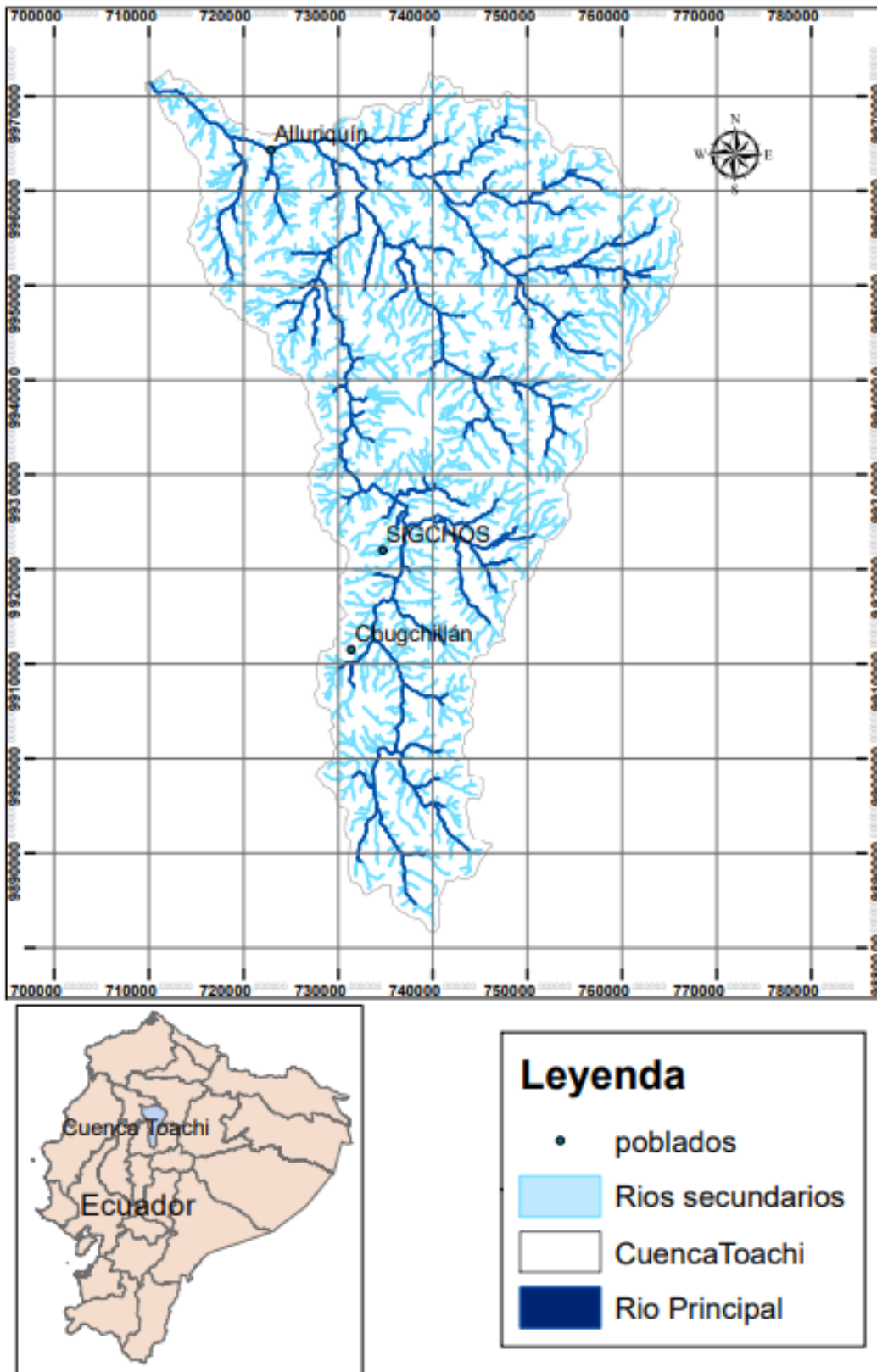


Figura 15. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2016 con Sentinel-1

Cambios de cobertura y uso del suelo

Leyenda	
Cuerpo de agua	14.545%
Área Urbana	6.363%
Bosques	31.363%
Pastizales	9.548%
Cultivo Ciclo Corto	30.909%
Páramo	7.272%

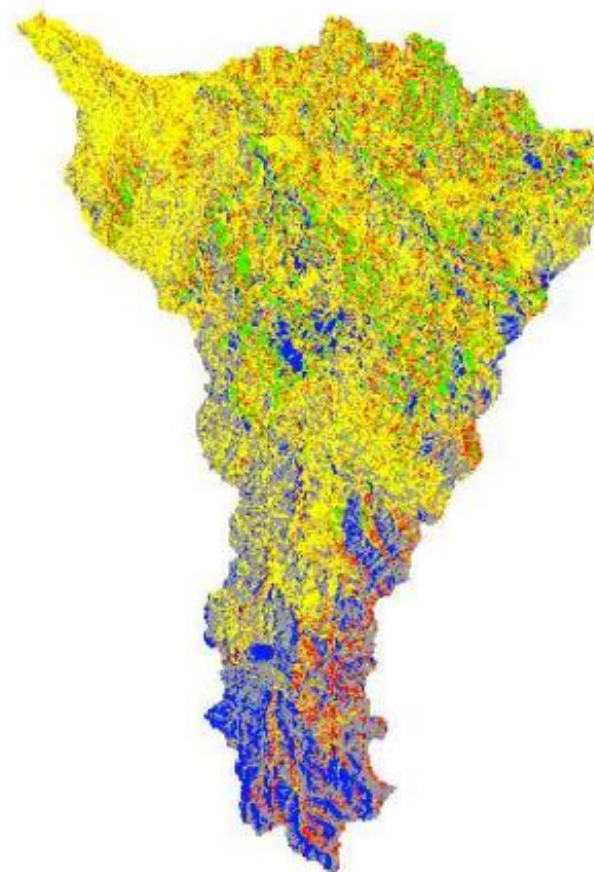
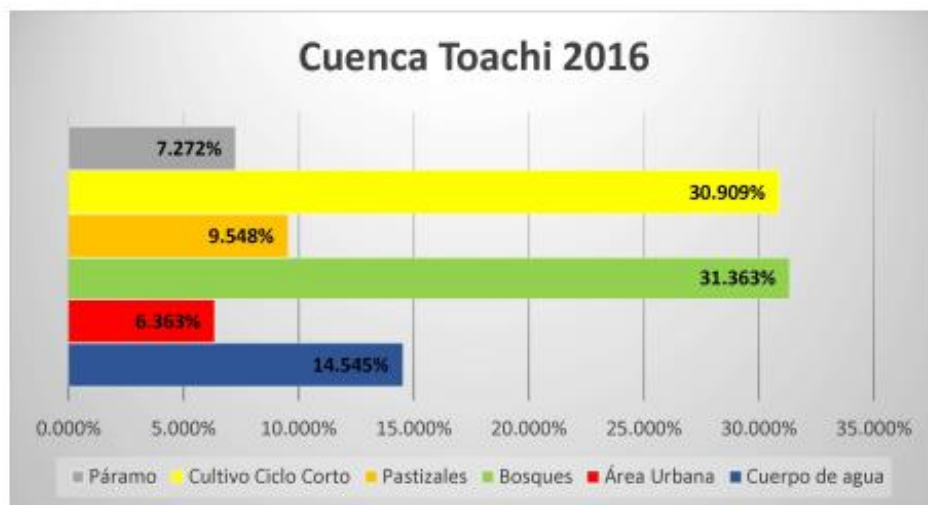


Figura 16. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2002 con ERS-1

Cambios de cobertura y uso del suelo

Leyenda	
Cuerpo de agua	7.964%
Área Urbana	3.539%
Bosques	38.938%
Pastizales	7.964%
Cultivo Ciclo Corto	38.053%
Páramo	3.539%

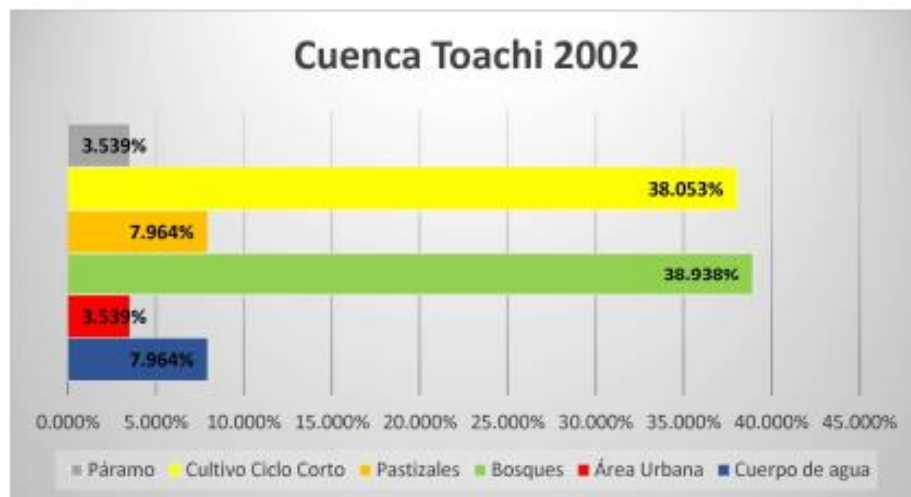
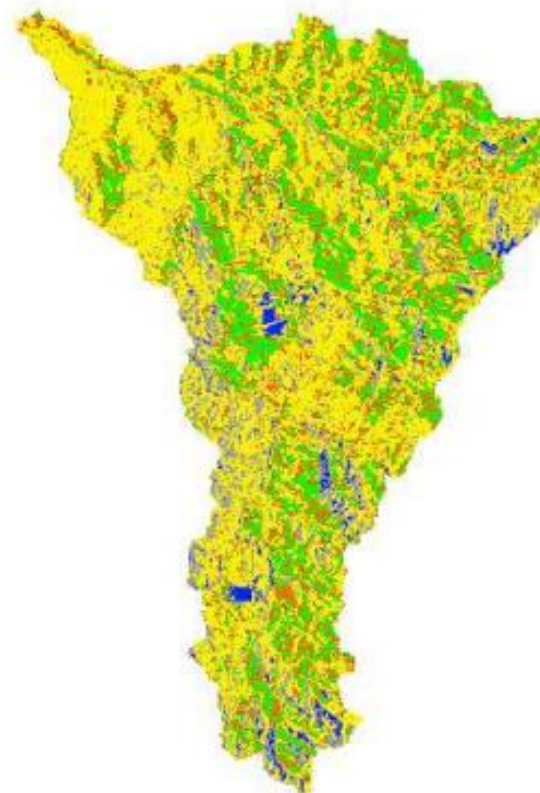
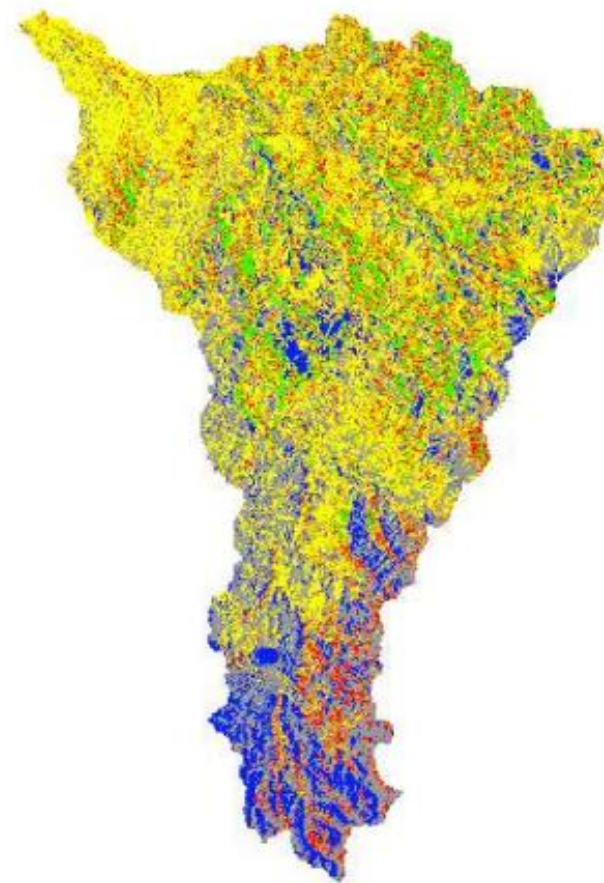


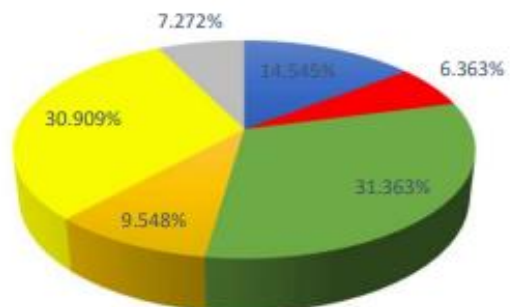
Figura 17. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2016 con Sentinel-1

Cambios de cobertura y uso del suelo

Leyenda	
Cuerpo de agua	14.545%
Área Urbana	6.363%
Bosques	31.363%
Pastizales	9.548%
Cultivo Ciclo Corto	30.909%
Páramo	7.272%



Cuenca Toachi 2016



■ Cuerpo de agua ■ Área Urbana ■ Bosques ■ Pastizales ■ Cultivo Ciclo Corto ■ Páramo

Figura 18. Mapa de cambios en la cuenca del rio Toachi 2002 con ERS-1

Cambios de cobertura y uso del suelo

Leyenda	
Cuerpo de agua	7.964%
Área Urbana	3.539%
Bosques	38.938%
Pastizales	7.964%
Cultivo Ciclo Corto	38.053%
Páramo	3.539%

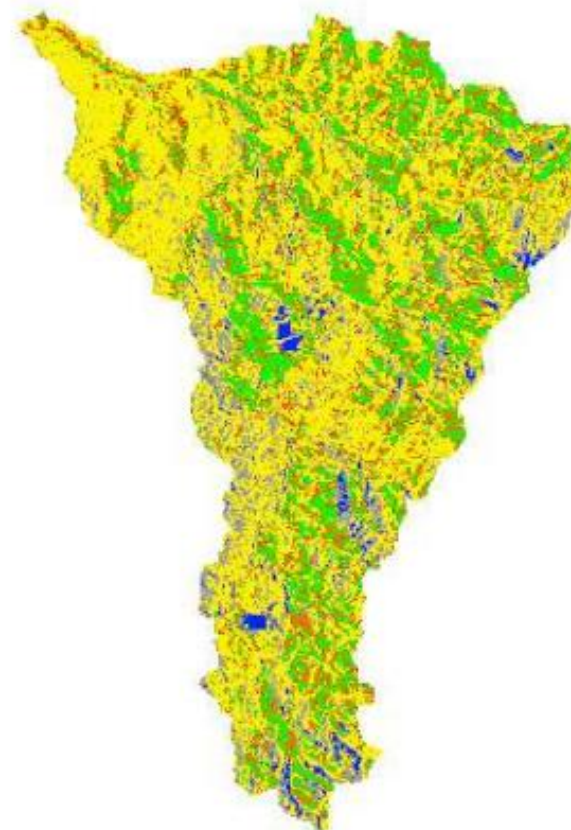
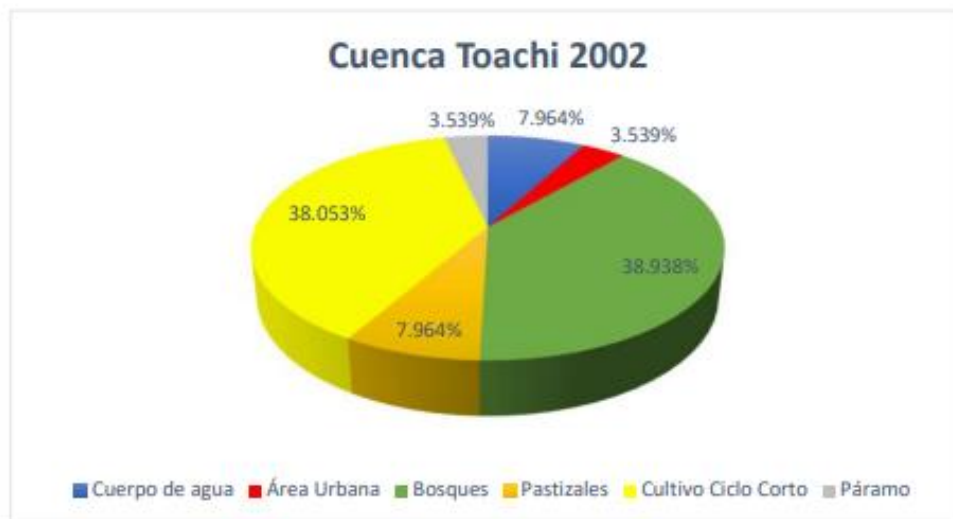


Figura 19. Resultado cobertura cuenca Toachi Sentinel-1

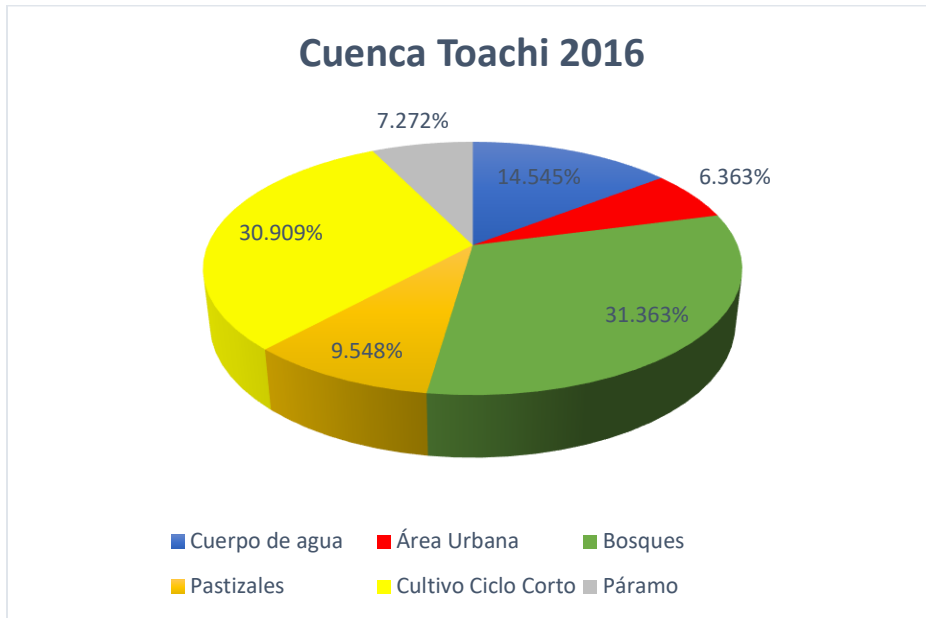


Figura 20. Resultado cobertura cuenca Toachi ERS-1

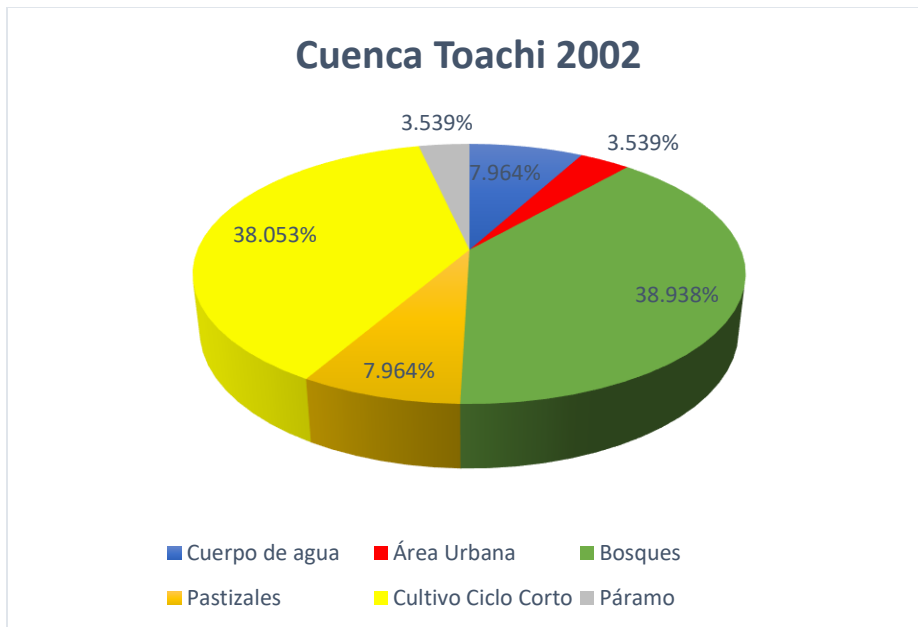


Figura 21. Cobertura Toachi 2002 ERS-1

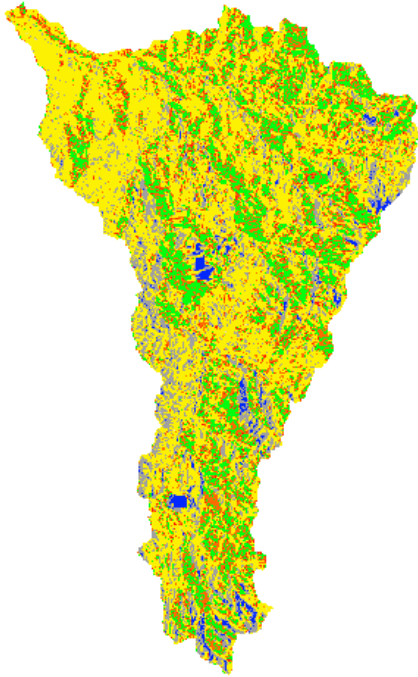


Figura 22. Cobertura Toachi 2016 Sentinel-1

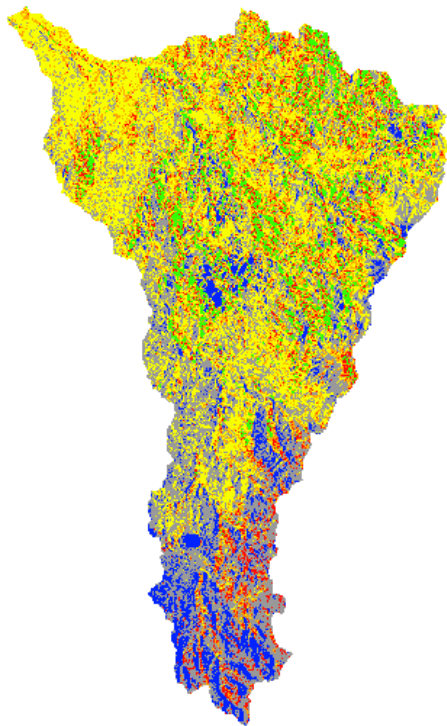


Figura 23. Creación de clasificación de reporte

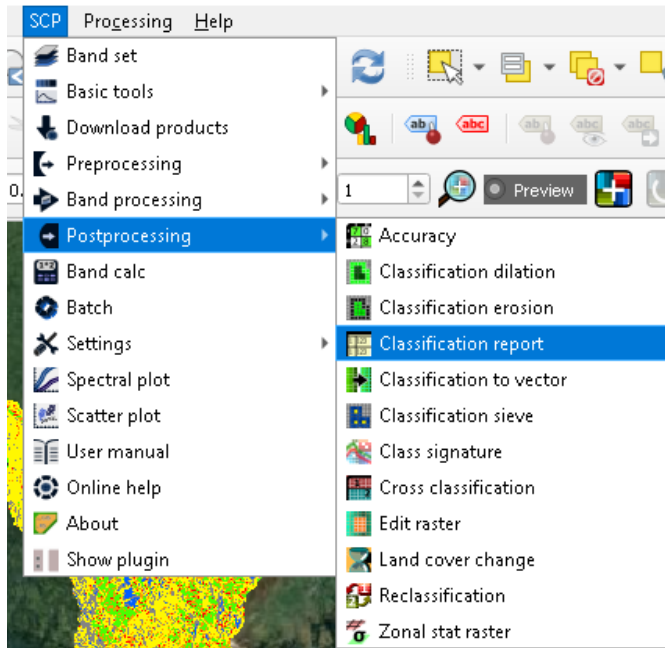


Figura 24. Creación de training input

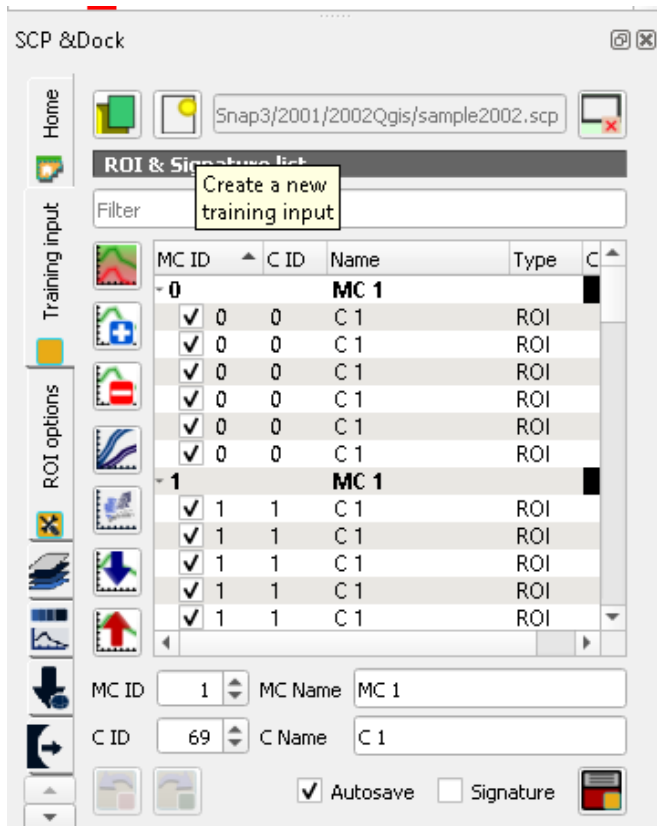


Figura 25. Agregar banda para crear los puntos ROI

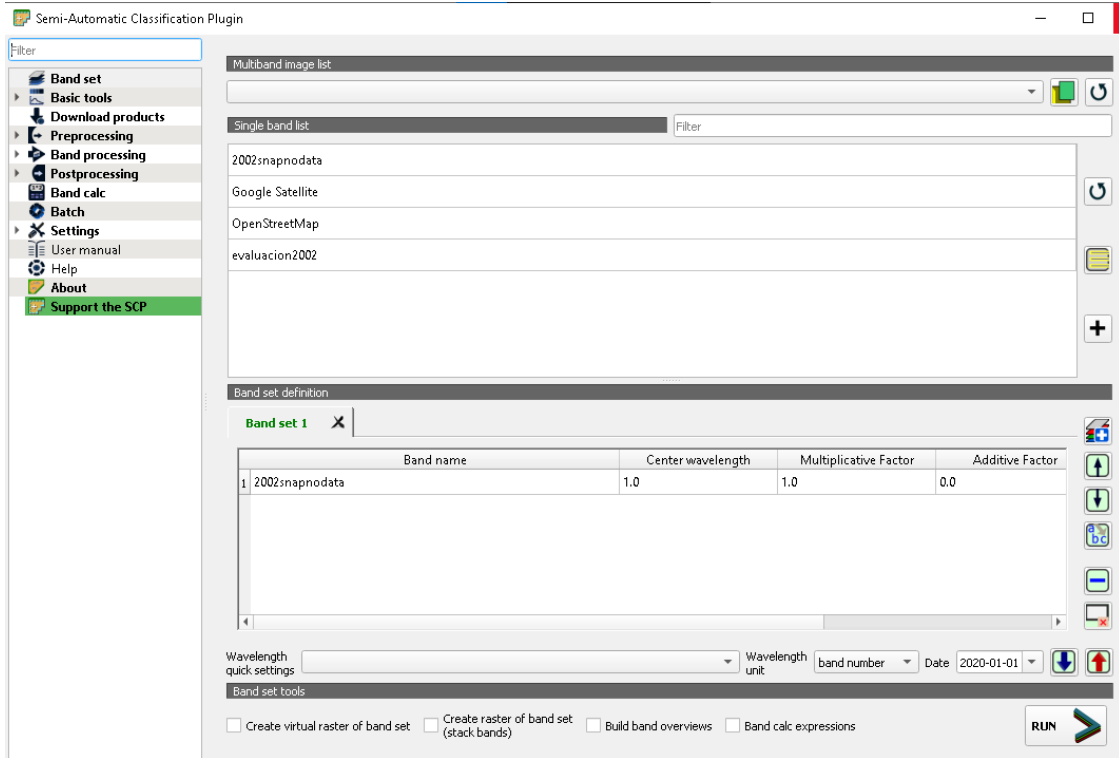


Figura 26. Crear puntos ROI

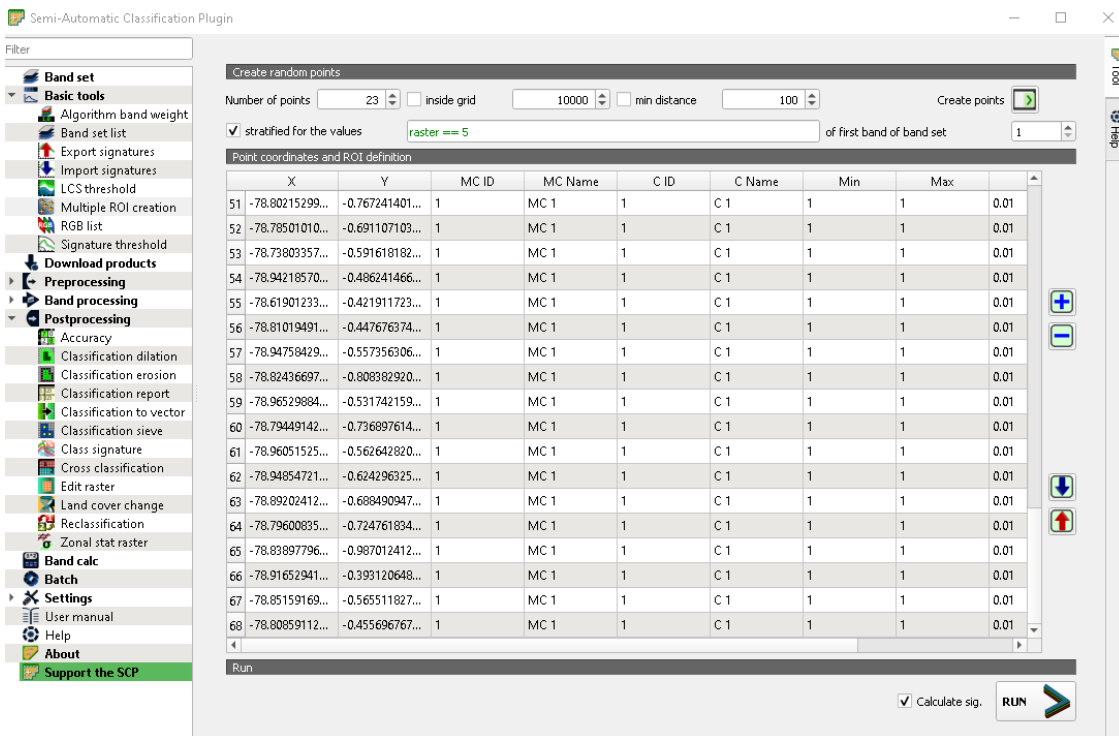


Figura 27. Proceso evaluación de precisión

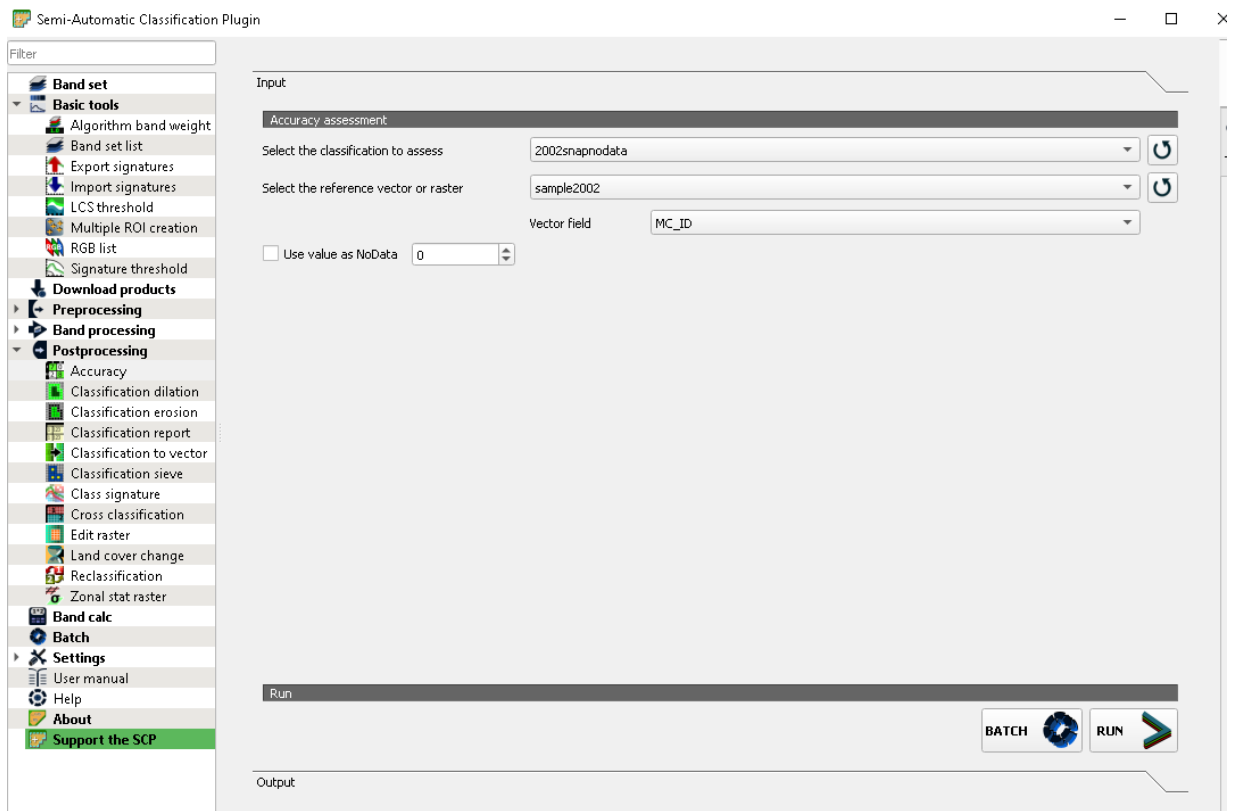


Figura 28. Resultado evaluación de precisión Sentinel-1 2016

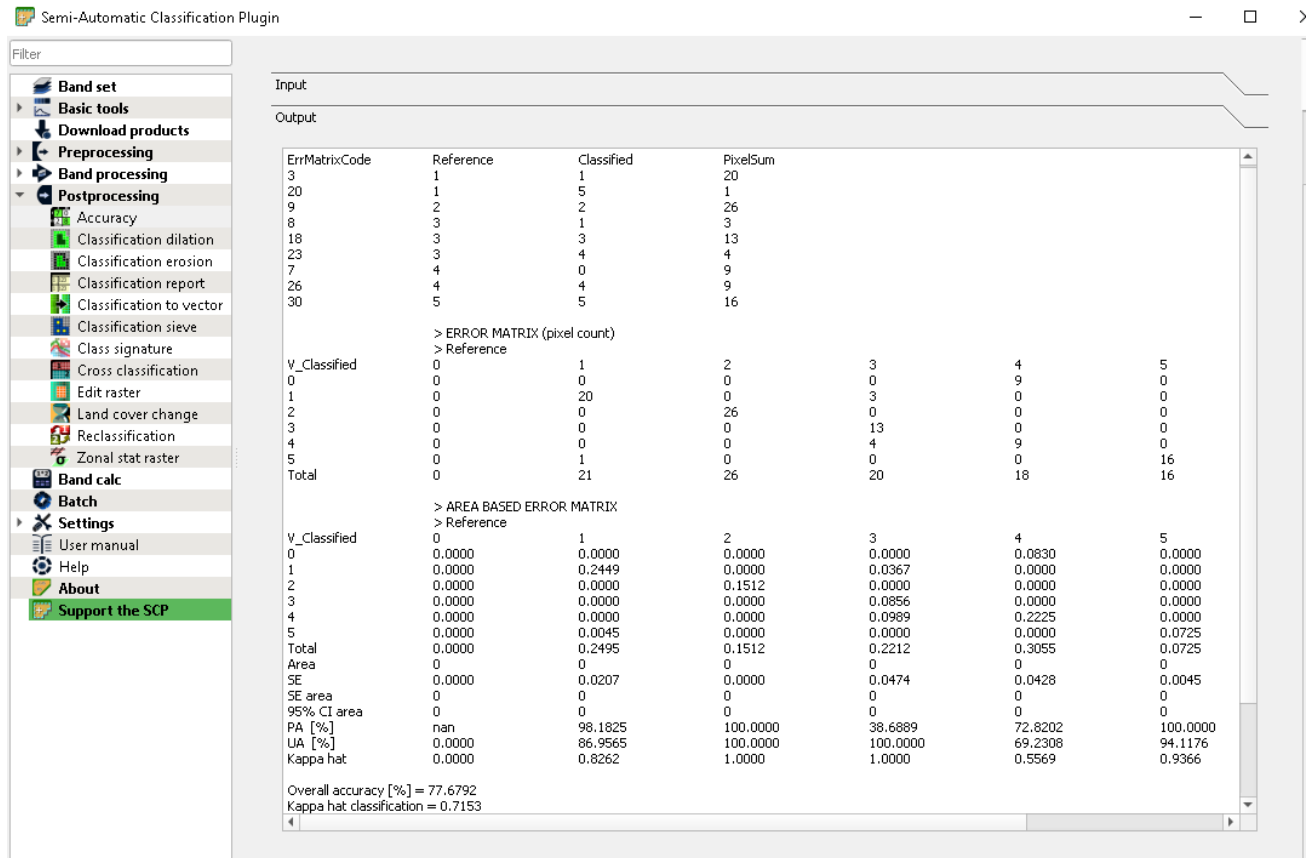


Figura 29. Resultado evaluación de precisión ERS 2002

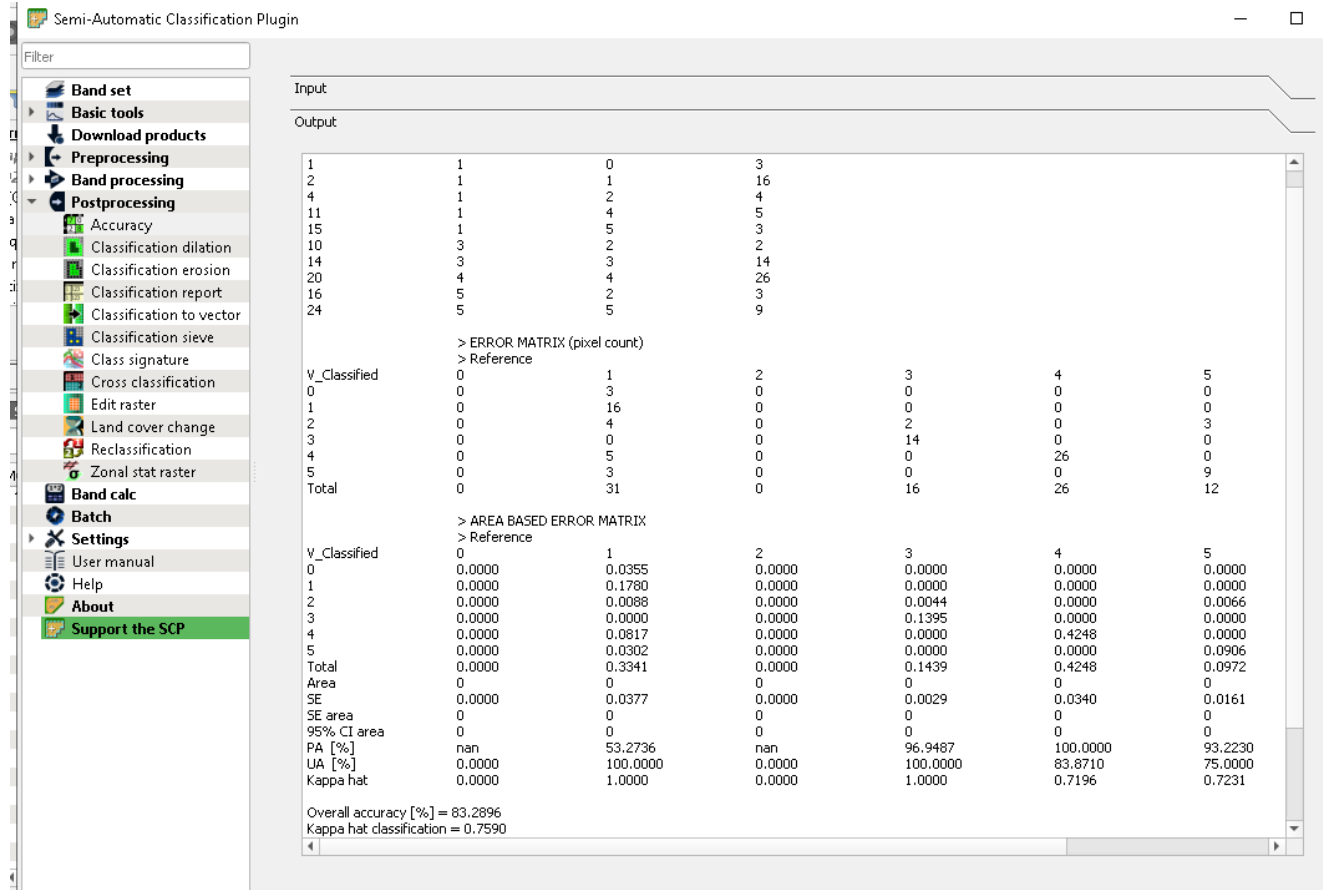


Figura 30. Aumento de infiltración y escorrentía en cuenca del río Toachi durante 2002 al 2016.

