

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

SEDE REGIONAL MANABÍ - PORTOVIEJO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

"DETECCIÓN DE CAMBIOS EN COBERTURA DE SUELO Y ZONAS INUNDADAS
CON RADAR PARA LA CUENCA SAN PABLO, PROVINCIA DE LOS RÍOS, PERIODO
1990-2013"

PREVIO AL TÍTULO DE:

INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

ANDRÉS FERNANDO NAVAS ESTRELLA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. ANDY MIGUEL GILER ORMAZA, M.SC.

FEBRERO 2023

PORTOVIEJO – MANABÍ - ECUADOR

Certificación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Ing. Andy Giler Ormaza, M. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo 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, M.Sc.

C.I: 131282032-5

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.

Primer Lector

131282032-5

(F) _____

Ing. José Ramón Alarcón Loor, M. Sc.

Segundo Lector

131128820-1

(F) _____

Ing. Juan Fernando Quiroz Alonzo, M. Sc.

Tercer Lector

131017949-2

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.

Autor:

F. _____

Andrés Fernando Navas Estrella

Dirección: Portoviejo, Avenida 5 de Junio

Email: anavas4568@pucesm.edu.ec

Celular: 0969769980

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.

Autor:

F. _____

Andrés Fernando Navas Estrella

C.I: 131223456-8

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi madre y mi abuela quienes con su esfuerzo, cariño, amor, paciencia y apoyo han estado para mí en cada punto de mi vida; por todo eso y más, las amo infinitamente y no me cansare de agradecerles hasta el último de mis días. A mi hermana que es la alegría de mi vida y no existe cosa en el mundo que yo no haría por ella. A todas y cada una de las personas que de una u otra manera han incidido en mi crecimiento tanto profesional como humano; es una meta alcanzada y el principio de una nueva etapa.

Andrés Navas

Agradecimientos

A Dios por darme las incontables oportunidades y bendiciones que he tenido. A mi madre y mi abuela que a lo largo de mi vida me formaron como un ser humano de provecho y me apoyaron para ser un excelente profesional; me va a faltar vida para agradecer y devolver todo lo que hicieron por mí.

A Wilson Coral por ser una guía y un ejemplo a seguir, con cariño y constancia supo guiarme hacia mis objetivos.

A Lelibeth Castillo por su incondicional y persistente apoyo a lo largo de mis años.

Ing. Andy Giler por fomentar siempre el aprendizaje a lo largo de la carrera y guiarme durante las diferentes fases de mi trabajo final de titulación.

A cada uno de mis amigos que me brindaron su apoyo incondicional y se hicieron partícipes de este camino recorrido.

Andrés Navas

Resumen

Este estudio cuantitativo clasificó las diferentes coberturas de suelo y zonas inundadas en la cuenca San Pablo, provincia de Los Ríos, mediante el uso y análisis de imágenes de radar, las cuales logran penetrar nubes, cuerpos de agua y áreas anegadas en lugares como éste, que por su cercanía con la cordillera de Los Andes tiene un alto nivel de nubosidad. Por ello, este estudio exploratorio se ejecutó durante 9 meses de 2022, utilizando imágenes obtenidas de esta zona a partir de los radares de: apertura sintética de banda C (*Sentinel-1*), apertura sintética de banda L (*ALOS PALSAR*) y apertura sintética de banda C (*ERS*), periodo 1990 - 2018. Se utilizó la herramienta *SNAP Desktop* para procesar y clasificar la cobertura de suelo, y se evaluó el porcentaje de precisión mediante el *software QGIS*. Los resultados obtienen tres clasificaciones de cobertura de suelo; la primera realizada mediante *Sentinel-1*, la segunda mediante *ALOS PALSAR* y la tercera mediante *ERS*. Igualmente, se obtienen dos mapeos de la zona de inundación mediante *Sentinel-1* y *ERS* respectivamente, destacándose el primero por obtener el mayor porcentaje de precisión (49,3500%), con un coeficiente Kappa de 0,2506. Los hallazgos de los porcentajes del área que cubren la zona inundada respecto al área total de la cuenca corresponden a 3,49% y 4,92% respectivamente. Se recomienda continuar con estudios paralelos a esta investigación, dado que adicionar nuevos procesamiento puede mejorar la calidad del producto final o de los resultados obtenidos.

Palabras clave: clasificación, *ERS*, *Sentinel-1*, *ALOS PALSAR*, precisión

Abstract

This quantitative research study classified different land cover and flooded areas in the *San Pablo* River Basin in *Los Ríos* Province, from the use and analysis of satellite radar images, as they have the ability to penetrate clouds, water bodies and flooded areas like this, which has high cloud cover because of its proximity to the Andes Mountains. Thus, this exploratory research study was carried out over a nine-month period in 2022, collecting satellite imagery data from C-band Synthetic Aperture Radar (Sentinel-1), L-band Synthetic Aperture Radar (ALOS PALSAR), and C-band Synthetic Aperture Radar (ERS) for the period 1990 – 2018. The SNAP Desktop toolbox was used to process and classify land cover, and QGIS was used to calculate percentage accuracy. The findings obtain three land cover classifications; the first one using Sentinel-1; the second one using ALOS PALSAR; and the third one using ERS. Likewise, two flood mappings of this zone are obtained using Sentinel-1SAR and ERS imagery respectively, while emphasizing that the first one yields the highest accuracy percentage (49.3500%) with a kappa coefficient value of 0.2506. The findings from the area covered by the flood zone with respect to the total area of the river basin correspond to 3.49% and 4.92% respectively. Carrying out further parallel research studies is recommended, because adding new processes may help improve either final product quality or the results obtained in this investigation-

Keywords: classification, ERS, Sentinel-1, ALOS PALSAR, accuracy

Tabla de contenido

1.	Introducción	1
2.	Objetivos de la investigación.....	3
2.1.	Objetivo general	3
2.2.	Objetivos específicos.....	3
3.	Marco de referencia	4
3.1.	Marco teórico	4
3.1.1.	Cobertura de suelo	4
3.1.2.	Zonas Inundadas	4
3.1.3.	Clasificación de cobertura de suelo	5
3.1.4.	Sentinel-1	6
4.	Materiales y métodos.....	8
4.1.	Imágenes de radar.....	8
4.2.	Metodología.....	10
4.3.	Zona de estudio	15
5.	Resultados.....	16
6.	Discusión	25
7.	Conclusiones.....	25
8.	Referencias bibliográficas	26
9.	Anexos	28

Índice de tablas

Tabla 1. Sistema de clasificación corine land cover.....	6
Tabla 2. Objetivo de las misiones sentinel	7
Tabla 3. Frecuencia y longitudes de onda de las diferentes bandas.....	9
Tabla 4. Misiones satelitales de radar a detalle	10
tabla 5. Resumen de características e información de las imágenes de radar	14
Tabla 6. Paleta de colores utilizada en cada una de las clasificaciones	19
Tabla 7. Precisión general y coeficiente kappa.....	20
Tabla 8. Leyenda de colores y porcentaje ocupado en el mapeo	23
Tabla 9. Precision general y coeficiente kappa	23
Tabla 10. Área de inundación presente en la cuenca y porcentaje de área	24

Índice de figuras

Figura 1. Variación de la retrodispersión en diferentes superficies de suelo.....	8
Figura 2. Asf vertex plataforma en la cual se descargan las diferentes imágenes de radar	11
Figura 3. Procesamiento de informacion en el software snap desktop.....	12
Figura 4. Imagen rgb que proporciona una previsualización	12
Figura 5. Flujo de procesamiento de la información en software snap desktop.....	13
Figura 6. Mapa de delimitación de la cuenca del rio san pablo realizado en qgis	15
Figura 7. Clasificación de cobertura de suelo n ⁰ 1 generada mediante sentinel-1	16
Figura 8. Clasificación de cobertura de suelo n ⁰ 2 generada mediante alos palsar	17
Figura 9. Clasificación de cobertura de suelo n ⁰ 3 generada mediante imágenes ers	18
Figura 10. Mapeo de la zona de inundación n ⁰ 4 generada mediante imágenes sentinel-1..	21
Figura 11. Mapeo de la zona de inundación n ⁰ 5 generada mediante imágenes ers.....	22

Índice de anexos

Anexos 1. Visualización de la clasificación cobertura de suelo n ⁰ 2 en google earth pro....	28
Anexos 2. Evidencia de problemas por lluvias en la ciudad de babahoyo	28
Anexos 3. Comparación de imágenes epoca seca(izquierda) y epoca lluviosa(derecha) ...	29
Anexos 4. Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión n ⁰ 1	30
Anexos 5. Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión n ⁰ 2	32
Anexos 6. Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión n ⁰ 3	34
Anexos 7. Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión n ⁰ 4	36
Anexos 8. Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión n ⁰ 5	38

1. Introducción

A través del tiempo se ha evidenciado que la cobertura y los usos de suelo tienden a tener repercusiones y alteraciones a corto, medio y largo plazo debido a diferentes acciones antrópicas producidas por los seres humanos o por variaciones de forma natural del medio ambiente, cuyos periodos son largos. Es de vital importancia generar investigaciones que permitan maximizar el aprovechamiento de los diferentes usos de suelo, de tal manera que el sector agrícola pueda tener un crecimiento en producción o que en las diferentes zonas inundables poder tomar acciones preventivas en sectores específicos.

El proyecto PP2-D11 investigó la capacidad de los satélites ERS1 y ERS2 con la finalidad de monitorear la deforestación producida en Indonesia en un periodo de 5 años para posteriormente realizar un monitoreo continuo de la zona. Dicha investigación arrojó resultados prometedores para la conservación y monitoreo de selvas tropicales ya que pudo detectar áreas en las que se producen la tala selectiva de árboles. (Kuntz & Siegert, 2010)

Según Li et al. (2012) mediante la utilización de ALOS PALSAR, RADARSAT-2 (datos de banda C) e imágenes texturales en la zona de bosque húmedo correspondiente al estado de Pará en Brasil, utilizaron métodos de combinación de imágenes y correlación de coeficientes con la finalidad de obtener una clasificación de cobertura de suelo aceptable.

Según Sirro et al. (2018) el uso de imágenes de banda larga tiene un potencial mucho mayor en comparación con las imágenes de banda corta, ya que las imágenes de banda larga tienen una mayor capacidad de penetrar el suelo y los diferentes objetos, además de poseer una longitud de onda mayor, inversamente proporcional a la frecuencia. Su investigación basada en reducir las emisiones causadas por la deforestación y degradación forestal mediante la aplicación de radares ópticos y apertura sintética en el estado de Chiapas-México.

Con la ayuda de herramientas Landsat y Sentinel se logró evidenciar que el 60% de zonas degradadas en la zona del Choco-Colombia son a causa de la agricultura ilícita y minería aluvial. Puesto que se encontró abundancia de matorrales se debe resaltar la importancia de generar futuras investigaciones para encontrar estrategias de recuperación de bosques. Además, la capacidad de aplicación dicha investigación se extiende a países como: Perú, Bolivia y Ecuador. (Anaya , y otros, 2020)

Un estudio en Papúa Nueva Guinea valoró el potencial de los datos ERS-1 en la exclusión de aquellas zonas que no corresponden a la vegetación de bosque; debido al alto nivel de nubosidad presente en el estudio se tuvo que hacer la recolección de datos al inicio y final de la época seca, además de una tercera muestra en época lluviosa. Con el lanzamiento del ERS-2 en 1995 este estudio planteó la posibilidad del monitoreo continuo de estos bosques en dicho país. (Conway, 2010)

Esta investigación se basa en el análisis y manejo de imágenes de radar como Sentinel-1, ERS y ALOS PALSAR con la finalidad de realizar una clasificación de cobertura de suelo y zonas inundadas en la cuenca del río San Pablo, que debido a las condiciones de la zona y al estar ubicada cerca de la cordillera de Los Andes posee un alto nivel de nubosidad; para lo cual se utilizaron imágenes que ofrecen la facilidad de penetrar en dichas zonas con alto nivel de nubosidad, el suelo y zonas inundadas pertenecientes al área de interés.

2. Objetivos de la investigación

2.1. Objetivo general

Determinar los cambios en cobertura de suelos y zonas inundadas utilizando imágenes de radar en la cuenca San Pablo de la provincia de Los Ríos.

2.2. Objetivos específicos

- Clasificar los diferentes usos de suelo y zonas inundadas existentes en la cuenca de estudio.
- Comparar los resultados obtenidos entre las diferentes clasificaciones de cobertura de suelo y zonas inundadas para imágenes de banda corta y banda larga.
- Emplear diferentes métodos que permitan validar los diferentes resultados y coeficientes obtenidos durante la investigación.

3. Marco de referencia

3.1. Marco teórico

3.1.1. Cobertura de suelo

La agricultura, ganadería y minería, actividades realizadas por los seres humanos son la causa principal de las variaciones del suelo. Se debe especificar como la cobertura de nuestro suelo a la vegetación, agua, construcciones y cultivos. Las diferentes escalas desde globales hasta locales; que cubren el pasado, presente y futuro se encuentran plasmados en los mapas de uso y cobertura de suelo. Diferentes factores biológicos y socioeconómicos de una sociedad que depende y cambia según la actividad antrópica que se realice y los fenómenos naturales que ocurran en un periodo de tiempo son la causa principal de todas sus alteraciones. (Rawat & Kumar, 2015)

Se estima que los seres humanos han ido transformando toda la superficie en búsqueda de cubrir sus necesidades. Las transformaciones en la cobertura del suelo en la mayor parte de los países, se debe a la transición de una cobertura forestal a uso de suelo agrícola. (Sepúlveda-Varas, Saavedra-Briones, & Esse, 2019)

3.1.2. Zonas Inundadas

Se produce a causa de un desbordamiento de un cuerpo de agua en áreas que generalmente carecen de la misma. Se puede puntualizar una inundación como un fenómeno caótico de movimiento, no solo de agua ya que debido al desplazamiento se produce la unión y difusión de diferentes elementos que pueden llegar a repercutir y alterar las características físico-químicas del suelo a lo largo del tiempo. Abordar este tema tiene contrapuntos, como en el aspecto técnico-científico se puede llegar a recolectar una gran cantidad de datos, así como para emprender diferentes acciones de prevención y seguridad social en diferentes instancias que generen competencias y responsabilidad por parte de diferentes organismos. (Barbini, y otros, 2021)

3.1.3. Clasificación de cobertura de suelo

Como su nombre lo indica es una tabla o esquema que nos permite distinguir cada materia que conforma la cobertura de la tierra. Toda clasificación requiere de parámetros y límites establecidos, que deben ser precisos, claros, cuantitativo, y basado en criterios objetivos; los que a su vez en cualquier escala independiente deben aplicarse. (Di Gregorio, 2005)

Son variados los sistemas de clasificación, los mismos que se han elaborado en base a objetivos particulares, claro está con ciertas variaciones. Entre los sistemas más destacados están: Clasificación de la Unión Geográfica Internacional(UGI) creado en 1930, el Servicio Geológico de los Estados Unidos(USGS) que data en 1976, el ITC, el CIAF. (Melo , Camacho , Luis Hernando , & Milton Antonio, 2005)

Al observar la Tabla 1 muestra un detalle de las particularidades de la superficie terrestre donde los tres primeros niveles jerárquicos son de carácter exploratorio, reconocimiento y semidetallado respectivamente; los demás niveles reflejan las subdivisiones de las clases de cobertura. (Ardila, 2010)

Tabla 1.

Sistema de clasificación Corine Land Cover.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6
Urbano	Ciudades o edificios	2	0	-	-
	Industrias	5	8	-	-
	Mineria	2	10	-	-
	Zona alterada por el avance de la vida urbana	2	9	-	-
Agrícola	Cultivos de ciclo corto	5	15	-	-
	Cultivos de ciclo largo	5	17	-	-
	Pastos	3	0	-	-
	Parcelas	5	0	-	-
Bosques y áreas seminaturales	Bosques	5	8	8	3
	Áreas con vegetación arbustiva	3	6	6	7
	Áreas con poca vegetación	5	5	-	-
Humedales	Humedales continentales	3	-	-	-
	Humedales costeros	4	-	-	-
Superficies de agua	Aguas continentales	3	5	3	-
	Aguas marinas	3	2	4	-

Fuente: Ardila (2010)

3.1.4. Sentinel-1

Copernicus es el resultado de un trabajo conjunto de diversas comisiones europeas cuyos distintos objetivos se los puede percibir más a detalle en la Tabla 2 teniendo como propósito la exploración de la tierra. En el procesamiento de las imágenes se puede distinguir: Nivel 0 que se refiere a los datos en bruto, Nivel 1 encontramos un mayor grado de detección en la tierra; Nivel 2 utilizado para corrientes marinas y vientos. (Novillo, 2021)

Tabla 2.

Objetivo de las misiones Sentinel.

Misión	Objetivo
Sentinel 1	Monitoreo terrestre y oceánico
Sentinel 2	Monitoreo terrestre
Sentinel 3	Monitoreo de temperaturas y topografías
Sentinel 4	Monitoreo atmosférico
Sentinel 5	Monitoreo atmosférico
Sentinel 5P	Mediciones atmosféricas. Precursor del Sentinel 4 y 5
Sentinel 6	Monitoreo oceánico

Fuente: Novillo (2021)

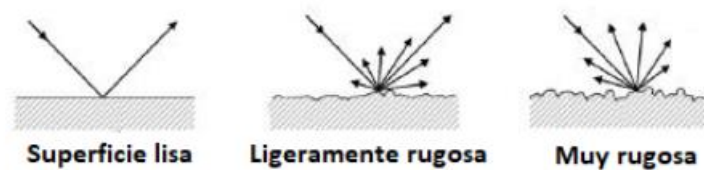
4. Materiales y métodos

4.1. Imágenes de radar

Es en la Segunda Guerra Mundial que nace esta tecnología cuyo principio físico se basa en difundir pulsos de energía electromagnética, con la característica de un rango muy reducido de frecuencia y la particularidad que a partir de los datos receptados de energía electromagnética plasmar las imágenes. La tecnología SAR a través del tiempo ha aumentado significativamente la eficiencia de sus productos, convirtiéndola en una herramienta importante en la investigación y observación terrestre ya que factores como la iluminación o la excesiva presencia de nubes no limitan su efectividad (Fernández-Ordoñez , y otros, 2020). En la Figura 1 se puede observar la variación la retrodispersión producida por la rugosidad en las diferentes superficies de suelo.

Figura 1.

Variación de la retrodispersión en diferentes superficies de suelo.



Fuente: Novillo (2021)

Entre las aplicaciones más importantes se pueden destacar: las variaciones en la utilización del suelo, la verificación y control en derrames de petróleo, el monitoreo de cultivos, el seguimiento de inundaciones, entre otros. Una imagen de radar va a depender de ciertas limitantes como: la polarización enviada y recibida, que tanto afecta la repercusión del ángulo y la resolución captada en el tiempo y el espacio (Fernández-Ordoñez , y otros, 2020). Sentinel-1 posee la capacidad de enviar y recibir cuatro tipos diferentes de configuraciones:

- HH: Transmitida y recibida horizontalmente
- HV: Transmitida horizontalmente y recibida verticalmente
- VH: Transmitida verticalmente y recibida horizontalmente

- VV: Transmitida y recibida verticalmente

En la Tabla 3 se observa las diferentes bandas y sus respectivas frecuencias y longitud de onda. A mayor longitud de onda mayor será la capacidad de penetración en el medio puesto que hay una relación directa entre ambas.

Tabla 3.

Frecuencia y longitudes de onda de las diferentes bandas

Banda	Frecuencia (GHz)	Longitud de onda (cm)
P	0,5 – 0,25	60 – 120
L	1 – 2	15 – 30
S	2 – 3,75	8 – 15
C	3,75 – 7,5	4 – 8
X	7,5 – 12	2,5 – 4
Ku	12 – 17,6	1,7 – 2,5
K	18 – 25	1,2 – 1,67
Ka	25 – 40	0,75 – 1,2

Fuente: Novillo (2021)

En la Tabla 4 podemos encontrar las diferentes misiones realizadas a través del tiempo a mayor detalle, cuales se encuentran en operación, tipo de imágenes que capturan, polarización que emplean y un análisis de su funcionamiento.

Tabla 4.

Misiones satelitales de radar a detalle.

	Misiones en operación			Misiones finalizadas			Misiones planificadas		
Satélite	RADARSAT-1	ENVISAT	ERS-2	ERS-1	SIR-C	JERS-1	RADARSAT-2	ALOS	SAOCOM
Banda	C	C	C	C	L,C	L	C	L	L
Polarización	HH	HH o VV, VV o HH	VV	VV	ALL	HH	HH+HV, VV+VH y HH+HV+VV+VH	HH o VV, HV o VH	HH+HV, VV+VH y HH+HV+VV+VH
Ángulo de incidencia (Grados)	10 - 60	20 - 45	24	24	17 - 60	35	10 - 60	20 - 55	11,8 - 48,6
Resolución (metros)	10 - 100	30	25	25	25	18	3 - 100	10 - 100	10 - 100
Ancho de Swath (Km)	50 - 500	50 - 400	100	100	15 - 40	76	10 - 500	70 - 250	31 - 126
Lanzamiento	1995	1999	1995	1991	1994	1992	2004	2004	2005

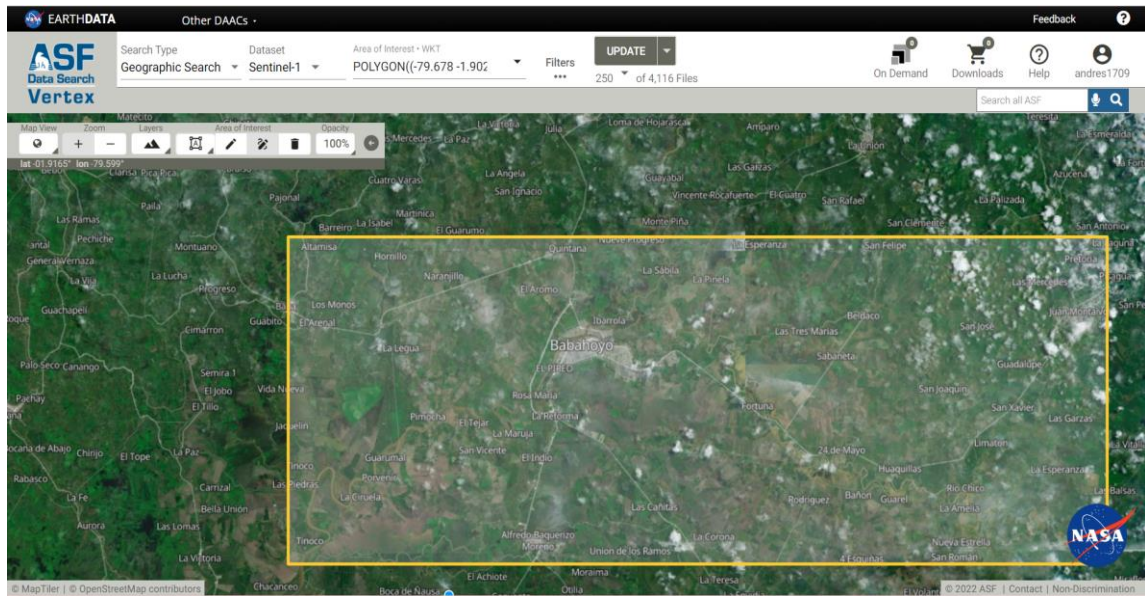
Fuente: Resources (2016)

4.2. Metodología

Se utilizó la herramienta Google Earth Pro para escoger el intervalo de tiempo en que se descarga la imagen de radar; mediante el Alaska Satellite Facility se delimita con un polígono el área en el que está ubicada la cuenca y se procede a descargar la imagen SAR. Es importante recalcar los parámetros de polarización y la banda en que se va a trabajar. En la Figura 2 se contempla el ASF Vertex donde se descargan las imágenes de radar.

Figura 2.

ASF Vertex plataforma en la cual se descargan las diferentes imágenes de radar utilizadas

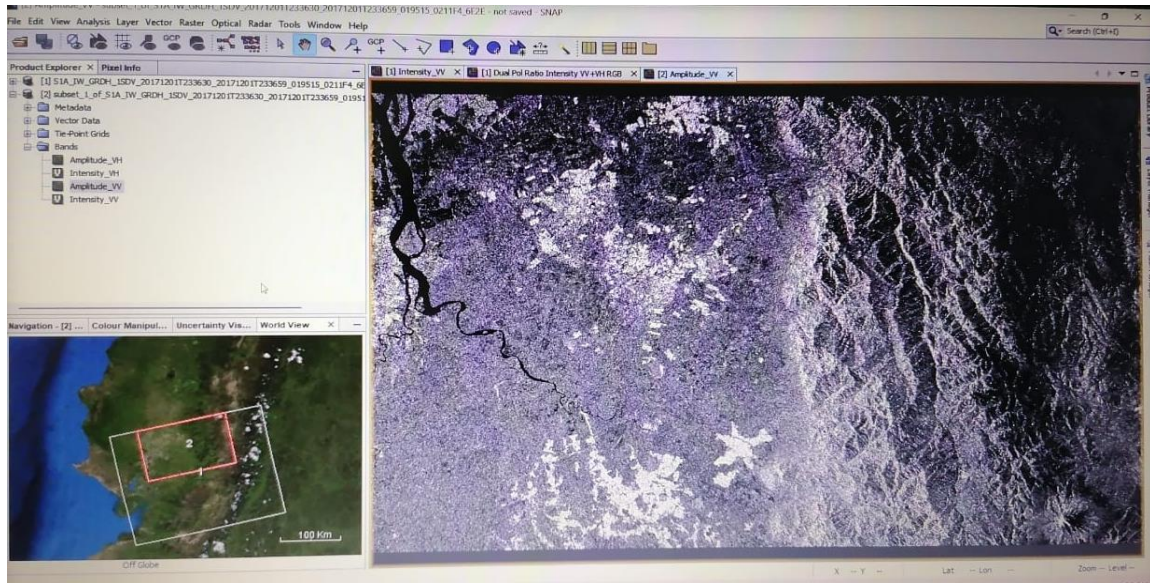


Fuente: Autor (2022)

Posteriormente en el software SNAP Desktop se realizaron una serie de procesamientos con la finalidad de clasificar los distintos cuerpos de agua, cobertura y usos de suelos, y zonas inundadas; en la Figura 3 se puede observar el manejo y procesamiento del programa SNAP Desktop para esta investigación. Es necesario realizar un recorte al producto descargado que se va a utilizar debido que la imagen de radar descargada abarca un área considerablemente mayor al que comprende en su totalidad la cuenca.

Figura 3.

Procesamiento de información en el software SNAP Desktop

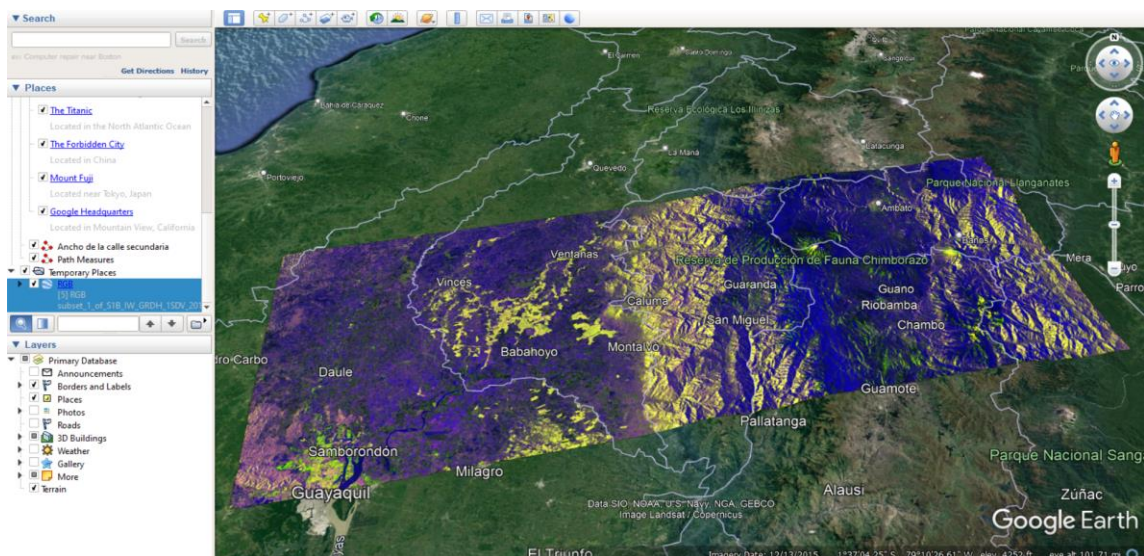


Fuente: Autor (2022)

En la Figura 4 se puede observar una imagen RGB (red, green and blue) es una herramienta importante en la previsualización de los diferentes cuerpos de agua; además de proporcionar información de las celdas, que dependerá del perfil a utilizar y la polarización que se asignará a cada color (Red: Intensity VV, Green: Intensity VH and Blue: Intensity VV/ Intensity VH).

Figura 4.

Imagen RGB que proporciona una previsualización de los diferentes cuerpos de agua y otros elementos

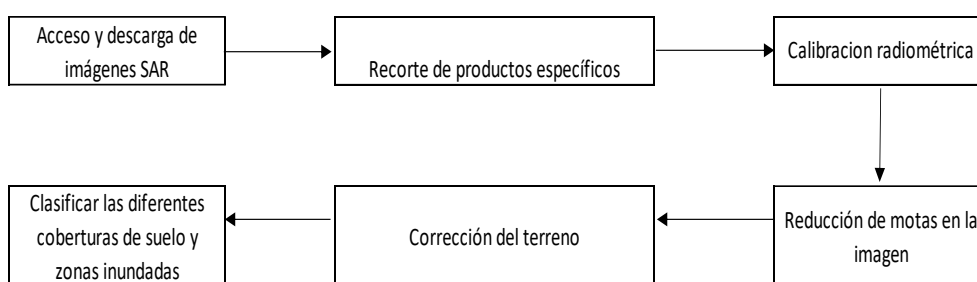


Fuente: Autor (2022)

A continuación, se realizó una calibración radiométrica y filtrado de motas; permitiendo que la relación directa entre el valor de cada pixel y la retrodispersión de la superficie, evitando la corrupción de información en las celdas respectivamente. Posteriormente se aplicó una corrección al terreno y finalmente se comenzó la clasificación de los diferentes usos de suelo presentes, se observó como mediante colores se iban rellenando cada una de las celdas y representaron cada uno de los usos de suelo según el criterio y análisis del investigador. La Figura 5 muestra el flujo de procesamiento de las imágenes en el software SNAP Desktop.

Figura 5.

Flujo de procesamiento de la información en el software SNAP Desktop



Fuente: Autor (2022)

En la Tabla 5 se puede observar características e información referente a las imágenes de radar descargadas para el manejo y procesamiento en esta investigación; además de la polarización que se usó, satélite que se empleó, fechas de inicio y fin de recolección de datos y la dirección de vuelo del satélite.

Tabla 5.

Resumen de características e información de las imágenes de radar utilizadas en la investigación

Clasificación No	Serie del archivo	Satélite	Banda	Polarización	Inicio de recolección de datos	Fin de recolección de datos	Dirección de vuelo del satelite	Calibración empleada
1	S1A_IW_GRDH_1SDV_2017120	Sentinel-1	C	VV+VH	1/6/2017	1/12/2017	Ascendente	Sigma
2	AP_24565_FBD_F7150_RT1	ALOS PALSAR	L	HH+HV	6/2010	12/2010	Ascendente	-
3	SAR_IMS_1PNESA19920607_15	ERS	C	VV	1/06/1992	31/12/1992	Descendente	-
Zonas de Inundación								
4	S1A_IW_GRDH_1SDV_2018021	Sentinel-1	C	VV+VH	1/2/2018	31/03/2018	Ascendente	Sigma
5	SAR_IMS_1PNESA19930207_15	ERS	C	VV	1/2/1993	31/03/1993	Ascendente	-

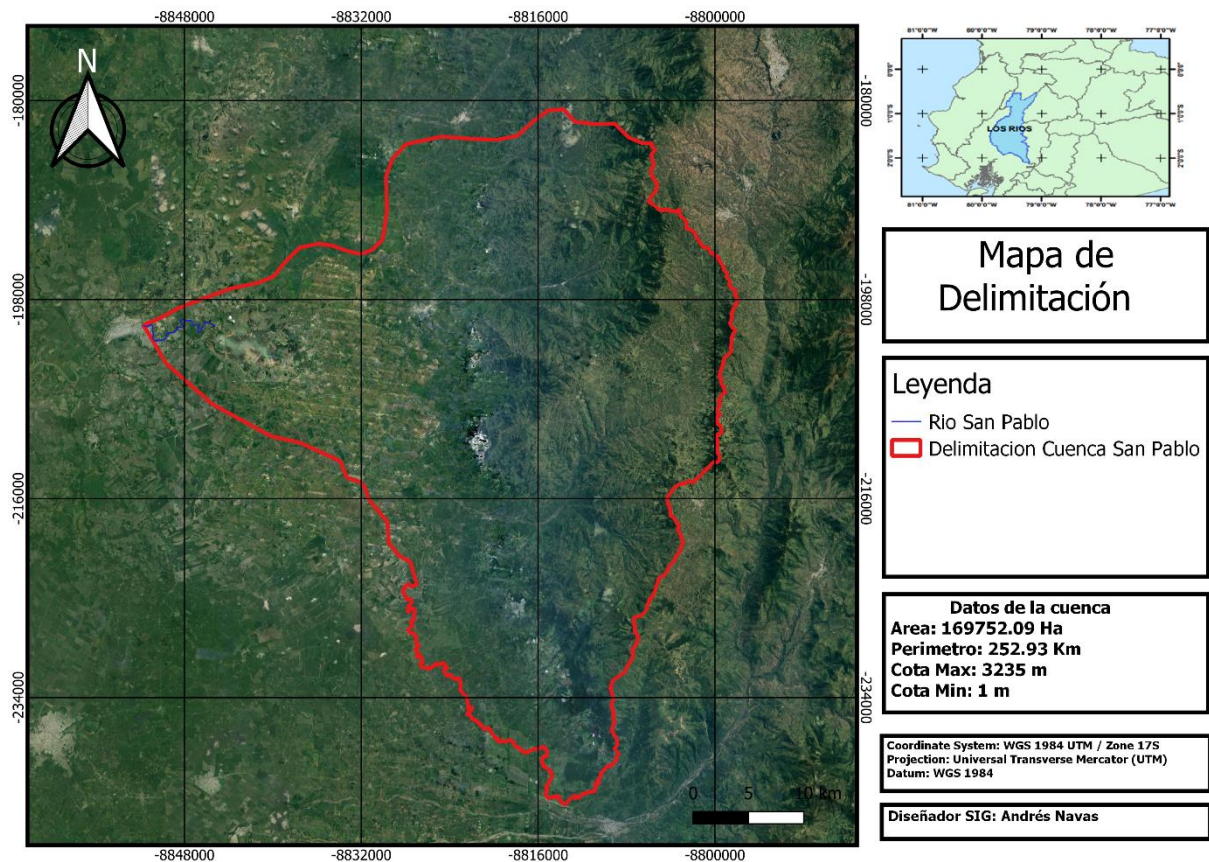
Fuente: Autor (2022)

4.3. Zona de estudio

La cuenca se encuentra ubicada haciendo centro geométrico en la ciudad de Babahoyo en la provincia de los Ríos; el río San Pablo se encuentra a una distancia cercana de los ríos Babahoyo y Pozuelos. Figura 6 detalla la delimitación de la cuenca generada mediante diferentes procesamientos en el software Qgis.

Figura 6.

Mapa de delimitación de la cuenca del río San Pablo realizado en Qgis



Fuente: Autor (2022)

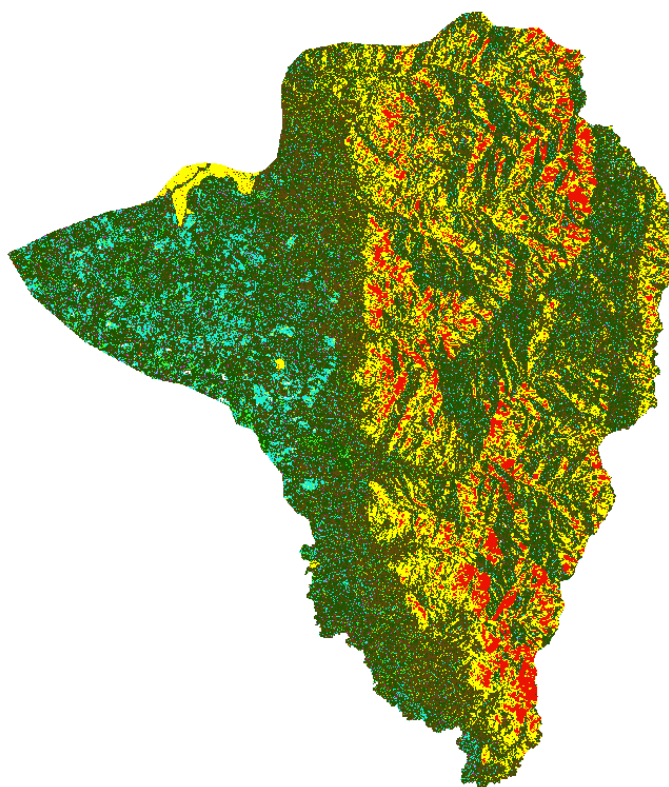
5. Resultados

Procesando diferentes imágenes de radar con variación de la banda empleada se obtuvieron diferentes resultados; entre las clases utilizadas para las clasificaciones de cobertura de suelo destacan: agua, urbano, pastizal, cultivos estacionales, mosaico natural, plantación de banano, bosque de montaña y sombra de bosque de montaña.

En la Figura 7 se evidencia la clasificación de cobertura de suelo obtenida al procesar imágenes Sentinel-1

Figura 7.

Clasificación de cobertura de suelo N°1 generada mediante imágenes Sentinel-1

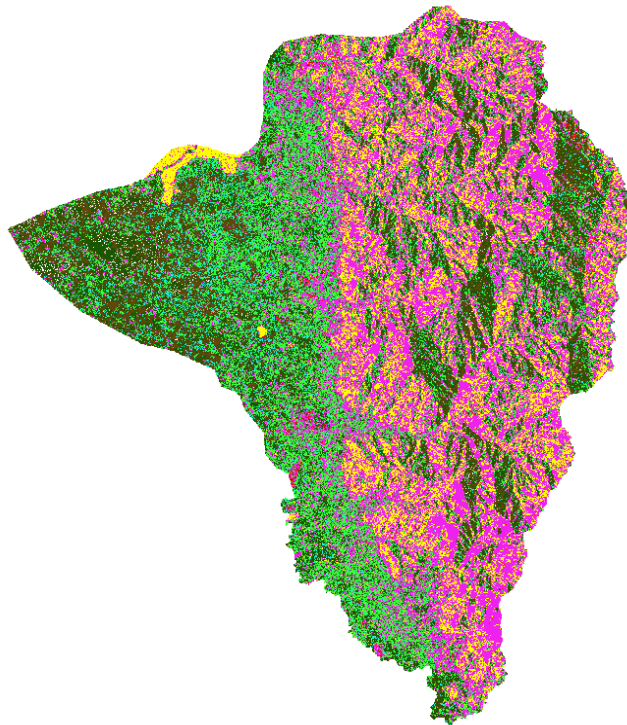


Fuente: Autor (2022)

La Figura 8 muestra la clasificación obtenida para ALOS PALSAR.

Figura 8.

Clasificación de cobertura de suelo N°2 generada mediante imágenes ALOS PALSAR



Fuente: Autor (2022)

La Figura 9 presenta la clasificación de cobertura de suelo con imágenes ERS.

Figura 9.

Clasificación de cobertura de suelo N⁰3 generada mediante imágenes ERS.

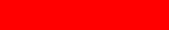
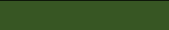
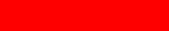
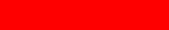


Fuente: Autor (2022)

En la Tabla 6 se pueden visualizar las etiquetas de colores de las diferentes clasificaciones de cobertura de suelo con sus porcentajes respectivos.

Tabla 6.

Paleta de colores utilizada en cada una de las clasificaciones y porcentajes existentes en cada clase de cobertura de suelo.

Clasificación No	Etiqueta	Color	Porcentaje
1	Agua		2.786%
	Urbano		4.341%
	Plantacion de banano		12.263%
	Cultivos estacionales		5.354%
	Bosque montañoso		35.208%
	Sombra de bosque montañoso		37.837%
	Pradera		1.747%
	Mosaico Natural		0.463%
2	Agua		3.479%
	Urbano		0.716%
	Plantacion de banano		8.855%
	Cultivos estacionales		2.051%
	Bosque montañoso		24.403%
	Sombra de bosque montañoso		27.196%
	Pradera		12.197%
	Mosaico Natural		21.104%
3	Agua		12.844%
	Urbano		2.800%
	Plantacion de banano		15.874%
	Cultivos estacionales		12.204%
	Bosque montañoso		13.299%
	Sombra de bosque montañoso		18.807%
	Pradera		12.826%
	Mosaico Natural		11.345%

Fuente: Autor (2022)

Posteriormente cada una de las clasificaciones de cobertura de suelo fue exportada en formato Geotiff para realizar la evaluación de precisión; lo cual permitió obtener parámetros como la precisión general expresada en porcentaje y el coeficiente Kappa que es adimensional. En la Tabla 7 expone los resultados generados en este estudio previamente mencionados.

Tabla 7.

Precisión general y coeficiente Kappa para cada una de las clasificaciones de cobertura de suelo.

Clasificación No	Satélite	Precision General (%)	Coeficiente Kappa
1	Sentinel-1	29.4171	0.0575
2	ALOS PALSAR	9.8539	-0.0606
3	ERS	19.7522	0.0256

Fuente: Autor (2022)

Para el mapeo de zonas de inundación se tomó en consideración los meses de febrero y marzo como parámetro para filtrar las imágenes en las cuales se encuentra un mayor impacto de lluvias. Además, es importante aclarar que para banda larga no se encontraron imágenes de radar para el periodo de tiempo entre febrero y marzo del 2011; con el nivel de procesamiento de calidad necesario para descargar y emplear en el software SNAP.

Figura 10 indica los resultados obtenidos posteriores al procesamiento respectivo.

Figura 10.

Mapeo de la Zona de Inundación N°4 generada mediante imágenes Sentinel-1.



Fuente: Autor (2022)

Figura 11 presenta el resultado obtenido utilizando imágenes ERS para el mapeo de zonas inundación.

Figura 11.

Mapeo de Zona de Inundación N°5 generada mediante imágenes ERS.



Fuente: Autor (2022)

En la Tabla 8 se puede observar la leyenda de colores y porcentaje ocupado para cada una de las clases ocupados en los diferentes mapeos de zona de inundación.

Tabla 8.

Leyenda de colores y porcentaje ocupado en el mapeo de las diferentes zonas de inundación

Clasificación No	Etiqueta	Color	Porcentaje
4	Agua		5.571%
	Urbano		0.894%
	Plantacion de banano		0.323%
	Cultivos estacionales		1.761%
	Bosque montañoso		30.575%
	Sombra de bosque montañoso		47.572%
	Pradera		8.937%
	Mosaico Natural		4.367%
5	Agua		0.146%
	Urbano		0.335%
	Plantacion de banano		0.851%
	Cultivos estacionales		3.100%
	Bosque montañoso		43.466%
	Sombra de bosque montañoso		49.628%
	Pradera		0.701%
	Mosaico Natural		1.772%

Fuente: Autor (2022)

Posteriormente se realizó la respectiva evaluación de precisión. Como se evidencia en la Tabla 9 se obtuvieron parámetros como la precisión general y el coeficiente Kappa.

Tabla 9.

Precisión general y coeficiente Kappa para los diferentes mapeos de las zonas de inundación.

Clasificación No	Satelite	Precision General(%)	Coeficiente Kappa
4	Sentinel-1	49.3500	0.2506
5	ERS	39.7048	0.0889

Fuente: Autor (2022)

Para finalizar se calculó el área de inundación existente en la cuenca cuyos resultados se encuentran presentes en la Tabla 10.

Tabla 10.

Área de inundación presente en la cuenca y porcentaje de área que abarca la zona de inundación.

Clasificación No	Satélite	Banda	Área (Km2)	Porcentaje de área que cubre la zona inundada respecto al área total de la cuenca
4	Sentinel-1	C	59.374	3.49%
5	ERS	C	83.576	4.92%

Fuente: Autor (2022)

6. Discusión

Como en otros documentos de investigación científica es importante destacar la importancia del análisis para la clasificación de cobertura de suelo entre una banda y otra; además identificar en que polarización se visualizan de mejor manera los cuerpos de agua, zonas inundadas, zonas de cultivo, bosque, entre otros. La capacidad de análisis y manejo de las imágenes de radar son factores relevantes para realizar dichos productos como son las clasificaciones de cobertura de suelo y zonas inundadas.

Es fundamental motivar a continuar investigaciones de esta índole; ya que aumentar pasos adicionales en el procesamiento de imágenes de radar puede dar como resultado una mejora en el producto final.

7. Conclusiones

Esta investigación evidencia el uso y procesamiento de imágenes de radar con banda C y L para un área en el que se encuentra un alto nivel de nubosidad y es beneficioso por la capacidad de penetrar las nubes, cuerpos de agua y zonas inundadas que posee un radar de apertura sintética. Puedo manifestar mediante este trabajo que las clasificaciones de cobertura de suelo y zonas inundadas obtenidas varían tanto la banda empleada como sus métodos de procesamiento; además, cabe resaltar los resultados adicionales como son el porcentaje de precisión general, coeficiente Kappa y el área inundable presente en la zona de estudio.

8. Referencias bibliográficas

Anaya , J., Gutierrez-Velez, V., Pacheco-Pascagaza, A., Palomino-Angel, S., Han, N., &

Balzter, H. (2020). Drivers of Forest Loss in a Megadiverse Hotspot on the Pacific Coast of Colombia. *remote sensing*. doi:<https://doi.org/10.3390/rs12081235>

Ardila, J. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

Barbini, A., Tabarez, M., Ortiz, F., Ceballos , M., Lucia, A., Previtali, E., & Corvalán-Moya, C. (2021). *Análisis de suelos para estudiar la seguridad sociambiental de zonas que estuvieron inundadas en la provincia de Tucumán. Determinación de la línea base*. INNOVA UNTREF.

Conway, J. (2010). Evaluating ERS-1 SAR data for the discrimination of tropical forest from other tropical vegetation types in Papua New Guinea. *International Journal of Remote Sensing*. doi:<https://doi.org/10.1080/014311697217152>

Di Gregorio, A. (2005). *Sistema de Clasificación de la Cobertura de la Tierra. Conceptos de Clasificación y manual para el usuario Software Versión 2*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

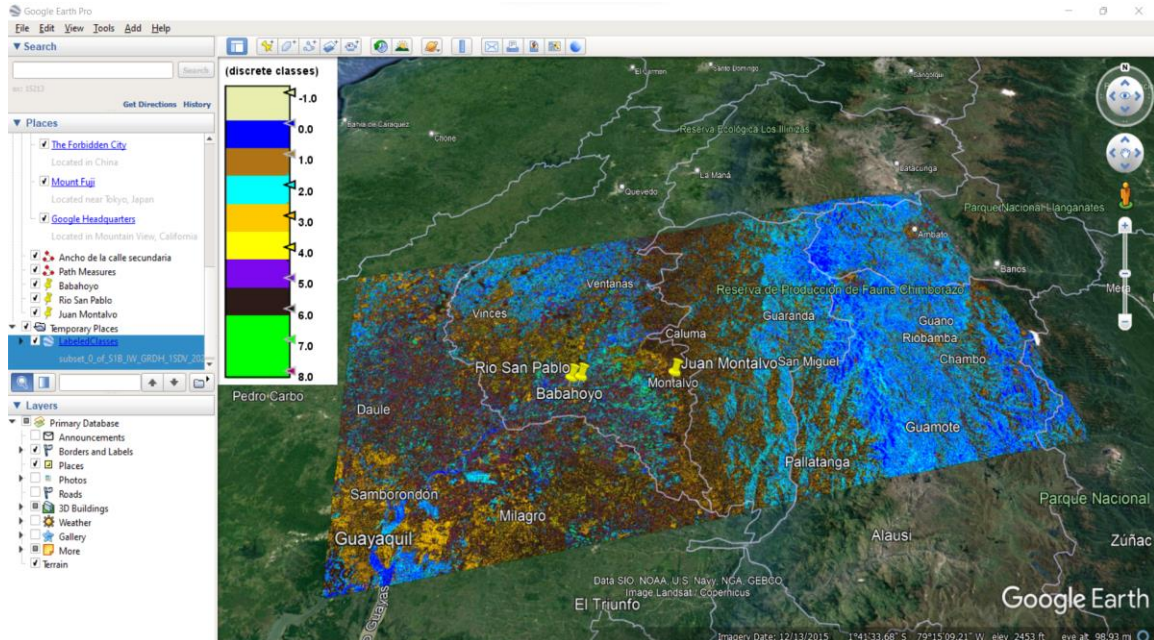
Fernández-Ordoñez , Y., Soria-Ruiz, J., Leblon, B., Macedo-Cruz, A., Ramírez Guzmán , M., & Escalona-Maurice, M. (2020). *Imágenes de radar para estudios territoriales, caso: inundaciones en Tabasco con el uso de imágenes SAR Sentinel-1A y Radarsat-2*. Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía. Obtenido de <https://rde.inegi.org.mx/wp-content/uploads/2020/02/RDE30-old.pdf#page=7>

- Kuntz, S., & Siegert, F. (2010). Monitoring of deforestation and land use in Indonesia with multitemporal ERS data. *International Journal of Remote Sensing*.
doi:<https://doi.org/10.1080/014311699211822>
- Li, G., Lu, D., Moran, E., Dutra, L., & Batistella, M. (2012). A comparative analysis of ALOS PALSAR L-band and RADARSAT-2 C-band data for land-cover classification in a tropical moist region. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.03.010>
- Melo, W., Camacho, Luis Hernando, & Milton Antonio. (2005). *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura y uso de la tierra*. Centro de Investigación y Desarrollo de Información Geográfica, CIAF, Colombia.
- Novillo, H. (2021). *Determinación de zonas inundadas mediante imágenes de radar e imágenes multiespectrales*.
- Rawat, J., & Kumar, M. (2015). *Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences .
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002>
- Sepúlveda-Varas, A., Saavedra-Briones, P., & Esse, C. (2019). *Análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en una subcuenca preandina chilena. Herramienta para la sustentabilidad productiva de un territorio*. Revista de Geografía Norte Grande.
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022019000100009>
- Sirro, L., Häme, T., Rauste, Y., Kilpi, J., Hämäläinen, J., Gunia, K., . . . Paz Pellat, F. (2018). Potential of Different Optical and SAR Data in Forest and Land Cover Classification to Support REED+MRV. *remote sensing*. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10060942>

9. Anexos

Anexos 1.

Visualización de la clasificación de cobertura de suelo No2 en la aplicación Google Earth Pro



Fuente: Autor (2022)

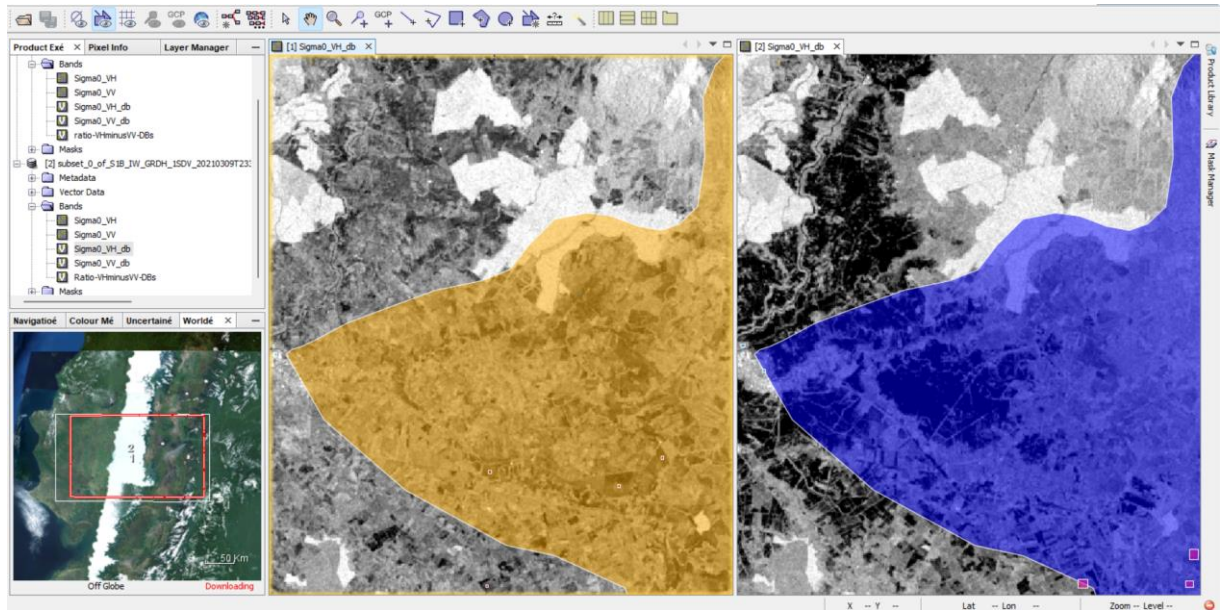
Anexos 2.

Evidencia de problemas por lluvias en la ciudad de Babahoyo según periódico La hora en febrero del 2018 y 2020



Anexos 3.

Comparación de imágenes en época seca(izquierda) y época lluviosa(derecha) con la finalidad de detectar las zonas inundables.



Fuente: Autor (2022)

Anexos 4.

Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión efectuada en la Clasificación N°1

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
3	1	2	3433
10	1	4	26601
15	1	5	4539
21	1	6	11
9	2	3	3107
14	2	4	14564
20	2	5	5271
27	2	6	2709
13	3	3	11189
19	3	4	11407
26	3	5	3989
33	3	6	92
39	3	7	2598
7	4	1	58405
12	4	2	51496
18	4	3	10042
25	4	4	125633
32	4	5	73974
11	5	1	3887
17	5	2	22310
24	5	3	15536
31	5	4	299814
37	5	5	205193
42	5	6	7190
46	5	7	6599
16	6	1	15037
23	6	2	95721
36	6	4	13837
41	6	5	17849
35	7	3	3037
40	7	4	56058
44	7	5	31925
49	7	7	2295

	> ERROR MATRIX (pixel count)							
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	0	0	0	58405	3887	15037	0	77329
2	3433	0	0	51496	22310	95721	0	172960
3	0	3107	11189	10042	15536	0	3037	42911
4	26601	14564	11407	125633	299814	13837	56058	547914
5	4539	5271	3989	73974	205193	17849	31925	342740
6	11	2709	92	0	7190	0	0	10002
7	0	0	2598	0	6599	0	2295	11492
Total	34584	25651	29275	319550	560529	142444	93315	1205348

> AREA BASED ERROR MATRIX									
	> Reference								
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Area	Wi
1	0	0	0	0.0508	0.0034	0.0131	0	114168801	0.0673
2	0.0034	0	0	0.0516	0.0223	0.0959	0	293752430	0.1732
3	0	0.0044	0.0157	0.0141	0.0218	0	0.0043	101965200	0.0601
4	0.0161	0.0088	0.0069	0.0758	0.181	0.0084	0.0338	560857295	0.3307
5	0.0045	0.0052	0.0039	0.0725	0.2012	0.0175	0.0313	569926995	0.336
6	0	0.0068	0.0002	0	0.0181	0	0	42732788	0.0252
7	0	0	0.0017	0	0.0043	0	0.0015	12558937	0.0074
Total	0.024	0.0251	0.0284	0.2648	0.452	0.1348	0.0709	1695962446	
Area	40654639	42629810	48129184	449159987	766579498	228615829	120193500	1695962446	
SE	0.0001	0.0002	0.0002	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002		
SE area	220931	285549	270879	663895	728194	458937	388471		
95% CI area	433025	559676	530922	1301234	1427261	899516	761403		
PA [%]	0	0	55.2416	28.6314	44.5102	0	2.0867		
UA [%]	0	0	26.0749	22.9293	59.8684	0	19.9704		
Kappa hat	-0.0246	-0.0258	0.2392	-0.0484	0.2677	-0.1558	0.1387		

Fuente: Autor (2022)

Anexos 5.

Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión efectuada en la Clasificación N°2

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
1	1	1	9141
6	1	3	849
10	1	4	13263
21	1	6	2874
28	1	7	8457
9	2	3	142
14	2	4	4046
20	2	5	15480
27	2	6	2444
34	2	7	3539
13	3	3	67
19	3	4	1246
26	3	5	20511
33	3	6	7451
12	4	2	77505
18	4	3	4686
25	4	4	60084
32	4	5	51318
38	4	6	17333
43	4	7	108624
11	5	1	9739
17	5	2	15509
24	5	3	51176
31	5	4	212004
37	5	5	115774
42	5	6	93536
46	5	7	62791
16	6	1	2257
23	6	2	98430
36	6	4	1036
48	6	7	40721
35	7	3	15820
40	7	4	31924
44	7	5	26168
47	7	6	15783
49	7	7	3620

> ERROR MATRIX (pixel count)								
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	9141	0	0	0	9739	2257	0	21137
2	0	0	0	77505	15509	98430	0	191444
3	849	142	67	4686	51176	0	15820	72740
4	13263	4046	1246	60084	212004	1036	31924	323603
5	0	15480	20511	51318	115774	0	26168	229251
6	2874	2444	7451	17333	93536	0	15783	139421
7	8457	3539	0	108624	62791	40721	3620	227752
Total	34584	25651	29275	319550	560529	142444	93315	1205348

> AREA BASED ERROR MATRIX									
	> Reference								
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Area	Wi
1	0.0066	0	0	0	0.007	0.0016	0	25680165	0.0152
2	0	0	0	0.0581	0.0116	0.0737	0	242594277	0.1434
3	0.0005	0.0001	0	0.0029	0.0312	0	0.0096	74963804	0.0443
4	0.0077	0.0024	0.0007	0.0349	0.1233	0.0006	0.0186	318295689	0.1881
5	0	0.0069	0.0092	0.023	0.0518	0	0.0117	173694892	0.1027
6	0.0038	0.0032	0.0097	0.0227	0.1223	0	0.0206	308288171	0.1822
7	0.012	0.005	0	0.1546	0.0893	0.0579	0.0052	548258025	0.3241
Total	0.0306	0.0176	0.0197	0.296	0.4365	0.1339	0.0657	1691775023	
Area	51739377	29778070	33310705	500835337	738451469	226515781	111144284	1691775023	
SE	0.0002	0.0001	0.0001	0.0004	0.0004	0.0003	0.0002		
SE area	286016	210315	215586	743229	751299	523976	378645		
95% CI area	560592	412216	422548	1456729	1472545	1026992	742145		
PA [%]	21.4648	0	0.2073	11.8	11.8786	0	7.8405		
UA [%]	43.2464	0	0.0921	18.5672	50.501	0	1.5894		
Kappa hat	0.4146	-0.0179	-0.0191	-0.1568	0.1216	-0.1546	-0.0533		

Fuente: Autor (2022)

Anexos 6.

Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión efectuada en la Clasificación N°3

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
3	1	2	877
6	1	3	6074
10	1	4	5519
15	1	5	3174
21	1	6	7391
28	1	7	4400
5	2	2	573
9	2	3	4457
14	2	4	6474
20	2	5	6331
27	2	6	3693
34	2	7	2428
8	3	2	1573
13	3	3	4258
19	3	4	5520
26	3	5	2074
33	3	6	6926
39	3	7	3583
7	4	1	10207
12	4	2	20378
18	4	3	20369
25	4	4	82100
32	4	5	107954
38	4	6	18305
43	4	7	32618
11	5	1	48900
17	5	2	100823
24	5	3	56796
31	5	4	87855
37	5	5	97451
42	5	6	53553
46	5	7	54902
23	6	2	4296
30	6	3	22625
36	6	4	28684
41	6	5	15752
45	6	6	23387
48	6	7	18661
22	7	1	115
29	7	2	11707
35	7	3	13818
40	7	4	7896
44	7	5	6456
47	7	6	14787
49	7	7	16058

	> ERROR MATRIX (pixel count)							
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	0	0	0	10207	48900	0	115	59222
2	877	573	1573	20378	100823	4296	11707	140227
3	6074	4457	4258	20369	56796	22625	13818	128397
4	5519	6474	5520	82100	87855	28684	7896	224048
5	3174	6331	2074	107954	97451	15752	6456	239192
6	7391	3693	6926	18305	53553	23387	14787	128042
7	4400	2428	3583	32618	54902	18661	16058	132650
Total	27435	23956	23934	291931	500280	113405	70837	1051778

	> AREA BASED ERROR MATRIX								
	> Reference								
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Area	Wi
1	0	0	0	0.0052	0.0251	0	0.0001	44300791	0.0304
2	0.001	0.0007	0.0018	0.0234	0.116	0.0049	0.0135	235511601	0.1613
3	0.0067	0.0049	0.0047	0.0226	0.0629	0.0251	0.0153	207511012	0.1422
4	0.0048	0.0057	0.0048	0.0718	0.0769	0.0251	0.0069	286073682	0.196
5	0.0025	0.0051	0.0017	0.0862	0.0778	0.0126	0.0052	278858479	0.191
6	0.0082	0.0041	0.0076	0.0202	0.0591	0.0258	0.0163	206387698	0.1414
7	0.0046	0.0025	0.0037	0.0339	0.057	0.0194	0.0167	201015962	0.1377
Total	0.0278	0.0229	0.0244	0.2633	0.4748	0.1129	0.0739	1459659225	
Area	40617837	33444796	35583077	384399387	693010924	164745611	107857594	1459659225	
SE	0.0002	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005	0.0003	0.0003		
SE area	241805	215096	227464	600977	698435	455738	387156		
95% CI area	473938	421588	445829	1177914	1368933	893246	758826		
PA [%]	0	2.8774	19.3396	27.2708	16.3939	22.8819	22.5613		
UA [%]	0	0.4086	3.3163	36.6439	40.7417	18.2651	12.1055		
Kappa hat	-0.0286	-0.0193	0.009	0.1399	-0.1282	0.0787	0.0509		

Fuente: Autor (2022)

Anexos 7.

Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión efectuada en la Clasificación N⁰4

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
1	1	1	2950
15	1	5	29197
21	1	6	1495
28	1	7	942
20	2	5	19220
13	3	3	4676
19	3	4	503
26	3	5	23824
39	3	7	272
12	4	2	2745
25	4	4	243545
32	4	5	40327
38	4	6	32933
11	5	1	7316
17	5	2	3573
24	5	3	16361
31	5	4	148602
37	5	5	320929
42	5	6	32388
46	5	7	31360
23	6	2	19168
36	6	4	36615
41	6	5	80683
45	6	6	5978
35	7	3	10469
40	7	4	3771
44	7	5	44205
47	7	6	333
49	7	7	34537

> ERROR MATRIX (pixel count)								
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	2950	0	0	0	7316	0	0	10266
2	0	0	0	2745	3573	19168	0	25486
3	0	0	4676	0	16361	0	10469	31506
4	0	0	503	243545	148602	36615	3771	433036
5	29197	19220	23824	40327	320929	80683	44205	558385
6	1495	0	0	32933	32388	5978	333	73127
7	942	0	272	0	31360	0	34537	67111
Total	34584	19220	29275	319550	560529	142444	93315	1198917

> AREA BASED ERROR MATRIX									
	> Reference								
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Area	Wi
1	0.002	0	0	0	0.005	0	0	11709339	0.007
2	0	0	0	0.0012	0.0016	0.0085	0	18803814	0.0113
3	0	0	0.0023	0	0.0079	0	0.0051	25364337	0.0152
4	0	0	0.0005	0.237	0.1446	0.0356	0.0037	702067523	0.4213
5	0.02	0.0132	0.0164	0.0277	0.2204	0.0554	0.0304	638976004	0.3835
6	0.0024	0	0	0.0534	0.0525	0.0097	0.0005	197611838	0.1186
7	0.0006	0	0.0002	0	0.0201	0	0.0222	71853681	0.0431
Total	0.0251	0.0132	0.0193	0.3193	0.4521	0.1092	0.0618	1666386536	
Area	41824243	21993998	32133686	532019593	753423021	181987357	103004638	1666386536	
SE	0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0005	0.0003	0.0002		
SE area	225229	155891	184603	680178	771814	470283	298827		
95% CI area	441449	305547	361822	1333149	1512755	921754	585700		
PA [%]	8.045	0	11.7151	74.2175	48.744	8.8767	35.8991		
UA [%]	28.7356	0	14.8416	56.2413	57.4745	8.1748	51.4625		
Kappa hat	0.269	-0.0134	0.1317	0.3572	0.2238	-0.0308	0.4826		

Fuente: Autor (2022)

Anexos 8.

Matriz de confusión generada a partir de la evaluación de precisión efectuada en la Clasificación N°5

ErrMatrixCode	Reference	Classified	PixelSum
10	1	4	18857
15	1	5	15727
14	2	4	4707
20	2	5	20944
13	3	3	14727
19	3	4	9208
26	3	5	5340
18	4	3	282
25	4	4	137136
32	4	5	182132
17	5	2	550
24	5	3	7929
31	5	4	180008
37	5	5	346784
42	5	6	23775
46	5	7	1483
36	6	4	44065
41	6	5	95810
48	6	7	2569
40	7	4	20153
44	7	5	73162

> ERROR MATRIX (pixel count)								
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Total
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	550	0	0	550
3	0	0	14727	282	7929	0	0	22938
4	18857	4707	9208	137136	180008	44065	20153	414134
5	15727	20944	5340	182132	346784	95810	73162	739899
6	0	0	0	0	23775	0	0	23775
7	0	0	0	0	1483	2569	0	4052
Total	34584	25651	29275	319550	560529	142444	93315	1205348

> AREA BASED ERROR MATRIX								
	> Reference							
V_Classified	1	2	3	4	5	6	7	Area
1	0	0	0	0	0	0	0	929106
2	0	0	0	0	0.0059	0	0	9936852
3	0	0	0.0252	0.0005	0.0136	0	0	66623609
4	0.0201	0.005	0.0098	0.1463	0.192	0.047	0.0215	748716870
5	0.0102	0.0136	0.0035	0.1185	0.2255	0.0623	0.0476	815625276
6	0	0	0	0	0.0041	0	0	7018581
7	0	0	0	0	0.01	0.0172	0	46107543
Total	0.0303	0.0186	0.0385	0.2652	0.4511	0.1266	0.0691	1694957837
Area	51428361	31597382	65308456	449521197	764574706	214513931	117084699	1694957837
SE	0.0002	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005	0.0003	0.0002	
SE area	278448	199851	283452	684834	849742	593148	377861	
95% CI area	545758	391707	555566	1342275	1665495	1162571	740607	
PA [%]	0	0	65.4964	55.1541	49.9985	0	0	
UA [%]	nan	0	64.2035	33.1139	46.8691	0	0	
Kappa hat	nan	-0.019	0.6277	0.0897	0.0321	-0.1449	-0.0742	

Fuente: Autor (2022)