



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

**MANABÍ**

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
SEDE MANABÍ  
INGENIERIA HIDRAULICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**  
“ESTIMACIÓN DE LA DEFORESTACIÓN CON RADARES DE  
APERTURA SINTÉTICA Y SU INFLUENCIA EN LA HIDROLOGÍA:  
APLICACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PILATÓN.”

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**  
GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS  
RECURSOS NATURALES

**SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN**  
HIDROLOGIA

**PREVIO AL TÍTULO DE  
INGENIERO HIDRUALICO**

**AUTORES**  
ELIAN ANTONIO MENDOZA VERA

JESÚS GABRIEL OCAMPO GARCÍA

**TUTOR**  
ING. JIMMY REYES, M.Sc.

PORTOVIEJO, JUNIO 2023

## **Certificación de la Tesis**

Ing. Jimmy Reyes, M.Sc.

Tutor del plan de investigación curricular

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. Jimmy Leandro Reyes Zambrano M.Sc.

C.I. 1313620047

## **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. Jimmy Leandro Reyes Zambrano M.Sc.

Presidente del tribunal

(F)\_\_\_\_\_

Ing. José Ramón Alarcón Looor M.Sc.

Primer Lector

(F)\_\_\_\_\_

Ing. Jhon Enrique Félix Mera M.Sc.

Segundo Lector

## 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 la 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.

Autor:

F. \_\_\_\_\_

Elian Antonio Mendoza Vera  
Dirección: Chone, Ciudadela Rosario 2  
E-mail: emendoza5612@pucesm.edu.ec  
Celular: 0967750180

F. \_\_\_\_\_

Jesús Gabriel Ocampo García  
Dirección: Chone, Ciudadela los Naranjos 1  
E-mail: jocampo1935@pucesm.edu.ec  
Celular: 0963251987

### **Declaración de Derecho del 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.

Autor:

F. \_\_\_\_\_  
Elían Antonio Mendoza Vera  
C.I. 1313825612

F. \_\_\_\_\_  
Jesús Gabriel Ocampo García  
C.I. 1314641935

## **Dedicatoria y Agradecimiento**

Quiero empezar mi agradecimiento con las personas que con su esfuerzo y entrega hicieron todo lo posible para poder cumplir esta meta que tanto anhelaba, querido Fernando Ocampo y Patricia García, son mis dos más grandes ejemplos, le agradezco a la vida por premiarme con dos padres excelentes, quiero darles las gracias por todo su apoyo en esta etapa de mi vida, gracias por toda la confianza que han depositado en mí, este logro no se podría haber concretado sin su apoyo fundamental, gracias por todas esas palabras de ánimos, por alegrarse por mis logros y no abandonarme en mis tropiezos, gracias por todo, este logro también les pertenece a ustedes. Este logro también va para mi hermana Lupita, que es quien me inspira a salir adelante para ser un gran ejemplo de vida para ella.

Quiero dedicarle y agradecerle también a mi novia Luisa Solórzano, que fue un soporte incondicional para poder cumplir este logro, le agradezco por todas las palabras de aliento que me ayudaban a no desistir, gracias por preocuparse por cómo me iba en la universidad, por ayudarme y por permanecer a mi lado en los momentos más duros y cansados. Este logro también le pertenece, porque sin su amor y paciencia hubiera sido de esta meta más difícil.

Por último, pero no menos importante quiero agradecerle a mi familia en general, abuelos, tíos, primos, y amigos cercanos, gracias por creer en mí. Asimismo, agradecer a Jossue y Elian mi equipo de trabajos universitarios, ellos hicieron también de la universidad algo más fácil, estoy feliz de que me haya encontrado con compañeros como ustedes y poder compartir este proceso juntos.

## **Dedicatoria y Agradecimiento**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia y amigos, cuyas contribuciones resultaron invaluable en esta etapa de mi vida académica. Sus palabras de aliento, apoyo emocional y comprensión desempeñaron un papel esencial para superar los desafíos y alcanzar esta importante meta.

En particular, deseo extender un agradecimiento especial a Betsabé, cuya presencia inquebrantable y apoyo incondicional fueron mi refugio en los momentos más cruciales. Su luz iluminó mis días oscuros y su apoyo constante se ha convertido en un tesoro incalculable a lo largo de este viaje.

Asimismo, quiero reconocer a Jesús y Edgar, mis amigos más cercanos y compañeros de equipo durante casi toda la carrera, les extiendo mi gratitud. Nuestra eficiente colaboración y amistad hicieron que este viaje académico fuera aún más significativo.

A Hilary, con quien forjé una bonita amistad, agradezco su apoyo y los momentos compartidos.

Finalmente, dedico un agradecimiento especial a mí mismo por no rendirme y perseverar hasta el final de esta carrera. Este logro es también un testimonio de mi propia dedicación y esfuerzo.

Gracias a todos por ser parte de este importante capítulo en mi vida.

## Resumen

Este estudio cuantitativo tuvo como objetivo estimar la deforestación en la cuenca hidrográfica del río Pilatón mediante el uso de imágenes satelitales para observar su influencia en la hidrología. Realizado entre junio y julio de 2023, este estudio de alcance exploratorio recolectó datos de los años 2016, 2018 y 2023 utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) e imágenes de radares de apertura sintética (*SAR*, por sus siglas en inglés), y realizó un análisis comparativo de la cobertura de la zona entre los años 2018 y 2023 utilizando el *software Sentinel Application Platform (SNAP)*. Los resultados del proyecto Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada (RAISG) ecuatoriano indican que, en 2016, el área de bosque en la cuenca abarcaba 345,38 km<sup>2</sup>, representando el 67,029% de la zona. En 2018, esta área aumentó a 346,38 km<sup>2</sup>, lo que equivale al 67,30% de la zona, mostrando un incremento del 0,270% en dos años. Los resultados del análisis comparativo identifican una significativa reducción en la deforestación, considerando que, esta cubre un área de 11,234 km<sup>2</sup> en 2023, mientras que cubría 13,425 km<sup>2</sup> en 2018. Estos hallazgos determinan que los caudales del RAISG ecuatoriano, han tenido un incremento del 29,97% en el transcurso de 2 años, mientras que los caudales del *SNAP* han mostrado un incremento de 48,21% en la cuenca del río Pilatón entre 2018 y 2023. Se recomienda el uso de banda tipo L para este modelo de investigaciones, ya que atraviesa mejor la cobertura vegetal de la superficie.

*Palabras clave:* deforestación, Pilatón, caudales, cuenca

## Abstract

This quantitative research paper aimed to estimate deforestation in the *Pilatón* River watershed by using satellite imagery to monitor its impact on hydrological processes. Thus, this exploratory research study was conducted from June through July 2023, so that data were collected from Geographic Information Systems (GIS) and synthetic aperture radar (SAR) images for the years 2016, 2018 and 2023; a comparative analysis of forest cover of this area between 2018 and 2023 was conducted, by using the Sentinel Application Platform (SNAP) software. The findings from the Ecuadorian Amazon Network of Georeferenced Socio-environmental Information (*RAISG*, for its initials in Spanish) Project show that in 2016, the forest area in this watershed covered 345.38 km<sup>2</sup>, which represents 67.029% of the area. In 2018, the forest cover increased to 346.38 km<sup>2</sup>, corresponding to 67.30% of the area with a 0.270% increase in two years. The comparative analysis identifies that deforestation has a significant reduction by covering an area of 11,234 km<sup>2</sup> in 2023, while it covered an area of 13,425 km<sup>2</sup> in 2018. These findings point out that the Ecuadorian *RAISG* flows have had a 29.97% increase during those two years, while the SNAP flows have shown a 48.21% increase in the *Pilatón* River watershed between 2018 and 2023. Using the L-band for this research model is recommended, as it has the capability to penetrate vegetation cover surface.

*Keywords:* deforestation, *Pilatón*, flows, basin

## Índice

Certificación de la Tesis.....	i
Aprobación del Tribunal .....	ii
Declaración de Originalidad .....	iii
Declaración de Derecho del Autor.....	iv
Dedicatoria y Agradecimiento .....	v
Dedicatoria y Agradecimiento .....	vi
Resumen.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Abstract .....	viii
Índice de Figuras .....	12
Índice de Tablas .....	14
Índice de Fórmulas .....	14
Introducción .....	16
Objetivos .....	19
Objetivo General .....	19
Estimar la deforestación mediante la utilización de radares de apertura sintética banda L (SAR-L), con la finalidad de observar su influencia en la hidrología. ....	19
Objetivos Específicos.....	19
Metodología .....	20
Tipo de Investigación.....	20
Características de la Zona.....	20
Ubicación Geográfica .....	20

<i>Generación de los mapas de usos de tierra y deforestación basado en la información de los SAR-L y RAISG ecuatoriano.</i> .....	21
Información empleada en la Construcción del Modelo .....	22
Métodos empleados .....	22
Recolección de datos .....	23
Radares de apertura sintética .....	23
Banda tipo C.....	24
Banda tipo L.....	24
Proceso.....	25
Análisis y contraste de la precisión de resultados (post-procesamiento) de los mapas SAR-L y RAISG ecuatoriano. ....	26
Importancia de la precisión de datos .....	26
Proceso.....	26
Evaluación de la potencial influencia de la deforestación sobre la generación de escorrentía. ....	26
Condiciones Climatológicas.....	26
Caracterización de la cuenca del río Pilatón.....	28
Modelación Hidrológica .....	34
Resultados .....	39
<i>Generación de los mapas de usos de tierra y deforestación basado en la información de los SAR-L y RAISG ecuatoriano.</i> .....	39

Análisis y contraste de la precisión de resultados (post-procesamiento) de los mapas SAR-L y RAISG ecuatoriano. ....	41
<i>Evaluación de la potencial influencia de la deforestación sobre la generación de escorrentía.</i> .....	45
Discusión.....	50
Conclusiones .....	53
Recomendaciones.....	54
Bibliografía .....	55
Anexos .....	60

## Índice de Figuras

Figura 1: Localización de la cuenca del río Pilatón .....	21
Figura 2: Cuenca del río Pilatón año 2016 y 2018 (RAISG ecuatoriano) .....	39
Figura 3: Cuenca del río Pilatón año 2018 y 2023 SNAP .....	40
Figura 4: Cuenca del río Pilatón discretizada en HEC-HMS .....	45
Figura 5: Localización de la zona de estudio y descarga del DEM desde la web de la ASF .....	60
Figura 6: Importación del DEM previamente descargado para la zona de estudio .....	60
Figura 7: Delimitación y recorte de la cuenca de interés .....	61
Figura 8: Calibración y corrección de distorsiones en las imágenes satelitales del SAR. 61	
Figura 9: Aplicación del filtro RGB en la imagen del SAR .....	62
Figura 10: Clasificación de cobertura vegetal principal y secundaria, cuerpos de agua y deforestación en la imagen del SAR .....	62
Figura 11: Resultado en valores de la clasificación de cobertura vegetal principal y secundaria, cuerpos de agua y deforestación de la imagen del SAR .....	63
Figura 12: Resultados de la clasificación de cobertura vegetal principal y secundaria, cuerpos de agua y deforestación mostrados en la imagen del SAR .....	63
Figura 13: Imagen de la capa de cobertura del RAISG ecuatoriano 2016 en el ArcMap sin simbología de colores.....	64
Figura 14: Cobertura del RAISG ecuatoriano año 2016 con su simbología de colores ...	64
Figura 15: Imagen de la capa de cobertura RAISG ecuatoriano 2018 en el ArcMap sin simbología de colores.....	65
Figura 16: Cobertura del RAISG ecuatoriano año 2018 con su simbología de colores ..	65

Figura 17: Imagen de la capa de cobertura Snap 2018 en el ArcMap sin simbología de colores .....	66
Figura 18: Cobertura de Snap año 2018 con su simbología de colores .....	66
Figura 19: Imagen de la capa de cobertura Snap 2023 en el ArcMap sin simbología de colores .....	67
Figura 20: Cobertura de Snap año 2023 con su simbología de colores .....	67
Figura 21: Hietograma de diseño con un periodo de retorno para 2 años.....	68
Figura 22: Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del RAISG ecuatoriano 2016 .....	68
Figura 23: Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del RAISG ecuatoriano 2018 .....	69
Figura 24: Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del SNAP 2018.....	69
Figura 25: Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del SNAP 2023 .....	70

## Índice de Tablas

Tabla 1: Características de los archivos DEM empleados .....	22
Tabla 2: Localización de la estación meteorológica M0362, Las Pampas .....	27
Tabla 3: Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1991 hasta el 2013 .....	28
Tabla 4: Coeficientes de escorrentía .....	35
Tabla 5: Grupos hidrológicos del suelo (SCS).....	36
Tabla 6: Números de Curvas para zonas urbanas .....	37
Tabla 7: Porcentaje de la cobertura y uso del suelo RAISG ecuatoriano año 2016.....	41
Tabla 8: Porcentaje de la cobertura y uso del suelo RAISG ecuatoriano año 2018.....	42
Tabla 9: Porcentaje de la cobertura y uso del suelo Snap ASF año 2018.....	43
Tabla 10: Porcentaje de la cobertura y uso del suelo Snap ASF año 2023 .....	44
Tabla 11: Parámetros morfométricos de las subcuencas del río Pilatón .....	46
Tabla 12: Parámetros del curso de agua.....	46
Tabla 13: Número de curva para cada sub cuenca RAISG ecuatoriano 2016 & 2018 .....	47
Tabla 14: Número de curva para cada sub cuenca Snap 2018 & 2023.....	47
Tabla 15: Caudales máximos para cada modelo implementado en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años .....	49

## Índice de Fórmulas

Fórmula 1: Media estadística .....	29
Fórmula 2: Desviación estándar.....	30
Fórmula 3: Moda estadística .....	30
Fórmula 4: Característica estadística .....	31

Fórmula 5: Ponderación estadística .....	31
Fórmula 6: Altura de lluvia máxima diaria .....	31
Fórmula 7: Lluvia máxima horaria .....	32
Fórmula 8: Analítica para construir la ecuación de intensidad .....	32
Fórmula 9: Modelo de regresión múltiple.....	33
Fórmula 10: Tiempo de concentración mediante Kirpich.....	33
Fórmula 11: Modelo Muskingum Cunge.....	34
Fórmula 12: Potencial de máxima retención.....	36

## Introducción

Las palabras deforestación e hidrología forman parte de un abanico de tópicos actuales ampliamente investigados por la comunidad científica. De acuerdo con (Calder et al., 2007), en muchas regiones del mundo, el uso indebido del agua y la contaminación están amenazando cada vez más el suministro y la calidad de la misma. En general, se considera que los bosques tienen un gran impacto en cuanto a la disponibilidad y calidad de los recursos hídricos. Además, el cambio climático altera la función reguladora de los flujos de agua ejercida por los bosques y condiciona la disponibilidad de los recursos hídricos.

Según (Manson, 2004), este puede ser uno de los desafíos ambientales más importantes que enfrentará la humanidad en el nuevo siglo, debido a una crisis grave provocada por una mala gestión de los recursos. El problema se ve agravado por las altas tasas de deforestación y pérdida de servicios hidrológicos en los bosques y selvas del mundo. Por lo tanto, cuando consideramos los problemas actuales del agua, así como la deforestación, nos damos cuenta de que estos problemas ya no pueden ser ignorados. (García Marín, 2016) nos indica que esto se debe en gran medida al impacto humano existente en la relación agua-bosque, misma que es importante para asegurar el bienestar de las futuras generaciones en este planeta.

En Ecuador, aproximadamente 65 ecosistemas forestales son reconocidos por su importante papel en la conservación de la biodiversidad, la regulación del agua, la protección del suelo y la mitigación del cambio climático (Mogrovejo Jaramillo, 2017). De acuerdo con la (FAO,2012), los bosques tienen el potencial de absorber la décima parte de las emisiones globales proyectadas en la primera mitad de este siglo y almacenarlas en sus biomásas y suelos.

Posteriormente también la (FAO,2022) destaca la capacidad de los bosques al momento de producir biomasa para la generación de energía, que, si se gestiona adecuadamente, puede ser una opción de producción de energía más respetuosa con el medio ambiente con respecto a los combustibles fósiles. Luego también tenemos la sensibilidad de los bosques al cambio climático, que se convierte en un indicador clave para las posibles alteraciones que puedan producirse. Finalmente, otra de las funciones de los bosques es su capacidad para actuar como sumideros naturales de carbono, sin embargo, cuando los bosques son degradados o deforestados, liberan grandes cantidades de carbono a la atmósfera, lo que representa casi una sexta parte de las emisiones globales de carbono.

En el Ecuador tanto las tasas de deforestación como la de deforestación absoluta son anómalas de la dimensión relativa de la deforestación: este quiere decir que su afectación se verá afectada fuertemente por el área del cantón y la remanencia del bosque. Enfocándonos en la zona de la costa central del país, los valores de deforestación son elevadas, ya que cuentan con niveles de remanencia bajos. En la década de los 90s, los cantones que sufrieron índices de deforestación más alta que el resto del país fueron: Esmeraldas-Santo Domingo-Guayaquil y Santo Domingo-Portoviejo. Para el intervalo de tiempo del 2000 al 2008, la costa siguió superando los índices de deforestación en comparación con resto del país (Sierra, 2013).

La Red Amazónica de Información Socioambiental Georreferenciada por sus siglas (RAISG), es una red que nos permite intercambiar y colaborar información socio ambiental georreferenciada. Esta plataforma dio su apertura en el año 1996, y desde ese entonces se ha planteado como principal objetivo “estimular y facilitar la cooperación entre instituciones que ya trabajan con sistemas de información socio ambiental georreferenciada”, esto utilizando procesos

acumulativos, descentralizado y público de intercambio, producción y difusión de información (López A et al., 2013).

Los radares de apertura sintética son dispositivos los cuales están colocados a bordo de un vehículo ya sea aéreo, o espacial, el cual hace un recorrido de trayectoria rectilínea a cierta altura sobre el nivel del suelo, estos están conformados por un haz de antena, el cual proyecta en un determinado ángulo sobre la trayectoria que recorre el radar. Mediante todo su trayecto va recopilando muestras de la superficie terrestre sobre la cual está circulando. Toda la información recopilada es digitalizada, almacenada y finalmente procesada, una vez hecho esto se generan las imágenes satelitales de los terrenos superficiales (Zozaya, 2016)

La presente investigación influye de manera importante en la determinación de la diversidad del paisaje, así como la representación con la que se encuentra estructurada el ecosistema en el área de estudio (Álava y Aracely, 2015). El estudio se enfoca en determinar cómo influye la deforestación en la cuenca hidrográfica, así como la precisión de los resultados de las imágenes satelitales con el RAISG ecuatoriano.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Estimar la deforestación mediante la utilización de radares de apertura sintética banda L (SAR-L), con la finalidad de observar su influencia en la hidrología.

### **Objetivos Específicos**

- Generar los mapas de usos de la tierra y de deforestación basados en la información de los SAR-L y RAISG ecuatoriano.
- Analizar y contrastar la precisión de resultados (post-procesamiento) y compararlos con resultados de mapas SAR-L y RAISG ecuatoriano.
- Evaluar la potencial influencia de la deforestación sobre la generación de escorrentía.

## **Metodología**

### **Tipo de Investigación**

El presente proyecto es de carácter investigativo, debido a que se van a considerar las posibles causas de la deforestación y su influencia en la hidrología. Para esto es necesario que primero sepamos diferenciar entre imágenes crudas, semicrudas y procesadas, debido a que se realizará una interpretación y análisis de imágenes o productos generados que por lo general se los conoce como mapas temáticos. Aunque estos datos generados por el sistema SAR son de alta resolución y se utilizan para crear dichos mapas, lo recomendable es que generemos nuestros propios productos debido a que estos suelen tener incertidumbre en cuanto a datos de los cambios producidos en los bosques (Giler, 2022).

De acuerdo con (CORDIS, 2016), la realización de nuestros mapas temáticos es importante porque incrementan el conocimiento disponible sobre las alteraciones forestales en zonas específicas, permitiendo ubicarlas sobre el terreno, y sobre la antigüedad de los cambios en cuestión. Esto último debido a que pueden compararse con indicios de los servicios de inteligencia o con pruebas circunstanciales obtenidas en colaboración con socios locales.

### **Características de la Zona**

La zona de estudio fue la cuenca del río Pilatón, perteneciente al cantón Santo Domingo, de la provincia Santo Domingo de los Tsáchilas (ver figura 1)

### ***Ubicación Geográfica***

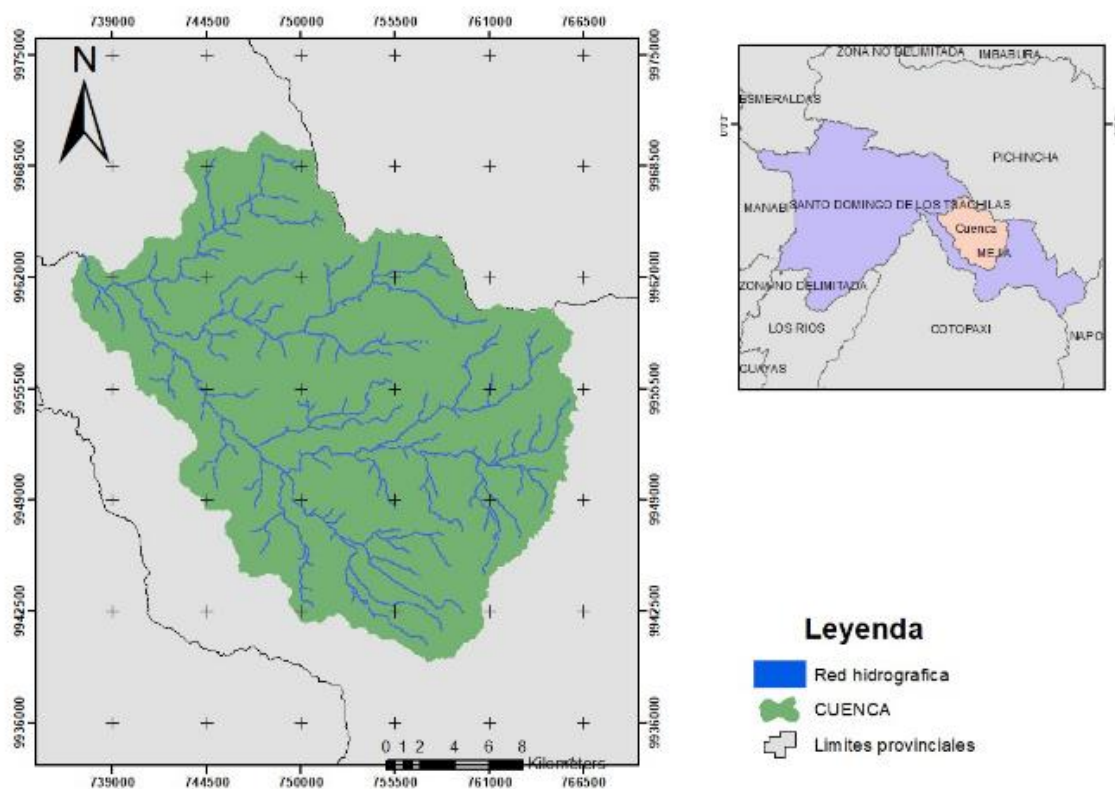
Datum: WGS 1984 UTM zona 17 S.

Coordenada Este (X): 726406,015

Coordenada Sur (Y): 9952665,342

**Figura 1**

*Localización de la cuenca del río Pilatón.*



**Fuente:** Autor

*Generación de los mapas de usos de tierra y deforestación basado en la información de los SAR-L y RAISG ecuatoriano.*

En la presente investigación para obtener los mapas de usos de la tierra usamos lo que se detalla a continuación:

### *Información empleada en la Construcción del Modelo*

El Modelo de Elevación Digital se obtuvo mediante el portal de servidores del EarthExplorer del (USGS), con un tamaño de pixeles de 10m x 10m, así también las imágenes satelitales se consiguieron de la plataforma del ASF Data, y las del RAISG ecuatoriano se encontraron en la base de datos de esta misma institución.

**Tabla 1**

*Características de los archivos DEM empleados.*

<b>Insumo</b>	<b>Institución</b>	<b>Resolución/Escala</b>	<b>Año</b>
DEM Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	USGS	10X10	2020
Imagen Satelital	ASF Data Search	1:60 0000	2018-2023
Mapa Deforestación	Raisg Ecuatoriano	1:60 0000	2016-2018
Cartografía Base	Instituto Geográfico Militar (IGM)	1:60 0000	2020

*Fuente:* Autor

### *Métodos empleados*

Para obtener la escorrentía que se presenta en la cuenca del río Pilatón, se desarrolló un cruce de mapas de la cuenca del río Pilatón, con el apoyo de los Sistemas de Información

Geográfico (SIG), y poder así llevar a cabo la simulación hidrológica en el software HEC-HMS mediante un modelo semi distribuido.

### ***Recolección de datos***

El Modelo de Elevación Digital (DEM) es obtenido de dos plataformas distintas: Earth Explorer y GEO PORTAL. En caso de requerir la corrección de errores presentes en el archivo obtenido de Earth Explorer, es posible recurrir a la plataforma GEO PORTAL para asegurar la precisión al momento de delimitar la cuenca.

Para llevar a cabo nuestra investigación, utilizamos datos generados por el satélite ALOS PALSAR de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA). Este satélite cuenta con tres sensores: el PRISM, que proporciona imágenes pancromáticas; el radiómetro AVNIR; y el radar de apertura sintética PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar). El PALSAR es especialmente destacable debido a su capacidad para adquirir imágenes tanto de día como de noche, sin verse afectado por la presencia de nubes. Esta característica le permite detectar cambios en la topografía y la geología a partir de las señales reflejadas en la superficie terrestre (Podest, 2017).

Para realizar la estimación de la deforestación utilizando radares de apertura sintética en la cuenca del río Pilatón, el primer paso crucial es delimitar la zona de interés. Para este propósito, utilizaremos los programas QGIS y ArcGIS, que nos asegurarán la generación de productos con la precisión necesaria.

### ***Radares de apertura sintética***

Según (Zozaya, 2015), un sistema SAR (Radar de Apertura Sintética) es un tipo de radar instalado en una aeronave o vehículo espacial que se desplaza a una altura predeterminada sobre

el suelo con una velocidad ( $v$ ) a lo largo de una trayectoria recta. La antena del sistema SAR apunta perpendicularmente a la trayectoria y emite un haz que ilumina el suelo con un ángulo de inclinación específico. Durante el movimiento, el sistema almacena muestras de los ecos recibidos desde diferentes posiciones. La combinación de estos ecos permite "sintetizar" una apertura virtual que es considerablemente más larga que la apertura real. Es por esto que se les denomina "Radares de Apertura Sintética".

Los radares de apertura sintética pueden clasificarse según el tipo de banda y longitud de onda, con énfasis especial en los radares de banda tipo C y tipo L. Los datos crudos de SAR, por su parte, consisten en un conjunto de muestras que representan los ecos recibidos por el radar. Estas muestras son organizadas en una matriz, donde cada fila contiene los datos del eco recibido correspondientes a una posición acimutal específica del radar (Zozaya, 2016).

### ***Banda tipo C***

Las ondas de la banda C en el sensor SAR tienen la capacidad de atravesar obstáculos como nubes, niebla, polvo, polución y humo, lo que las hace ideales para monitorear regiones con climas tropicales húmedos y latitudes altas. Sin embargo, es importante señalar que una imagen de SAR tomada con este tipo de banda mostrará una menor intensidad de retrodispersión en las áreas donde la señal se encuentre con fenómenos meteorológicos intensos, como tormentas. Esto se debe a que los núcleos de lluvia y los hidrometeoros presentes en las tormentas pueden debilitar las señales de la banda C (Esri, 2023).

### ***Banda tipo L***

En lo que respecta al tipo de banda en los radares, la banda tipo L es altamente preferida para el funcionamiento de los radares de vigilancia aérea de largo alcance. Esto se debe

principalmente a que estos radares transmiten pulsos de alta potencia, cuentan con un ancho de banda amplio y utilizan una modulación intrapulsada. Estas características permiten que la señal tenga una mayor capacidad de penetración en la vegetación en comparación con otros tipos de bandas, lo que resulta en una mejor recopilación de datos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que a medida que la vegetación se vuelve más densa, la probabilidad de que la señal penetre a través del dosel vegetal disminuye (Podest, 2022).

### ***Proceso***

Para procesar los mapas del ASF Data Search se usó el software Sentinel Application Platform (SNAP), el cual nos facilita el procesamiento de las imágenes satelitales y así poder determinar los respectivos usos de la tierra que se le da a la cuenca del río Pilatón con ayuda de la herramienta informática arcgis. Los años que se procesaron fueron el 2018 y el 2023, dado que no se disponía de datos anteriores a 2018. Como año más reciente, se consideró el 2023.

En cuanto a las imágenes del RAISG ecuatoriano, se obtuvieron mediante una solicitud al Raisg sudamericano, donde especificamos que requeríamos los datos de Ecuador para el estudio, aquí por motivos de falta de imágenes se trabajó con datos del año 2016 y 2018; estas imágenes ya vienen procesadas por el mismo establecimiento.

Las imágenes fueron transferidas al ArcGIS, donde se les asignó la simbología de colores correspondiente a cada uno de los usos del suelo, lo que resultó en la creación de mapas respectivos para cada uno de los años de las instituciones estudiadas.

## **Análisis y contraste de la precisión de resultados (post-procesamiento) de los mapas SAR-L y RAISG ecuatoriano.**

### ***Importancia de la precisión de datos***

Es fundamental considerar el uso del suelo, ya que dependiendo del tipo de superficie que constituye la cuenca hidrográfica, esto influirá en la cantidad de agua que se infiltrará, así como en la posibilidad de causar alteraciones en el ciclo hidrológico del agua. Por lo tanto, es de suma importancia conocer la precisión de los datos procesados, ya que esto nos permitirá obtener resultados óptimos en la simulación (Vásconez et al., 2019).

### ***Proceso***

Para obtener los resultados sobre el uso del suelo en el área de la cuenca del río Pilatón, fue necesario emplear el ArcGIS, ya que las imágenes contenían una gran cantidad de información que no era relevante para este estudio. Con la ayuda de la herramienta informática, utilizamos la función de disolución (dissolve) para consolidar los parámetros de cobertura del suelo, que son el foco principal de nuestro estudio. A partir de la información sobre el uso de la superficie en la cuenca, se obtuvo el porcentaje de actividades empleadas en toda el área de la cuenca del río Pilatón.

### ***Evaluación de la potencial influencia de la deforestación sobre la generación de escorrentía.***

### **Condiciones Climatológicas**

Las condiciones climatológicas en Ecuador están influenciadas por una variedad de factores que pueden alterar su estado natural. Entre estos factores se incluyen la latitud

geográfica, la altitud del terreno, la dirección de las cadenas montañosas, la proximidad al océano, los patrones de viento y las corrientes marinas (Portilla Farfán, 2018).

En el transcurso de esta investigación, los datos de las precipitaciones máximas en 24 horas desde 1991 hasta 2013 desempeñaron un papel crucial. Estos datos fueron fundamentales para comprender los caudales acumulados y escurridos en la cuenca del río Pilatón. Los datos de precipitación fueron recopilados de los anuarios meteorológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). La estación meteorológica utilizada para la extracción de datos fue la M0362, la cual se encuentra más cercana a la zona de estudio y dispone de una mayor cantidad de registros meteorológicos.

## **Tabla 2**

*Localización de la estación meteorológica M0362, Las Pampas*

<b>Codigo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Coordena da X</b>	<b>Coordena da Y</b>
M0362	Las Pampas	726406,02	9952665,3

*Fuente: Autor*

Al vincular los datos de intensidad de lluvia con los de precipitaciones máximas en 24 horas, pudimos determinar la intensidad que provocó el máximo evento de precipitación.

**Tabla 3**

*Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1991 hasta el 2013.*

<b>Año</b>	<b>Precipitación (mm) Máxima 24 horas</b>
1991	66,3
1996	74.8
1997	59.7
1999	79
2002	80.8
2003	80
2004	55
2006	62
2007	47.2
2008	64.8
2010	59.7
2011	61.4
2012	59.9
2013	62.9

*Fuente: INAMHI, 2023.*

Es importante destacar que no todos los años cuentan con datos de precipitaciones máximas en esa estación, por lo que no se encuentran de forma secuencial.

### ***Caracterización de la cuenca del río Pilatón***

La cuenca del río Pilatón pertenece a la cuenca hidrográfica Esmeraldas, donde se establecieron sus parámetros morfométricos, esto se realizó con el apoyo del software HEC-HMS, considerando un umbral de 50 km<sup>2</sup> desde el punto de aforo.

### **Área de la Cuenca.**

Es el área de drenaje de un sistema de escorrentía, la cual es dirigida de forma directa o indirecta a un mismo cauce natural, esta se proyecta de manera horizontal en toda la superficie y es expresada en kilómetros al cuadrado (km<sup>2</sup>) (Cardona, 2016).

### **Perímetro de la Cuenca.**

Es toda la extensión que transita la divisoria de agua, este es medido en unidades de longitud (Km) y es proyectada sobre un plano horizontal (Cardona, 2016).

### **Pendiente Media.**

La podemos expresar en unidades de metros sobre metros (m/m), esta hace énfasis en el desnivel del suelo y es obtenida con ayuda de un Modelo de Elevación Digital (DEM) (Cardona, 2016).

### **Tormenta de Diseño.**

Los datos de lluvias intensas en 24 horas provenientes de la estación meteorológica M0362 Las Pampas del INAMHI necesitaban ser convertidos en intensidades. Esto se logró mediante el uso de estadísticas descriptivas, que permitieron la determinación de las curvas IDF y la estimación del tiempo de retardo, como se presenta en las siguientes fórmulas:

#### ***Tratamiento estadístico.***

#### ***Media estadística.***

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

***Fórmula 1. Media estadística.***

**Donde:**

$\bar{x}$  = media.

$x_i$  = conjunto de observaciones.

$n$  = número de observaciones.

**Desviación estándar.**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_1^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

**Fórmula 2.** Desviación estándar.

**Donde:**

$\sigma$  = desviación estándar.

$N$  = número de observaciones.

$x_i$  = observación número  $i$  de la variable  $x$ .

$\bar{x}$  = media.

**Moda Estadística.**

$$Mo = L_{i-a} + a * \frac{D_1}{D_1 + D_2}$$

**Fórmula 3.** Moda estadística.

**Donde:**

$Mo$  = moda.

$L_{i-1}$  = límite inferior de intervalo modal.

$a$  = amplitud de los intervalos.

$D_1$  = diferencia de frecuencia absoluta entre intervalo modal y el anterior.

$D_2$  = diferencia de frecuencia absoluta entre intervalo modal y el siguiente.

**Característica Estadística.**

$$Kd = \frac{\sigma}{0,55721 * Mo}$$

**Fórmula 4.** Característica estadística.

**Donde:**

**Kd** = característica estadística.

**$\sigma$**  = desviación estándar.

**Mo** = moda.

**Ponderación Estadística.**

$$P = \frac{X_1 * P_1 + X_2 * P_2 + \dots + X_n * P_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$

**Fórmula 5.** Ponderación estadística.

**Altura de Lluvia Máxima Diaria.**

$$h_{dt} = Ed_p * (1 + kd_p * \log T)$$

**Fórmula 6.** Altura de lluvia máxima diaria.

**Donde:**

**$h_{dt}$** = altura máxima diaria (mm).

**$Ed_p$** = moda ponderada.

**$kd_p$** = característica ponderada.

**T** = periodo de retorno (años).

***Lluvias Máximas Horarias.***

$$hT_t = Ed_p * \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta * (1 + Kdp * \log T)$$

***Fórmula 7. Lluvia máxima horaria.***

***Donde:***

**$hT_t$** = lluvia máxima horaria (mm).

**$Ed_p$** = moda ponderada.

**$t$**  = tiempo de duración de la lluvia (horas).

**$\alpha$**  = equivalente de lluvia diaria dependiente de la magnitud de la cuenca.

**$\beta$**  = constante que se adopta generalmente en 0.2.

**$kd_p$** = característica ponderada.

**$T$**  = periodo de retorno (años).

***Curvas de Intensidad Duración Frecuencia (IDF).***

En hidrología, la determinación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF) es de vital importancia, ya que nos permite identificar la lluvia en función de su duración y periodo de retorno, además de facilitar la planificación del uso de los recursos hídricos (Gutiérrez-López et al., 2019).

$$I = \frac{k * T^m}{D^n}$$

***Fórmula 8. Analítica para construir la ecuación de intensidad.***

**Donde:**

**I** = intensidad de precipitación (mm/h).

**k, m y n** = constantes calculadas mediante una regresión lineal múltiple.

**T** = periodo de retorno en años.

**D** = duración en horas o minutos.

Se utilizan los siguientes logaritmos para obtener un modelo de regresión múltiple.

$$\log I = \log k + m \log T - n \log D$$

**Fórmula 9.** Modelo de regresión múltiple.

**Tiempo de concentración.**

Este criterio es de suma importancia en nuestra investigación, ya que el tiempo de concentración ( $T_c$ ) nos proporciona información sobre el tiempo que una gota de lluvia tardaría en recorrer desde el punto más distante de la cuenca hasta su punto de salida. Este parámetro se puede calcular utilizando la fórmula de Kirpich (Cardona, 2016). Se usará el método de kirpich debido al fácil acceso de los datos que esta requiere.

$$T_c = 0,02 * L^{0,77} * S^{0,385}$$

**Fórmula 10.** Tiempo de concentración mediante Kirpich.

**Donde:**

**T**= tiempo de concentración (minutos).

**L**= longitud máxima a la salida (m).

**S**= pendiente media del lecho (m/m).

En el desarrollo de la investigación se considerará que la duración del tiempo de concentración será idéntica a la duración de la tormenta hipotética.

### ***Modelación Hidrológica***

Se consideró una modelación hidrológica de la quebrada en el software HEC-HMS, considerando el modelo Muskingum Cunge como metodología para el tránsito de avenidas.

#### **Modelo Muskingum Cunge.**

Es un enfoque hidráulico que utiliza los atributos geométricos del canal, como la pendiente y la forma de la sección transversal. Este método nos dice que, las crecidas en un río se reducen debido a la fricción que se genera entre el lecho del río y la base (Cunge, 1969).

$$k = \frac{\Delta x}{c} \quad X = \frac{1}{2} * \left( 1 - \frac{Q}{B * S_0 * x * \Delta x} \right)$$

***Fórmula 11. Modelo Muskingum Cunge.***

#### **Donde:**

$\Delta x$  = longitud del tramo del cauce considerado (m).

$c$  = celeridad, velocidad (m/s)

$m$  = cerca de 5/3 para cauces naturales amplios.

#### **Factor de Escorrentía.**

El coeficiente de escorrentía ( $c$ ) es un parámetro que representa la proporción del total de lluvia precipitada que fluye como escorrentía superficial una vez que el suelo ha alcanzado su capacidad máxima de absorción. Las características específicas del terreno, como la topografía y

la textura del suelo, también influyen significativamente en la magnitud de este coeficiente, ya que determinan la capacidad de infiltración del agua en el suelo (Ibáñez *et al.* 2011).

**Tabla 4**

*Coefficientes de escorrentía.*

Cobertura del suelo	Tipo de suelo	Pendiente (%)				
		> 50	20 – 50	5 – 20	1 – 5	0 – 1
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,40	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosque, vegetación densa	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Ibáñez *et al.* 2011.

### **Número de Escurrimiento.**

Esta metodología se utiliza para evaluar la capacidad de escorrentía en una cuenca hidrográfica, y su cálculo se basa en la consideración de diversas características físicas del área, como el tipo de cobertura vegetal, su densidad y manejo, así como el grupo hidrológico al que pertenece el suelo. La estimación de la escorrentía se logra mediante el empleo de la siguiente fórmula empírica (Díaz Carvajal y Mercado Fernández, 2017):

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN}$$

**Fórmula 12.** *Potencial de máxima retención.*

**Donde:**

**S** = Potencial de máxima retención (adimensional).

**CN** = Numero de curvas adimensional.

El grupo hidrológico del suelo está catalogado en cuatro grupos (ver tabla 5)

**Tabla 5**

*Grupos hidrológicos del suelo (SCS)..*

<b>Grupo hidrológico del suelo</b>	<b>Infiltración cuando están muy húmedos</b>	<b>Características</b>	<b>Textura</b>
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa; Arenosa-limosa; Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa; Franco-arcillosa-limosa; Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

*Fuente:* Espinales *et al.* 2021.

Para la determinación del Número de Curvas (CN) para las zonas urbanas públicas se utilizó la tabla de los organismos Natural Resources Conservation Service (NRCS), y el Servicio de Concentración del suelo (SCS) (Ver tabla 6).

Tabla 6

*Números de Curvas para zonas urbanas*

Descripción del Uso			Grupo Hidrológico del Suelo			
Uso del Suelo	Promedio área impermeable	Condición Hidrológica	A	B	C	D
<b>Áreas urbanas completamente desarrolladas</b>		Pobre	68	79	86	89
		Media	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
<b>Áreas Impermeables</b>						
Aparcamientos, azoteas, carreteras			98	98	98	98
<b>Calles y Carreteras</b>						
Pavimentadas; cunetas y red de saneamiento			98	98	98	98
Pavimentadas; cunetas abiertas			83	89	92	93
Grava			76	85	89	91
Sucias			72	82	87	89
<b>Zonas ajardinadas xerofitas</b>						
Zonas naturales (solo permeables)			63	77	85	88
Zonas ajardinadas (incluidas zonas impermeables)			96	96	96	96
<b>Zonas Urbanas</b>						
Centros comerciales y de negocios	85%		89	92	94	95
Industrial	72%		81	88	91	93
<b>Zonas residenciales</b>						
0.05ha o menos (2 casas)	65%		77	85	90	92
0.10 ha	38%		61	75	83	87
0.13 ha	30%		57	72	81	86
0.20 ha	25%		54	70	80	85
0.40 ha	30%		51	68	79	84
0.81 ha	12%		46	65	77	82
<b>Áreas Urbanas en desarrollo</b>						
Explanaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA), 1986.

### Respuesta Lluvia Escorrentía.

En el estudio de la relación entre la lluvia y la escorrentía en la cuenca del río Pilatón, se calculó el caudal producido a partir de las precipitaciones ocurridas. Se separó el agua de lluvia

en dos componentes: la precipitación efectiva, que genera flujo superficial. Luego, se analizó una tormenta de diseño para estimar los caudales probables considerando el comportamiento hidrológico y utilizando hidrogramas de diseño con periodos de retorno de 100 años. Para realizar este análisis, se empleó el software HEC-HMS, que permitió estimar el hidrograma unitario del SCS, teniendo en cuenta tanto la precipitación como los parámetros morfométricos de la cuenca.

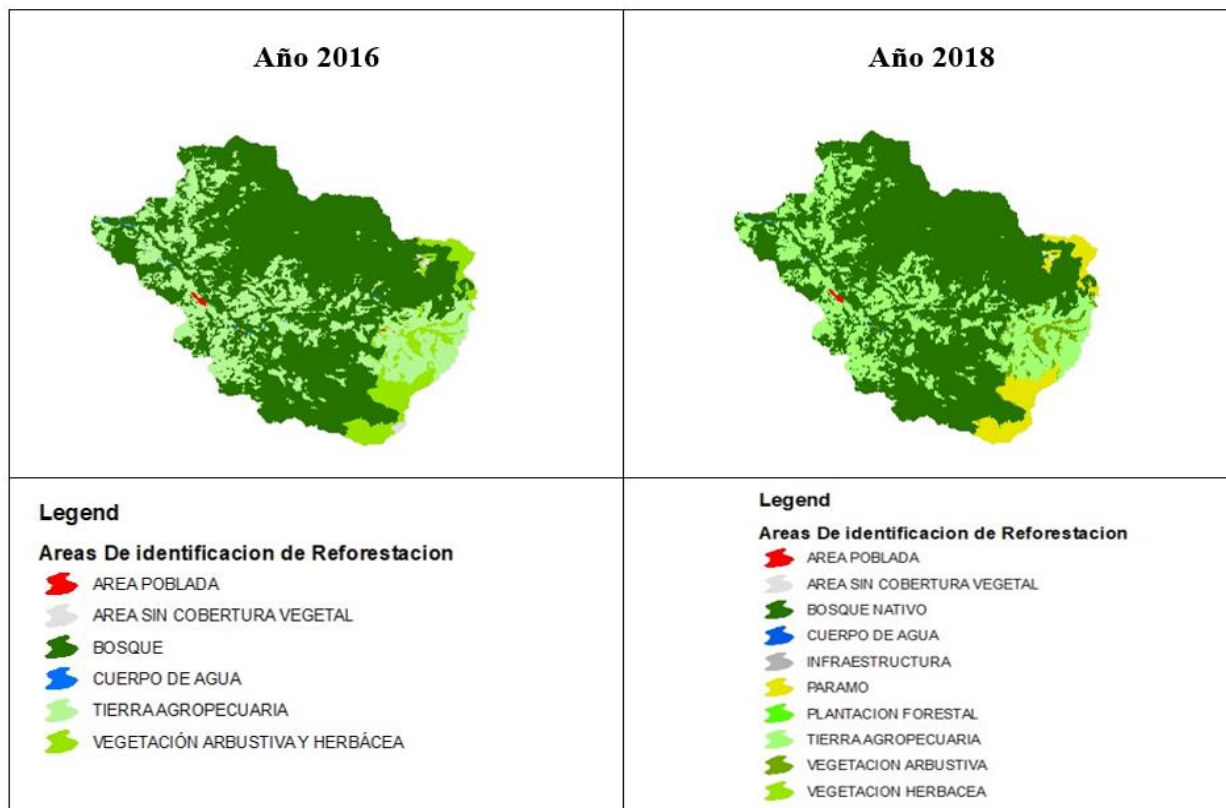
## Resultados

### *Generación de los mapas de usos de tierra y deforestación basado en la información de los SAR-L y RAISG ecuatoriano.*

En la cuenca hidrográfica del río Pilatón, se observa la cobertura de la superficie (ver figura 2), la cual se extrajo de la base de datos informática del RAISG ecuatoriano correspondiente a los años 2016 y 2018. Utilizando estos datos, se calcularán los porcentajes de superficie que cuentan con cobertura vegetal, así como se determinará el uso del suelo correspondiente

### Figura 2

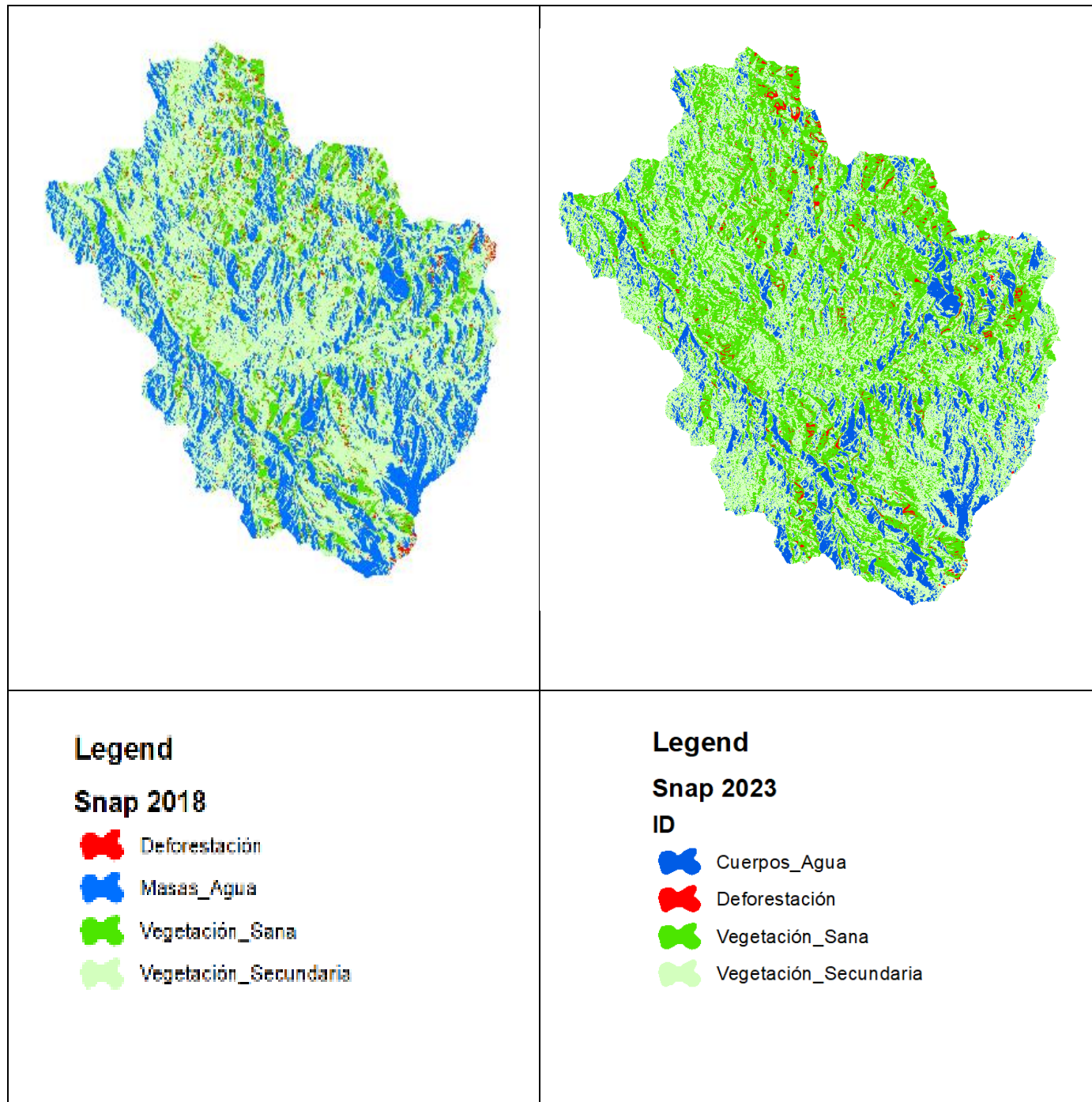
*Cuenca del río Pilatón año 2016 y 2018 (RAISG ecuatoriano)*



*Fuente: Autor*

**Figura 3**

*Figura 3 Cuenca del río Pilatón año 2018 y 2023 (SNAP)*



Fuente: Autor

## **Análisis y contraste de la precisión de resultados (post-procesamiento) de los mapas SAR-L y RAISG ecuatoriano.**

Se obtuvieron los porcentajes de cobertura y uso del suelo a partir de los datos del RAISG ecuatoriano correspondientes al año 2016 (ver tabla 7).

**Tabla 7**

*Porcentaje de la cobertura y uso del suelo RAISG ecuatoriano año 2016*

<b>Cobertura</b>	<b>Raisg Ecuatoriano2016</b>		
	<b>Longitud</b>	<b>Area Km2</b>	<b>% Área</b>
BOSQUE	1143589,05	345,38062	67,029
CUERPO DE AGUA	23160,00	0,685735	0,133
OTRAS TIERRAS	34371,59	2,06898	0,402
TIERRA AGROPECUARIA	1144539,83	130,480198	25,323
VEGETACIÓN ARBUSTIVA Y HEI	235567,44	35,968477	6,981
ZONA ANTRÓPICA	11220,00	0,6858	0,133
<b>Total</b>		<b>515,26981</b>	<b>100</b>

Fuente: Autor

También se obtuvieron los porcentajes de cobertura del suelo y su respectivo uso a partir de los datos del RAISG ecuatoriano correspondientes al año 2018 (ver tabla 8).

**Tabla 8**

*Porcentaje de la cobertura y uso del suelo RAISG ecuatoriano año 2018*

<b>Raisg Ecuatoriano2018</b>			
<b>Cobertura</b>	<b>Longitud</b>	<b>Area km2</b>	<b>% Área</b>
AREA SIN COBERTURA VEGETA	10260,00	0,4005	0,078
BOSQUE NATIVO	1122154,94	346,382496	67,300
INFRAESTRUCTURA	3660,00	0,108	0,021
NATURAL	22620,00	0,670435	0,130
PARAMO	108698,44	26,687274	5,185
PLANTACION FORESTAL	1860,00	0,036	0,007
TIERRA AGROPECUARIA	1129502,28	129,879745	25,235
VEGETACION ARBUSTIVA	172382,34	10,514059	2,043
VEGETACION HERBACEA	540,00	0,009	0,002
<b>Total</b>		<b>514,687509</b>	<b>100</b>

Fuente: Autor

Se puede observar que en el año 2016 la zona de bosque cuenta con un área de 345,38  $Km^2$ , y ocupa un 67,029% de la zona, mientras que, en el año 2018 cuenta con un área de 346,38  $Km^2$ , y domina un 67,30% de la zona, esto quiere decir que en el transcurso de esos dos años la zona boscosa de la cuenca ha aumentado un 0,270%, en el año 2016 la cuenca cuenta con un cuerpo de agua de 0,69  $Km^2$ , y cubre un 0.13% del área de la superficie de la cuenca, en este mismo año la superficie que se usa para el uso agropecuario es de 130,48  $Km^2$ , y consta un 25,32% del área de estudio, mientras que en el 2018 el área de cobertura para esta actividad es de 129,88  $Km^2$ , y ocupa un 25,24% de la superficie total, así que, se puede observar que dicha actividad ha sufrido una reducción del 0,08% en este lapso de tiempo.

En lo que data de vegetación arbustiva y herbácea del año 2016 cubre un área de 35,97  $Km^2$ , y cubre un 6,98% del total de la superficie, mientras que en el 2018 este apartado cuenta de forma separada, pero la suma de esto da un área de 10,52  $Km^2$ , y un 2,045% de la superficie

total. Notándose en este parámetro una gran pérdida de vegetación, se puede observar que una gran parte de vegetación arbustiva y herbácea del año 2016 para el año 2018 fue considerada como paramo, abarcando así un área de 26,69  $Km^2$ , lo cual es un 5,19% de la superficie de la cuenca (ver figura 2). Es importante destacar que el porcentaje de páramo que aparece puede variar y se debe principalmente a que los datos son recopilados en campo, y estas variaciones pueden estar relacionadas con las condiciones presentes en el momento de la toma de información por parte de las personas encargadas.

Para el año 2018 se observa en los valores una iniciativa de plantación forestal, la cual ocupa 0,036  $Km^2$  de la zona y abarca un valor menor al 0,01%. Para este mismo año aparece un parámetro de infraestructura, la cual ocupa un 0,021% de la zona y cubre una superficie de 0,108  $km^2$ , así como también se identifica una zona natural de 0,67  $Km^2$  de la superficie total.

### Tabla 9

*Porcentaje de la cobertura del suelo y uso Snap ASF año 2018*

Id	Sentinel ASF 2018	
	Area $km^2$	% Área
<b>Deforestación</b>	13,425	2,606
<b>Vegetación_Sana</b>	62,424	12,115
<b>Masas_Agua</b>	144,086	27,965
<b>Vegetación_Secundar</b>	295,308	57,314
<b>Total</b>	515,243	100

Fuente: Autor

**Tabla 10**

*Porcentaje de la cobertura y uso del suelo Snap ASF año 2023*

<b>Sentinel ASF 2023</b>		
<b>Id</b>	<b>Area km<sup>2</sup></b>	<b>% Área</b>
<b>Deforestación</b>	11,234	2,180
<b>Vegetación_Sana</b>	184,179	35,746
<b>Cuerpos_Agua</b>	77,171	14,978
<b>Vegetación_Secundar</b>	242,660	47,096
<b>Total</b>	515,243	100

Fuente: Autor

En el análisis comparativo de la cobertura de la zona durante los años 2018 y 2023, se han identificado cambios notables en diversas categorías. La deforestación ha experimentado una reducción significativa en 2023, cubriendo un área de 11,234  $Km^2$ , en contraste con los 13,425  $km^2$  registrados en 2018.

Además, se ha observado un impresionante aumento en la extensión de vegetación saludable, alcanzando los 184,179  $Km^2$  en 2023, mientras que en 2018 abarcaba solo 62,424  $Km^2$ , lo cual sugiere una notoria regeneración de áreas verdes en la región. En contraste, la vegetación secundaria ha disminuido en el año 2023, cubriendo 242,660  $Km^2$ , en comparación con los 295,308  $Km^2$  en 2018, principalmente debido a la conversión de una parte significativa de esta en vegetación primaria o saludable, como se mencionó anteriormente.

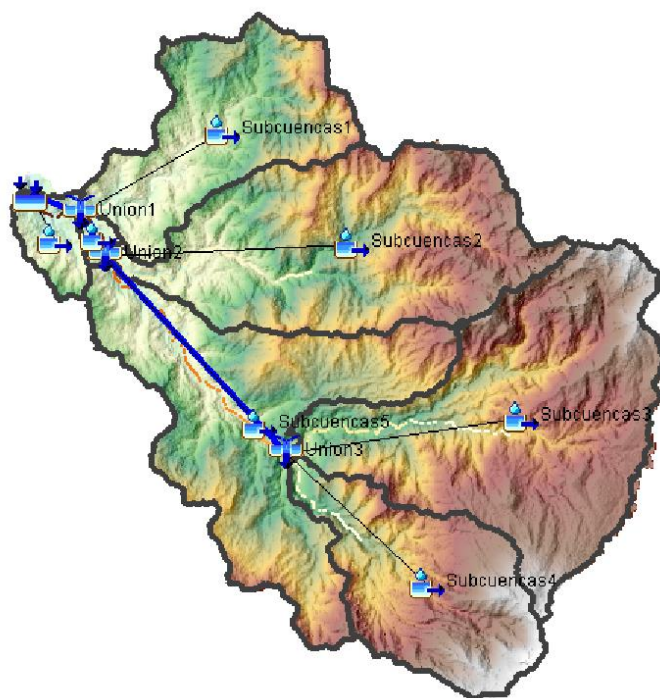
Por último, los cuerpos o masas de agua también han mostrado variaciones en ambos años, con una extensión de 144.086  $Km^2$  en 2018 y 77.171  $Km^2$  en 2023, atribuidas en gran medida a los cambios climáticos y otros factores que han impactado la distribución de estas fuentes hídricas en la zona.

*Evaluación de la potencial influencia de la deforestación sobre la generación de escorrenría.*

Al momento de discretizar la cuenca del río Pilatón nos dio como resultado un total de 7 subcuencas, 3 uniones y 3 cursos de agua.

**Figura 4**

*Cuenca del río Pilatón discretizada en HEC-HMS*



Fuente: Autor

Se calcularon los parámetros morfométricos de la cuenca del río Pilatón (ver tabla 11) y del curso de agua donde nace el tránsito de avenidas (ver tabla 12).

**Tabla 11***Parámetros morfométricos de las subcuencas del río Pilatón.*

<b>Subcuenca</b>	<b>Area (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Longitud del cursoo de agua</b>	<b>Pendiente del curso de agua</b>
Subcuencas 1	67,825	19,47405	0,09965
Subcuencas 2	117,72	28,2126	0,09616
Subcuencas 3	138,38	25,08069	0,10877
Subcuencas 4	67,081	18,74065	0,14247
Subcuencas 5	109,63	26,20681	0,07933
Subcuencas 6	2,9835	3,54056	0,14969
Subcuencas 7	11,666	6,50667	0,15469

Fuente: Autor

**Tabla 12***Parámetros del curso de agua*

<b>Rio</b>	<b>Longitud km</b>	<b>Pendiente (m/m)</b>
Rios1	3,19246	0,01942
Rios2	2,72042	0,02353
Rios3	14,33918	0,02999

Fuente: Autor

Se obtuvieron también los valores de números de curva para cada uno de los años en los que se generó un mapa de cobertura del suelo, es decir, para el RAISG ecuatoriano 2016 y 2018 (ver tabla 13) y para el Snap del año 2018 y 2023 (ver tabla 14).

**Tabla 13**

*Número de curva para cada sub cuenca RAISG ecuatoriano 2016 & 2018*

<i>RAISG ecuatoriano</i>	<i>2016</i>	<i>2018</i>
<i>Sub cuenca</i>	<i>Numero Curva</i>	<i>Numero Curva</i>
<b>1</b>	66	68
<b>2</b>	68	76
<b>3</b>	69	70
<b>4</b>	76	80
<b>5</b>	70	75
<b>6</b>	72	72
<b>7</b>	75	77

Fuente: Autor

**Tabla 14**

*Número de curva para cada sub cuenca Snap 2018 & 2023*

<i>Sentinel SNAP</i>	<i>2018</i>	<i>2023</i>
<i>Sub cuenca</i>	<i>Numero Curva</i>	<i>Numero Curva</i>
<b>1</b>	70	83
<b>2</b>	65	77
<b>3</b>	69	70
<b>4</b>	73	80
<b>5</b>	61	70
<b>6</b>	72	72
<b>7</b>	83	89

Fuente: Autor

Se pudo observar la diferencia de valores que hay entre los datos del RAISG ecuatoriano de 2016 y el de 2018, destacándose un aumento en los valores del número de curva de la cuenca. La diferencia entre un año y otro es de mínimo 2 puntos con excepción de la sub cuenca número 5 que su valor se mantiene, mientras que, la sub cuenca que se ha visto mayormente afectada por este aumento del CN es la sub cuenca 2, teniendo un incremento de hasta 8 puntos. Esto nos da a

entender que el suelo con el transcurso de los años se ha vuelto más impermeable, dando como resultado que el volumen de agua que escurre por la cuenca haya aumentado, y por ende un transporte mayor de sedimentos a los afluentes de la cuenca.

En lo que respecta a los valores del número de curva obtenidos a través de las imágenes satelitales de SNAP, se observa un patrón similar en la mayoría de las subcuencas. Sin embargo, se registran alteraciones mínimas en dos de ellas: la subcuenca 3 experimenta un incremento de un punto, mientras que la subcuenca 6 mantiene el mismo valor a lo largo de esos 5 años. En contraste, las demás subcuencas muestran un incremento significativo en los valores del número de curva. Por ejemplo, la subcuenca 7 pasa de un valor de 83 en 2018 a 89 en 2023. Las subcuencas de la zona alta de la cuenca del río Pilatón experimentan los mayores incrementos en el número de curva, con la subcuenca 1 aumentando de 70 a 83 y la subcuenca 2 de 65 a 77. Esto resulta en una mayor escorrentía superficial en estas subcuencas, lo que a su vez conlleva a un aumento en la erosión del suelo y, por ende, un incremento en la cantidad de partículas sólidas en los afluentes de la cuenca.

El tiempo de concentración de la cuenca Pilatón fue de 1440 minutos, estimando que es relativamente idéntica a la duración de la tormenta, se trabajó con la duración de 1440 para la modelación hidrológica.

Se estimaron datos de precipitaciones de 24 horas, tomando los datos de la estación meteorológica Las Pampas (M0362) con rangos de 38,40 mm y 147,90 mm, representando tormentas con un periodo de retorno de 100 años (en anexos ver Hietograma).

Ingresando los datos de precipitación, tiempo de retardo, número de curva y tránsito de avenidas para cada una de las subcuencas, se realizó una simulación hidrológica utilizando el

software Hec-Hms. Esta modelación hidrológica incluyó el respectivo periodo de retorno y tuvo como objetivo analizar e interpretar los datos hidrométricos de la cuenca. Como resultado de esta simulación, se obtuvieron los valores de caudales para cada uno de los años, en función a la deforestación: Raisg 2016 un caudal de 340,9 m<sup>3</sup>/seg, Raisg 2018 un caudal de 486,8 m<sup>3</sup>/seg, Snap 2018 un caudal de 290,0 m<sup>3</sup>/seg, Snap 2023 un caudal de 560,0 m<sup>3</sup>/seg todos en un periodo de retorno de 100 años (ver tabla 15).

### **Tabla 15**

*Caudales máximos para cada modelo implementado en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años.*

<b>Modelo</b>	<b>Periodo de retorno años</b>	<b>Q (m3/s)</b>
<b>Raisg ecuatoriano 2016</b>	100	340,9
<b>Raisg ecuatoriano 2018</b>	100	486,8
<b>Sentinel 2018</b>	100	290
<b>Sentinel 2023</b>	100	560

Fuente: autor

En lo que respecta a los caudales en el RAISG ecuatoriano, se observó una mayoría desde el año 2016 hasta el 2018. En el año 2016, se registró un caudal de 340,9 m<sup>3</sup>/seg, mientras que en 2018, el caudal aumentó a 486,8 m<sup>3</sup>/seg, lo que representa un incremento del 29.97% en tan solo 2 años. Este incremento se debe principalmente al aumento en el número de curva en las subcuencas del río Pilatón, lo que resulta en un aumento de la escorrentía superficial y, en consecuencia, en un mayor flujo en la cuenca.

## Discusión

En el análisis de las imágenes satelitales del RAISG ecuatoriano, se determinó que la cobertura de bosques nativos fue del 67.03% en 2016 y del 67.30% en 2018, lo que evidencia un aumento del 0.30% en las áreas de bosque nativo. Este resultado concuerda con el análisis realizado por (Bonnesoeur et al., 2019), que arrojó una cobertura de bosque del 54.24%, mostrando un comportamiento similar en el análisis relativo de la cobertura de bosques nativos en ese año.

En Santo Domingo de los Tsáchilas, la preservación de la vegetación ha enfrentado un desafío considerable debido a la deforestación provocada por una serie de factores, entre los que se incluyen la migración humana y la conversión de áreas forestales en pastizales (GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas, 2017). De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (MAE, 2015), la tasa anual de deforestación a nivel nacional es de aproximadamente 65,880 hectáreas. Esta deforestación y los cambios en el uso del suelo pueden aumentar el riesgo de transmisión de enfermedades zoonóticas de los animales a los seres humanos, tal y como se pudo evidenciar con la aparición del COVID-19 (López-Feldman et al., 2020).

En relación a los impactos de la pandemia en la deforestación y los cambios en el uso del suelo en la región, es importante destacar que las tasas de deforestación en los países amazónicos ya estaban aumentando antes del COVID-19, y esta tendencia no se frenó durante la pandemia ni las restricciones de movilidad que esta conllevó (Nascimento, 2021). Además, la disminución en la supervisión y monitoreo de la región durante la pandemia podría haber contribuido a un incremento en la tala de bosques y a la emisión de carbono debido a cambios en el uso del suelo (López-Feldman et al., 2020).

En respuesta a esta problemática, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en colaboración con el Ministerio del Ambiente de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se encuentran trabajando en un proyecto de reforestación desde el año 2018. El objetivo principal de este proyecto es contribuir a la preservación del medio ambiente, mediante la plantación de árboles maderables y frutales, que desempeñarán un papel crucial al absorber CO<sub>2</sub> y ayudar a mitigar el impacto del cambio climático en el planeta (INIAP, 2018).

El incremento en la vegetación se hace evidente al examinar los resultados de nuestro análisis de datos durante la investigación. Al observar los datos de Sentinel ASF correspondientes al año 2018, que marca el inicio del proyecto de reforestación, se puede notar que la cobertura de vegetación saludable en la cuenca era del 12.115%. En contraste, para el año 2023, el mismo parámetro ha experimentado un aumento significativo, llegando al 35.746%, lo que refleja un notorio crecimiento del 23,631% en vegetación saludable durante un período de 5 años.

En el caso de los caudales en el SNAP, se observó un aumento en el caudal en la cuenca del río Pilatón, pasando de 290 m<sup>3</sup>/seg en 2018 a 560 m<sup>3</sup>/seg en 2023, lo que representa un incremento del 48.21% en tan solo 5 años. Este aumento en el caudal se relaciona con la variación en el número de curva, que también experimentó un aumento, tal como ocurrió en el caso de RAISG.

Al comparar los datos de caudal del año 2018, se observa una notable variación entre el RAISG ecuatoriano y el SNAP. En el SNAP, el caudal fue de 290 m<sup>3</sup>/seg, mientras que en el RAISG ecuatoriano este valor fue significativamente mayor, alcanzando los 486.8 m<sup>3</sup>/seg, lo que representa una diferencia del 40.43% entre ambos modelos. Esta variación se debe a las

diferencias en la precisión de los datos recopilados por cada modelo. Mientras el SNAP utiliza datos satelitales, el RAISG ecuatoriano realiza la recolección de datos en el campo.

De acuerdo con (Masabanda & Jaramillo, 2019), en su investigación calcularon caudales con un periodo de retorno de 100 años, obteniendo valores de  $667 \text{ m}^3/\text{seg}$  como caudal medio y  $774 \text{ m}^3/\text{seg}$  como caudal máximo para las cuencas hidrográficas de los ríos Toachi y Pilatón. Sin embargo, al comparar estos resultados con los caudales obtenidos a partir de las imágenes de del SNAP, se observa una discrepancia notable. En 2018, el caudal registrado fue de  $290 \text{ m}^3/\text{seg}$ , mientras que en 2023 alcanzó los  $560 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Esta diferencia puede atribuirse a varios factores, incluyendo la precisión de los datos recopilados, el método utilizado para la simulación y el enfoque de nuestra investigación. Es importante señalar que la investigación de Masabanda y Jaramillo abarcó las cuencas hidrográficas de los ríos Toachi y Pilatón y la nuestra se centra exclusivamente en la cuenca del río Pilatón, lo que podría explicar parte de las discrepancias en los resultados.

## Conclusiones

Mediante la integración de los datos proporcionados por el RAISG ecuatoriano y los datos obtenidos de los sensores SAR a través de la página de la ASF, hemos logrado generar mapas detallados del uso de la tierra y la deforestación. Esto nos ha permitido obtener una visión detallada de los cambios en la cobertura forestal y los patrones de uso de la tierra en la región.

Los mapas de uso de la tierra generados a través de Raisg y Snap han mostrado diferencias en los resultados totales del área de la cuenca. En 2016, el área total se registró como  $515,27 \text{ Km}^2$ , mientras que, en 2018, el valor fue de  $514,69 \text{ Km}^2$ . Esta discrepancia se debe a que los cálculos realizados en Raisg involucran visitas físicas a la zona de estudio, lo que puede generar cierto grado de incertidumbre en los datos. Por otro lado, las áreas obtenidas mediante Snap para los años 2018 y 2023 son de  $515,24 \text{ Km}^2$ , mostrando una mayor precisión gracias al procesamiento con ayuda satelital.

Se realizó una modelación hidrológica inicial utilizando el software HEC-HMS, donde se obtuvieron caudales basados en la base de datos del Raisg ecuatoriano y el procesamiento de imágenes satelitales con el Snap. Estos caudales se calcularon considerando un periodo de retorno de 100 años. Para el Raisg ecuatoriano, los caudales estimados fueron de  $340,9 \text{ m}^3/\text{seg}$ , en el año 2016 y  $486,8 \text{ m}^3/\text{seg}$ , en el año 2018. En cambio, utilizando Snap, se obtuvieron caudales de  $290 \text{ m}^3/\text{seg}$ , en el año 2018 y  $560 \text{ m}^3/\text{seg}$ , en el año 2023. Estas diferencias en los resultados pueden atribuirse a las distintas fuentes de datos y metodologías utilizadas en cada caso.

## **Recomendaciones**

Para este tipo de investigaciones, la banda L suele ser la opción preferida; sin embargo, debido a que la información en esta banda no está actualizada para el Ecuador, no podemos obtener los insumos necesarios para nuestra investigación. Por lo tanto, hemos optado y recomendamos el uso de imágenes satelitales de banda C como alternativa.

Adicionalmente, sugerimos realizar un análisis más exhaustivo de la deforestación, abarcando todo el territorio ecuatoriano. Esto permitirá obtener una visión completa y detallada de los cambios en el uso del suelo y los bosques en el país.

Asimismo, se recomienda llevar a cabo una recolección de datos de campo detallada con respecto a la deforestación. Esta información será de gran valor para contrastar y validar los productos obtenidos mediante el uso de herramientas como RAISG y SNAP.

## Bibliografía

- Álava, L., & Aracely, G. (2015). Análisis de deforestación por medio de percepción remota en las cuencas del río Portoviejo - Chone. Calceta: Espam.
- Bonnesoeur V., Locatelli B., Ochoa-Tocachi B.F., 2019. Impactos de la Forestación en el Agua y los Suelos de los Andes: ¿Qué sabemos? Resumen de políticas, Proyecto “Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica” (INSH), Forest Trends, Lima, Perú. de <https://agritrop.cirad.fr/591482/1/Bonnesoeur%202019%20Impacto%20de%20la%20Forestacion%20en%20el%20Agua%20y%20Suelos.pdf>
- Calder, I., Hofer, T., Vermont, S., & Warren, P. (2007). Hacia una nueva comprensión de los bosques y el agua. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, 58(229), 3–10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2553174>
- Esri. (2023). Introducción a SAR. Arcgis.com. <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/introduction-to-synthetic-aperture-radar.htm>
- FAO. (2012). Los bosques y el cambio climático. Fao.org. <https://www.fao.org/forestry/climatechange/53459/es/>
- FAO. (2022). El monitoreo de bosques, como la base para el desarrollo forestal sostenible. Fao.org. <https://www.fao.org/ecuador/noticias/detail-events/es/c/1479794/>

García Marín, ME (2016). La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. *Producción + Limpia*, 11 (2) , 161–168.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552016000200014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000200014)

GAD Provincial Santo Domingo de los Tsáchilas. (2017). ESTUDIO Y DISEÑO DEFINITIVOS PARA LA AMPLIACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA VÍA ALOAG SANTO DOMINGO TRAMO VIAL LA UNIÓN DEL TOACHI - SANTO DOMINGO DIAGNOSTICO Y EVALUACION DE IMPACTOS AMBIENTALES CONTRATISTA: CONSORCIO ASOCIACION E&S.

Gobierno Provincial de Santo Domingo de Los Tsáchilas.

<https://www.gptsachila.gob.ec/estudioambiental2/documentos/ESTUDIODEIMPACTOAMBIENTALDELAVIAALOAGSANTODOMINGO.pdf>

Gelpi, G. R. (2015). Análisis de los procesos de infiltración y escorrentía durante precipitaciones intensas. <https://core.ac.uk/download/pdf/224792951.pdf>

Giler, A. (2022). Conversación sobre tema de tesis y los radares de apertura sintética (SAR).

Gutiérrez-López, A., Universidad Autónoma de Querétaro, México, Barragán-Regalado, R., & Universidad Autónoma de Querétaro, México. (2019). Ajuste de curvas IDF a partir de tormentas de corta duración. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(6), 01–24. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-01>

INIAP. (2018). INIAP aporta a la reforestación en Santo Domingo de los Tsáchilas – Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Instituto Nacional de

Investigaciones Agropecuarias. <https://www.iniap.gob.ec/iniap-aporta-a-la-reforestacion-en-santo-domingo-de-los-tsachilas/>

López A, V., Espíndola, F., & L. y Janette Ulloa, J. C. (2013). AMAZONÍA ECUATORIANA BAJO PRESIÓN. EcoCiencia.

<http://190.57.147.202:90/xmlui/handle/123456789/274>

López-Feldman, A., Chávez, C., Vélez, MA, Bejarano, H., Chimeli, AB, Féres, J., Robalino, J., Salcedo, R., & Viteri, C. (2020). COVID-19: impactos en el medio ambiente y en el cumplimiento de los ODS en América Latina. *Desarrollo y Sociedad*, 104–132. <https://doi.org/10.13043/dys.86.4>

Manson, R. H. (2004). Los servicios hidrológicos y la conservación de los bosques de México. *Madera y Bosques*, 10(1), 3–20.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61710101>

MAE. (2015). Ministra del Ambiente, Lorena Tapia, lidera la decisión histórica para combatir la deforestación. Ministerio del Ambiente.

<https://www.ambiente.gob.ec/ministra-del-ambiente-lorena-tapia-lidera-decision-historica-para-combatir-la-deforestacion/>

Masabanda, J. C. P., & Jaramillo, S. R. V. (2013). Incertidumbre en la modelación hidrológica de cuencas y propagación de crecidas en cauces. Caso de estudio: Cuencas hidrográficas de los ríos Toachi y Pilatón. Escuela Politécnica Nacional.

<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5917>

- Mogrovejo Jaramillo, PR (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático [Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador].  
<https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/5862/1/T2432-MCCNA-Mogrovejo-Bosques.pdf>
- Nascimento, N. (2021). LOS RESERVORIOS DE CARBONO DESAPARECEN EN EL HUMO. El Periférico. <https://www.elperiferico.com/los-reservorios-de-carbono-desaparecen-en-el-humo/>
- Podest, E. (2017). Conceptos Básicos del Radar de Apertura Sintética. Nasa.gov.  
<https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/Session1-SAR-Spanish.pdf>
- Podest, E. (2022). SAR Para el Mapeo de Inundaciones. Nasa.gov.  
[https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2022-10/SAR\\_Disasters\\_Part1%20Spanish.pdf](https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2022-10/SAR_Disasters_Part1%20Spanish.pdf)
- Portilla Farfán, F. (2018). Introducción. In Agroclimatología del Ecuador (pp. 17–40). Editorial Abya-Yala.
- Sierra, R. 2013. Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos 10 años. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends. Quito, Ecuador. [https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2013/03/rsierra\\_deforestacionecuador1950-2020\\_180313-pdf.pdf](https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2013/03/rsierra_deforestacionecuador1950-2020_180313-pdf.pdf)

United States Department of Agriculture (USDA). (1986). Urban hydrology for small watersheds. Natural Resources Conservation Service.

<https://www.nrc.gov/docs/ML1421/ML14219A437.pdf>

Vásconez, M., Mancheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). Cuencas Hidrográficas. Abya-Yala.

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>

Zozaya, A. (2015). Simulador básico de un radar de apertura sintética. Instituto Espacial Ecuatoriano. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3951.3448>

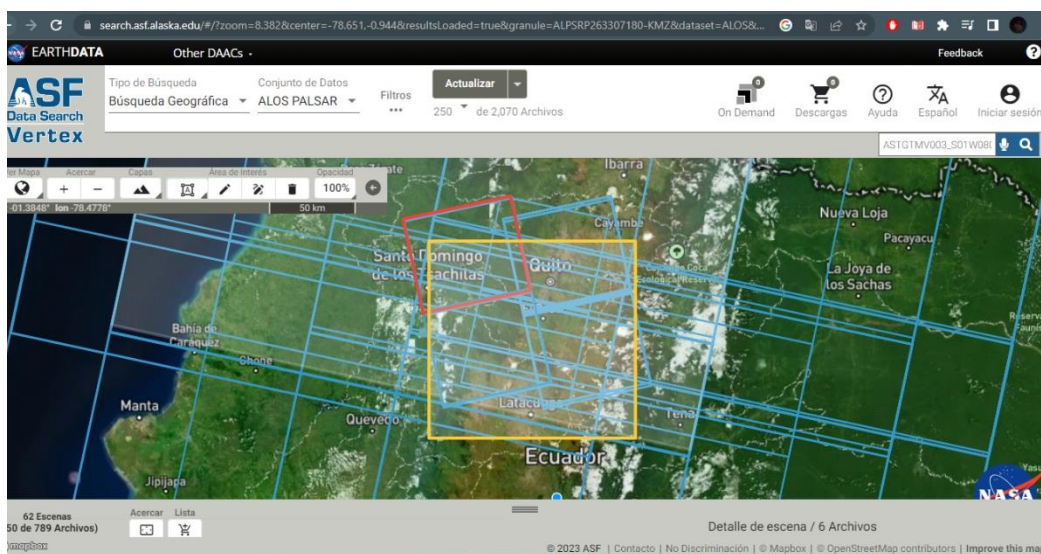
Zozaya, A. J. (2016). Radares de apertura sintética: procedimiento de diseño. Revista INGENIERÍA UC, 23(2), 97–115.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70746634002>

## Anexos

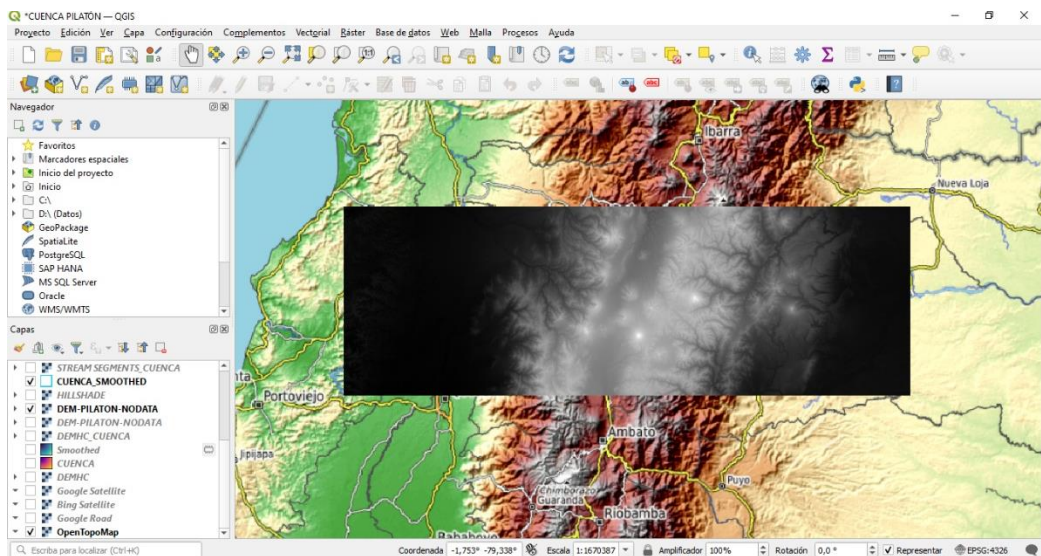
**Figura 5**

*Localización de la zona de estudio y descarga del DEM desde la web de la ASF.*



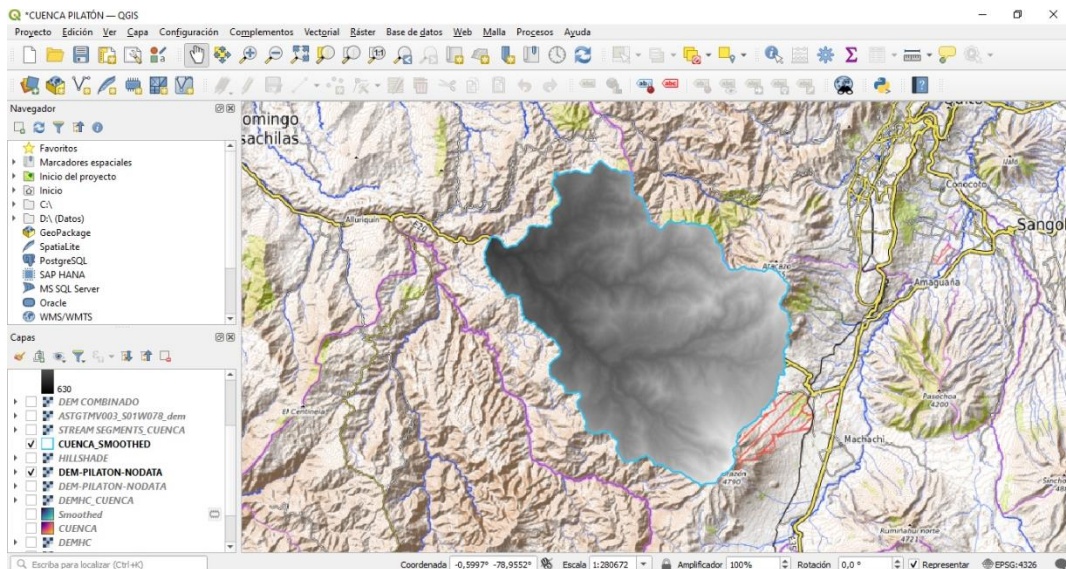
**Figura 6**

*Importación del DEM previamente descargado para la zona de estudio.*



**Figura 7**

*Delimitación y recorte de la cuenca de interés haciendo uso del DEM previamente importado.*



**Figura 8**

*Calibración y corrección de distorsiones en la imagen satelital del SAR.*

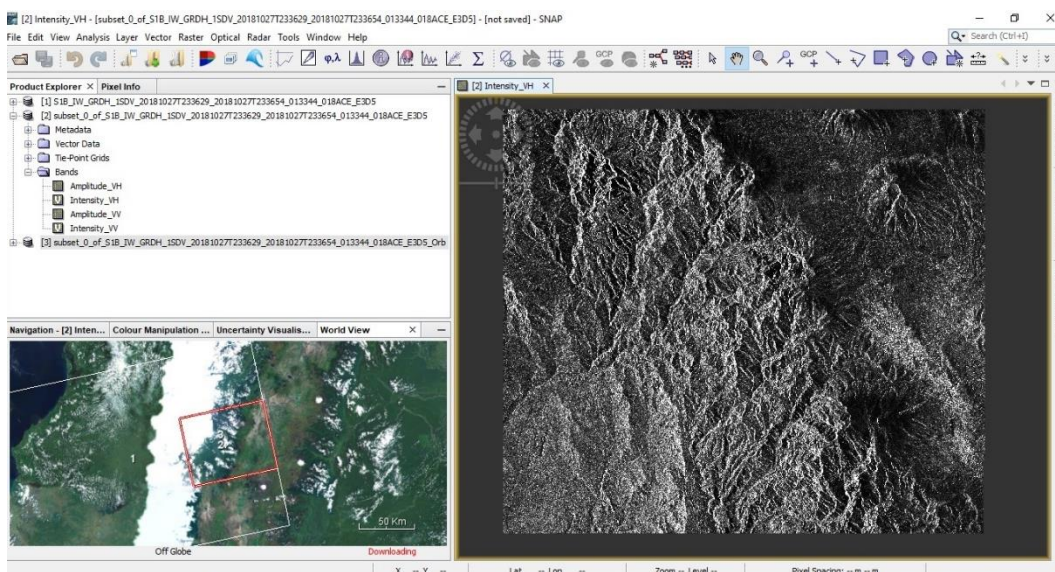




Figura 11

Resultados en valores de la clasificación de cobertura vegetal principal y secundaria, cuerpos de agua y deforestación de la imagen del SAR.

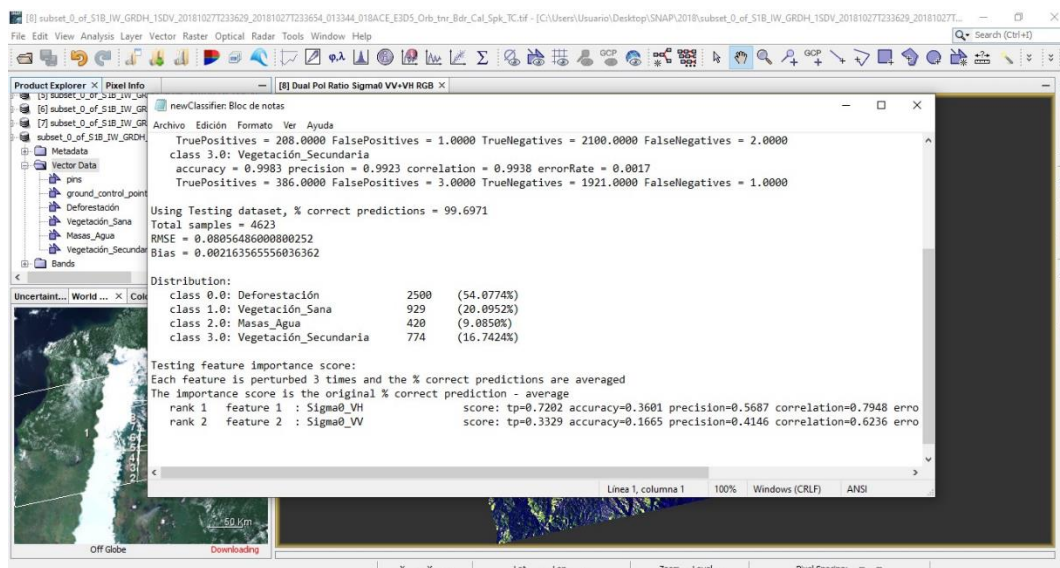
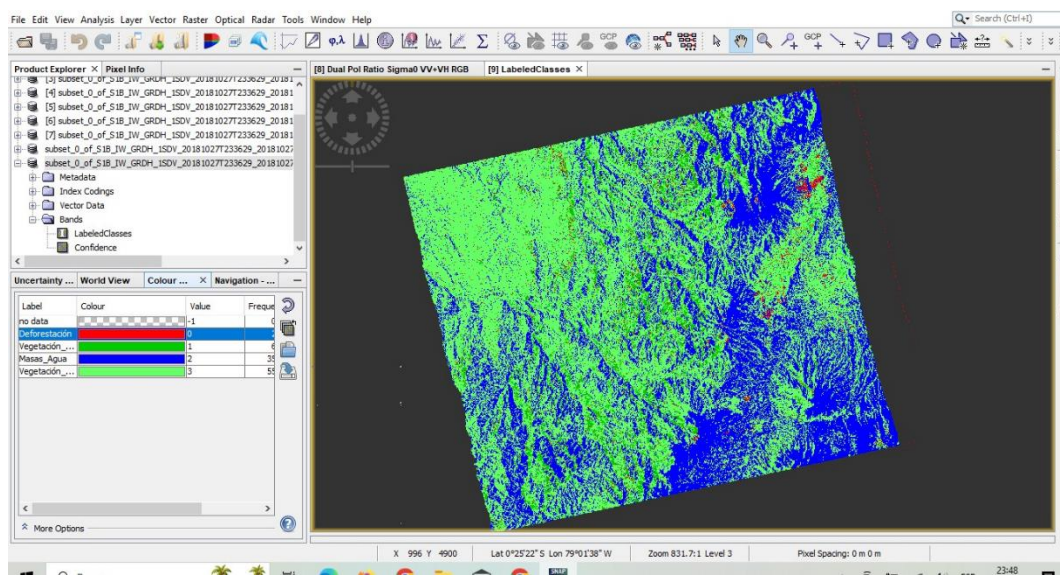


Figura 12

Resultados de la clasificación de cobertura vegetal principal y secundaria, cuerpos de agua y deforestación mostrados en la imagen del SAR.



**Figura 13**

*Imagen de la capa de cobertura RAISG ecuatoriano 2016 en el ArcMap sin simbología de colores.*

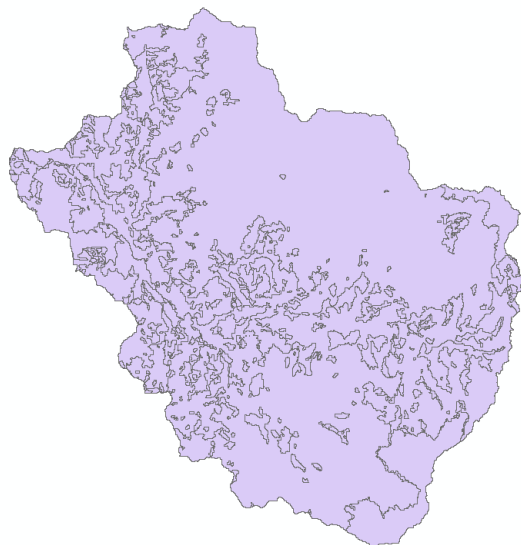
**Figura 14**

*Cobertura del RAISG ecuatoriano año 2016 con su simbología de colores.*



**Figura 15**

*Imagen de la capa de cobertura RAISG ecuatoriano 2018 en el ArcMap sin simbología de colores.*

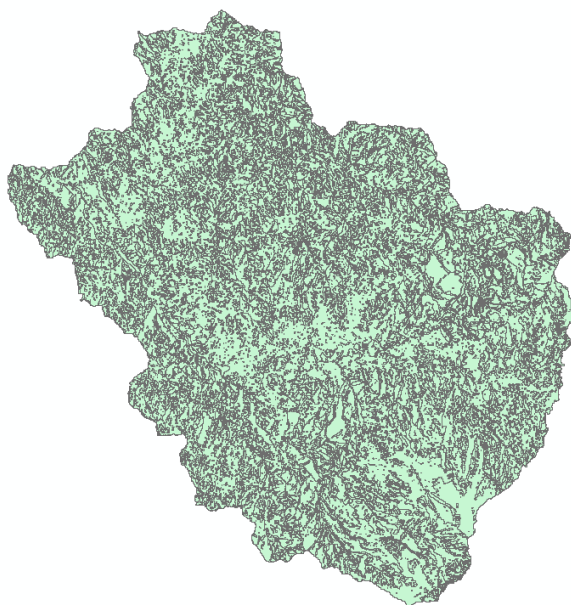
**Figura 16**

*Cobertura del RAISG ecuatoriano año 2018 con su simbología de colores*

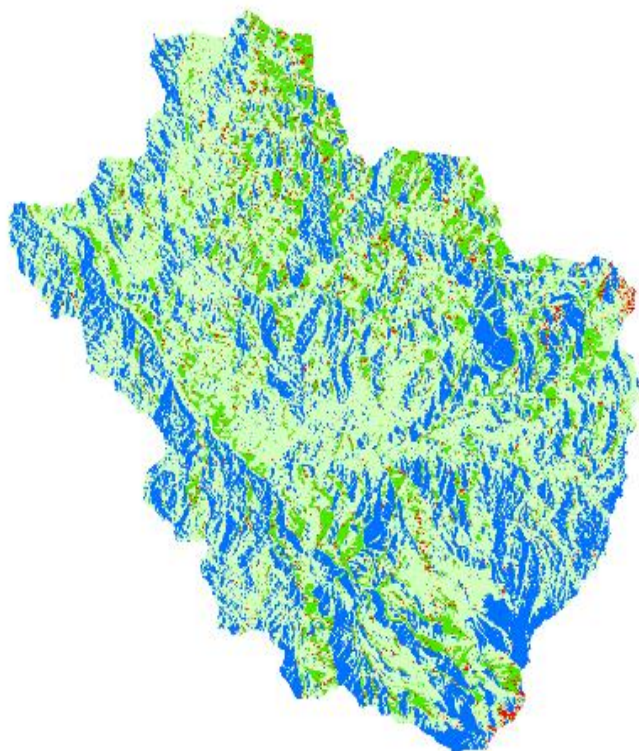


**Figura 17**

*Imagen de la capa de cobertura Snap 2018 en el ArcMap sin simbología de colores*

**Figura 18**

*Cobertura de Snap año 2018 con su simbología de colores.*

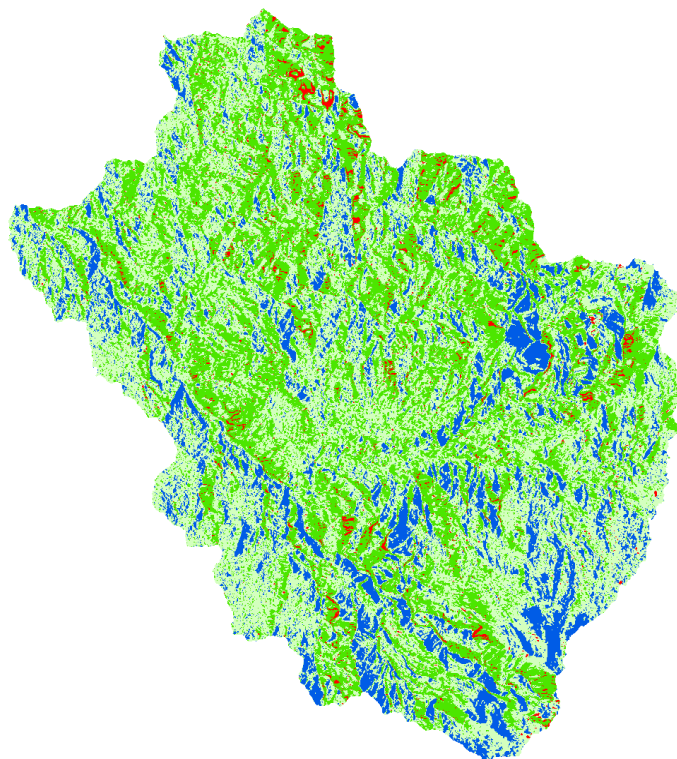


**Figura 19**

*Imagen de la capa de cobertura Snap 2023 en el ArcMap sin simbología de colores.*

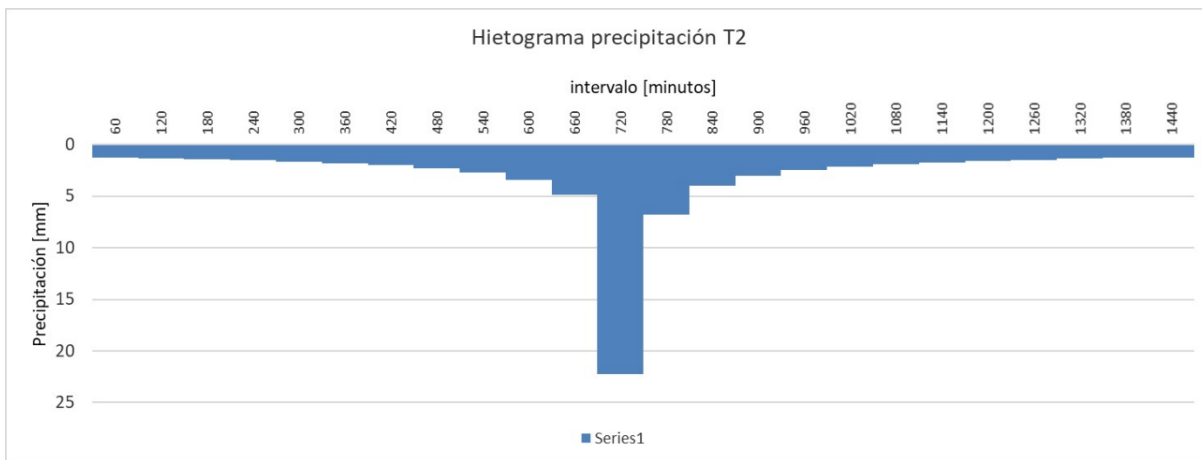
**Figura 20**

*Cobertura de Snap año 2023 con su simbología de colores.*



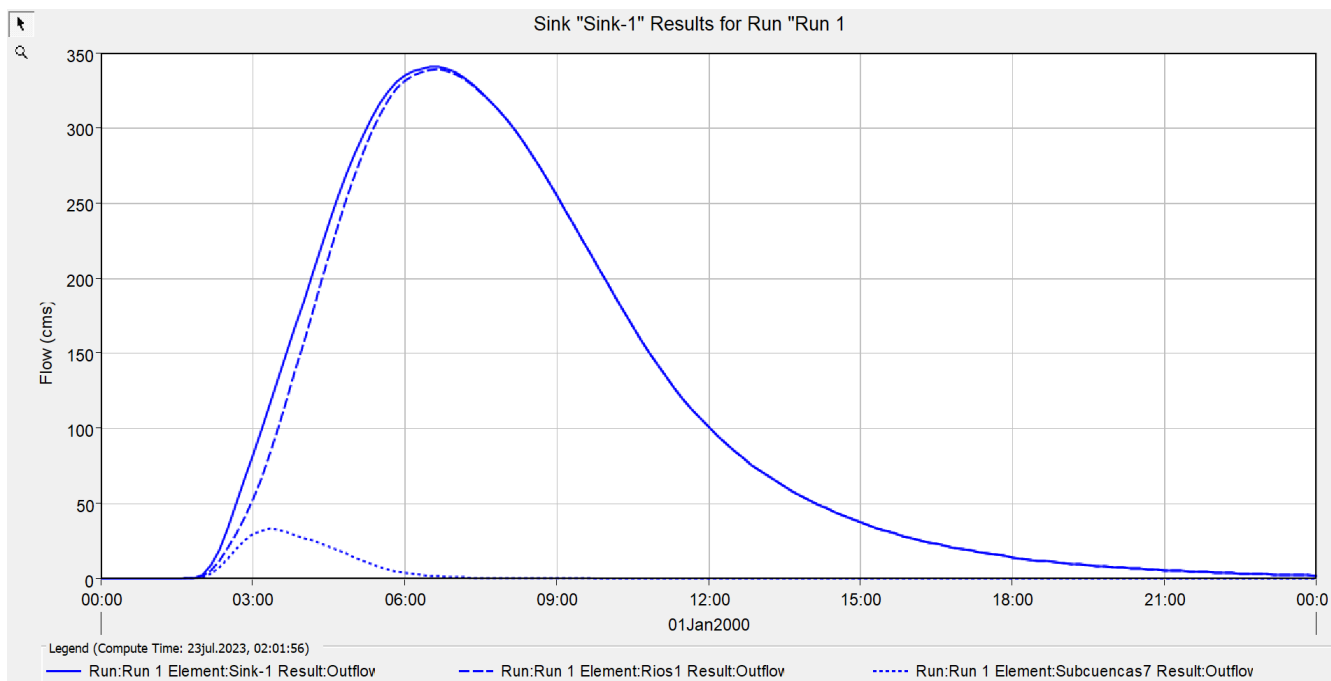
**Figura 21**

*Hietograma de Diseño con un periodo de retorno para 2 años.*



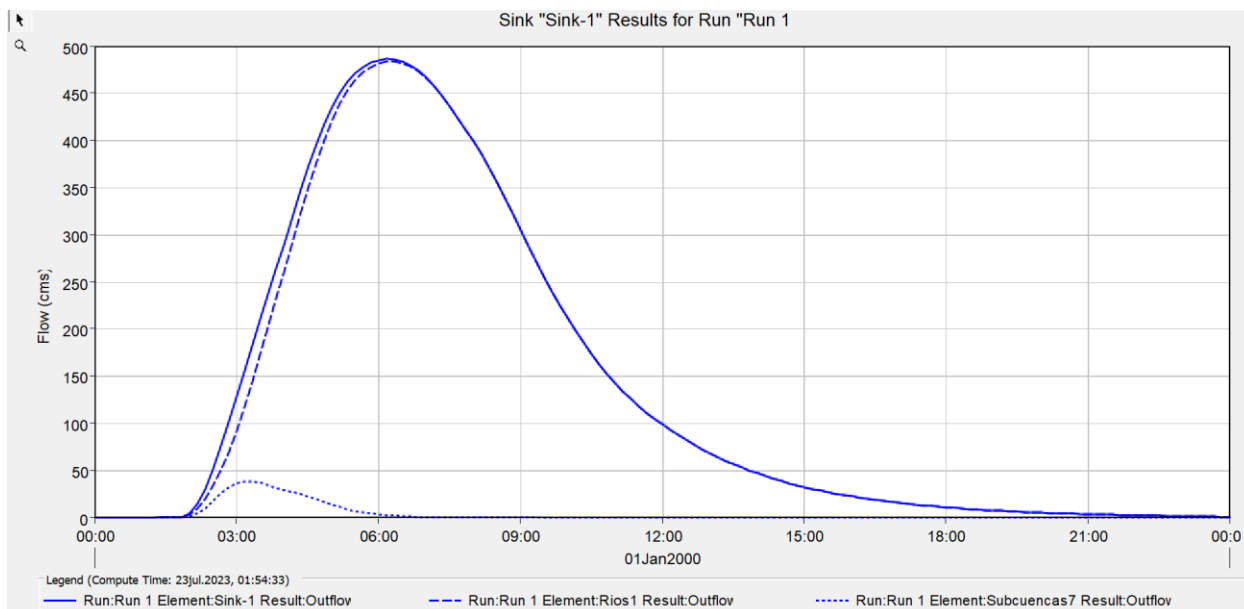
**Figura 22**

*Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del RAISG ecuatoriano 2016.*

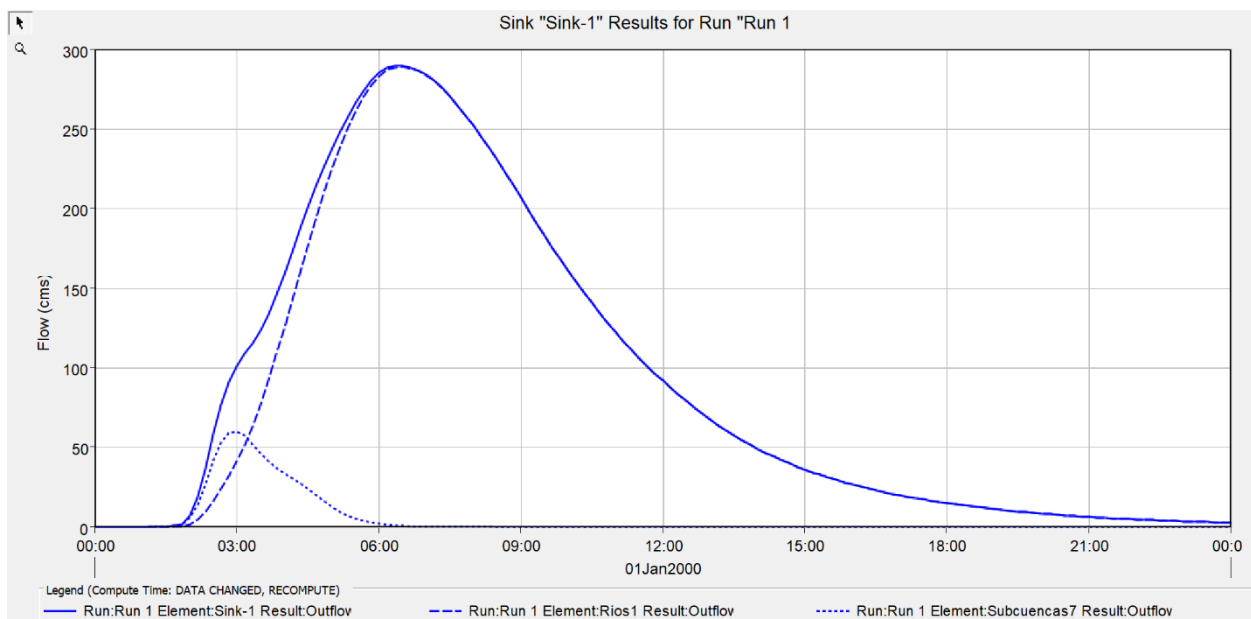


**Figura 23**

*Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del RAISG ecuatoriano 2018*

**Figura 24**

*Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del Snap 2018.*



**Figura 25**

*Caudales de entrada en la cuenca del río Pilatón para un periodo de retorno de 100 años con los valores de CN del Snap 2023*

