



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE DEFORESTACIÓN OCURRIDA
EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN LA ZONA INTANGIBLE
“TAGAERI TAROMENANE” (ZITT) MEDIANTE APLICACIÓN
DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA FORESTAL

AUTOR:

BRANLY RODRIGO VALVERDE CHÁVEZ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE DEFORESTACIÓN OCURRIDA
EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN LA ZONA INTANGIBLE
“TAGAERI TAROMENANE” (ZITT) MEDIANTE APLICACIÓN
DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA FORESTAL

AUTOR: BRANLY RODRIGO VALVERDE CHÁVEZ

DIRECTOR: Ing. JONNY ISRAEL GUAIÑA YUNGAN MSc

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Branly Rodrigo Valverde Chávez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, BRANLY RODRIGO VALVERDE CHÁVEZ, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 25 de marzo de 2022.

Branly Rodrigo Valverde Chávez
0604092106

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, “**ANÁLISIS DE LA DINÁMICA DE DEFORESTACIÓN OCURRIDA EN LOS ÚLTIMOS CINCO AÑOS EN LA ZONA INTANGIBLE “TAGAERI TAROMENANE” (ZITT) MEDIANTE APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS GEOESPACIALES**”, realizado por el señor: **BRANLY RODRIGO VALVERDE CHÁVEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Miguel Ángel Gualpa Calva MSc
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ANGEL
GUALPA CALVA**

2022/03/25

Ing. Jonny Israel Guaiña Yungan MSc
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

JONNY
ISRAEL
GUAINA
YUNGAN

Firmado electrónicamente por JONNY ISRAEL
GUAINA YUNGAN
Número de reconocimiento (DN):
cn=JONNY ISRAEL GUAINA YUNGAN,
serialNumber=28021770422,
o=CENTRO DE CERTIFICACION DE
INFORMACION, c=SECURITY DATA S.A.
S.A.S.
Fecha: 2022.04.24 20:30:46 -0500
Nombre de Archivo: Jonny Yungan
2022.03.2017

2022/03/25

Ing. Daniel Arturo Román Robalino MSc
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DANIEL ARTURO
ROMAN ROBALINO

Digitally signed by DANIEL
ARTURO ROMAN ROBALINO
Date: 2022.04.23 18:44:36
+05'00'

2022/03/25

DEDICATORIA

A las personas mas importantes de mi vida: a mi madre ESTHER ISABEL CHÁVEZ BALSECA por todos sus consejos, amor, dedicación y paciencia que me brindó desde el día que nací, por siempre estar pendiente de mi para salir juntos adelante. A mi padre RODRIGO GONZALO VALVERDE TAPIA, a pesar de no vivir juntos siempre estuvo apoyandome día tras día, por cada palabra de aliento para no detenerme jamas y avanzar para lograr mis metas. A mi enamorada JOSELYN VIVIANA HUILCA VILLALBA, que desde el día que nos conocimos me ayudó alcanzar este sueño, con amor, respeto, dedicación, paciencia y siempre confiando en mí; y estoy seguro que este triunfo es de los dos.

Branly

AGRADECIMIENTO

A DIOS por protegerme y guiarme en todos los momentos de mi vida y así lograr cumplir mi meta, por ser el que me ha acompañado en cada tristeza, alegría, triunfo y derrota; por jamás abandonarme.

A mis padres por su cariño, sacrificio, esfuerzo y confianza que siempre supieron brindarme.

A mi amada enamorada, por su constancia, dedicación, por jamas dejarme solo, por luchar junto a mi en las buenas y en las malas y saber comprenderme a pesar de mis errores, y querer una vida junto a mi.

A todos los profesores que me acompañaron durante tantos años de lucha y enseñanzas, por su paciencia y esfuerzo.

A la Escuela de Ingeniería Forestal, por haber permitido cumplir mi sueño de ser un profesional.

A mis abuelitos, tíos, primos y amigos; a todos que de una u otra forma estuvieron presentes a lo largo de mi carrera estudiantil, por sus buenos deseos, les agradezco de todo corazón.

Branly

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Identificación del problema.....	2
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
<i>1.3.1. Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>3</i>
1.4. Hipótesis.....	3
<i>1.4.1. Hipótesis nula.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2. Hipótesis alterna.....</i>	<i>3</i>
1.5. Marco conceptual.....	4
<i>1.5.1. Zonas Intangibles.....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.1.1. Zona Intangible Tagaeri Taromenane.....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.2. Deforestación.....</i>	<i>4</i>
<i>1.5.3. La Teledetección.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.3.1. Las ventajas de la observación espacial.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.3.2. La Radiación Electromagnética.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.3.3. Longitud de onda.....</i>	<i>6</i>
<i>1.5.3.4. El espectro Electromagnético.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.3.5. Firmas espectrales.....</i>	<i>7</i>
<i>1.5.3.6. Respuesta Espectral de la vegetación.....</i>	<i>8</i>
<i>1.5.4. Sistemas de RADAR.....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.5. Radar de Apertura Sintética (SAR).....</i>	<i>9</i>
<i>1.5.6. Radar de Apertura Sintética (SAR).....</i>	<i>10</i>

1.5.6.1.	<i>Longitud de Onda</i>	10
1.5.6.2.	<i>Polarización</i>	11
1.5.6.3.	<i>Ángulo de Incidencia</i>	12
1.5.6.4.	<i>Interacción de la señal con la superficie</i>	12
1.5.6.5.	<i>Efecto de moteado (speckle)</i>	13
1.5.7.	<i>Análisis multitemporal</i>	14
1.5.8.	<i>Cloud Computing</i>	15
1.5.8.1.	<i>Google Earth Engine</i>	15
1.5.9.	<i>Herramienta Random Forest</i>	16
1.5.10.	<i>Pluggin AcATaMa</i>	16
1.5.11.	<i>Tasa de Cambio Anual de la Cobertura (TAC)</i>	17

CAPITULO II

2.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.1.	Caracterización del lugar	18
2.1.1.	<i>Localización</i>	18
2.1.2.	<i>Condiciones climáticas</i>	18
2.1.3.	<i>Clasificación ecológica</i>	19
2.2.	Materiales y equipos	19
2.2.1.	<i>Equipos</i>	19
2.2.2.	<i>Software</i>	20
2.2.3.	<i>Materiales de oficina</i>	20
2.3.	Metodología	20
2.3.1.	<i>Para cumplir el primer objetivo</i>	21
2.3.1.1.	<i>Recopilación de información secundaria</i>	21
2.3.1.2.	<i>Análisis multitemporal de deforestación mediante imágenes de radar</i>	22
2.3.2.	<i>Para cumplir el segundo objetivo</i>	29
2.3.2.1.	<i>Clasificación con la imagen de radar</i>	33
2.3.2.2.	<i>Clasificación con la imagen óptica</i>	34
2.3.2.3.	<i>Clasificación con la imagen de radar y optica</i>	35
2.3.2.4.	<i>Evaluación de la exactitud</i>	37
2.3.3.	<i>Para cumplir el tercer objetivo</i>	39
2.3.3.1.	<i>Cálculo de la Tasa de Cambio Anual (TAC)</i>	39

CAPITULO III

3.	RESULTADOS	40
3.1.	Análisis de deforestación en la ZITT y su zona de amortiguamiento mediante imágenes de radar	40
3.2.	Análisis multitemporal del cambio de Cobertura	42
3.2.1.	<i>Evaluación de la exactitud de la clasificación</i>	42
3.2.2.	<i>Cobertura de la tierra año 2015</i>	43
3.2.3.	<i>Cobertura de la tierra año 2020</i>	44
3.3.	Tasa de Cambio Anual (TAC)	44
	CONCLUSIONES	46
	RECOMENDACIONES	48
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Ciclos de ablandamiento de las cinco especies en estudio	7
Tabla 2-1: Longitudes de onda.....	10
Tabla 1-2: Ecosistemas de la ZITT	19
Tabla 1-3: Cobertura de la tierra año 2015 y 2020 ZITT y zona de amortiguamiento.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Párametros de una onda	7
Figura 2-1:	Representación gráfica de una firma espectral	8
Figura 3-1:	Firmas espectrales típicas de distintas cubiertas.....	8
Figura 4-1:	Medición RADAR.....	9
Figura 5-1:	Longitud de onda.....	10
Figura 6-1:	Penetración en función de la longitud de onda.....	11
Figura 7-1:	Polarización VV y HH.....	11
Figura 8-1:	Ángulo de incidencia de la señal.....	12
Figura 9-1:	Mecanismos de retrodispersión.....	12
Figura 10-1:	Dispersión especular	13
Figura 11-1:	Dispersión en superficie rugosa	13
Figura 12-1:	Dispersión por volumen.....	13
Figura 13-1:	Speckle en imágenes SAR	14
Figura 14-1:	Filtro espacial Speckle	14
Figura 1-2:	Ubicación de la zona de estudio.....	18
Figura 2-2:	Esquema metodológico.....	21
Figura 3-2:	Colección de imágenes Sentinel 1.....	22
Figura 4-2:	Carga de archivo de zona de estudio.....	23
Figura 5-2:	Filtrado de imágenes Sentinel	24
Figura 6-2:	Visualización de mosaico imágenes Sentinel 1	24
Figura 7-2:	I Mosaico año 2015 filtrado “speckle”.....	26
Figura 8-2:	Mosaico año 2020 filtrado “speckle”	26
Figura 9-2:	Izq. Imagen 2015, der. Imagen 2020.....	26
Figura 10-2:	Imagen cociente 2015/2020	27
Figura 11-2:	Nueva área de interes.....	27
Figura 12-2:	Histograma de valores imagen cociente	28
Figura 13-2:	Cálculo de estadísticas imagen cociente	28
Figura 14-2:	Aplicación de umbral.....	29
Figura 15-2:	Mosaico imagen Sentinel año 2015	30
Figura 16-2:	Mosaico imagen Landsat8 año 2015.....	32
Figura 17-2:	Creación de polígonos de coberturas	32
Figura 18-2:	Visualización de polígonos de bosque	32
Figura 19-2:	Clasificación imagen sentinel 1	34

Figura 20-2:	Clasificación con imagen óptica	35
Figura 21-2:	Clasificación con imagen radar/óptica	36
Figura 22-2:	Interfaz AcAtaMa	37
Figura 23-2:	Puntos de muestreo	37
Figura 24-2:	Validación visual de puntos de muestreo	38
Figura 25-2:	Resultados de exactitud.....	38
Figura 1-3:	Resultados de exactitud.....	40
Figura 2-3:	Imagen radar cociente 2015/2020	41
Figura 3-3:	Deforestación 2015/2020	41
Figura 4-3:	Cobertura de la Tierra año 2020.....	43
Figura 5-3:	Cobertura de la Tierra año 2020.....	44

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Precisión de la clasificación supervisada obtenida de cada imagen satelital42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO PARA RELIZAR EL CÁLCULO DE LA DEFORESTACIÓN CON IMÁGENES DE RADAR

ANEXO B: CÓDIGO PARA REALIZAR CLASIFICACIÓN SUPERVISADA CON IMÁGENES DE RADAR Y ÓPTICAS

ANEXO C: TABLAS DE RESULTADO DE EVALUACIÓN DE EXACTITUD DE LA CLASIFICACIÓN

RESUMEN

En la presente investigación se determinó la pérdida de bosque en los últimos cinco años en la zona intangible "Tagaeri Taromenane" utilizando imágenes de radar y ópticas mediante el programa Google Earth Engine (GEE). Para esto se utilizaron imágenes de radar (Sentinel 1), que no se ven afectadas por las condiciones atmosféricas a diferencias de las imágenes ópticas que se usan comúnmente para este tipo de estudios, a las que se aplicó y adaptó la metodología para el Mapeo y Monitoreo de los Bosques Tropicales mediante datos de Radar; para el cambio de cobertura vegetal, se realizó tres clasificaciones supervisadas utilizando las mismas áreas de entrenamiento y el mismo clasificador (Random Forest) pero diferentes imágenes, primero se usó una imagen de radar (Sentinel 1), segundo una imagen óptica (Landsat8) y luego una combinación de ambas; posteriormente se evaluó la precisión de cada una de las imágenes resultantes mediante el plugin Acatama del programa QGIS, se determinó que la clasificación mas precisa fue la realizada con la combinación de imágenes (Sentinel 1/Landsat 8); luego estas imágenes se procesaron en QGIS para cuantificar sus áreas. No se encontraron áreas deforestadas en la ZITT, sin embargo, cerca de su límite occidental se encontró una pérdida de masa boscosa de 71,66 km²; se determinó que la cobertura vegetal para el año 2015 fue: infraestructura antrópica (1,35 km²), bosque nativo (12110 km²) y agua (39,64 km²); mientras que para el año 2020 fue de: 1,56 km², 12109,78 km² y 39,64 km², respectivamente. El análisis de deforestación mediante imágenes de radar produjo resultados apreciables en zonas que presenten grandes extensiones de áreas deforestadas, se recomienda ampliar el área de estudio para el análisis de deforestación con imágenes de radar.

Palabras clave: <DEFORESTACIÓN>, <GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)>, <IMÁGENES DE RADAR>, <IMÁGENES ÓPTICAS>, <QGIS>.



0669-DBRA-UTP-2022

ABSTRACT

In the present study, a forest loss in the last five years in the "Tagaeri Taromenane" intangible zone was determined using radar and optical images using Google Earth Engine (GEE) program. For this purpose, radar images (Sentinel 1) were used, which are not affected by atmospheric conditions, unlike the optical images commonly used for this type of study, the methodology for Mapping and Monitoring the Tropical Forests using Radar data was applied and adapted; For vegetation cover change, three supervised classifications were performed using the same training areas and the same classifier (Random Forest) but different images, first a radar image (Sentinel 1), second an optical image (Landsat8) and then a combination of both; Subsequently, the accuracy of each of the resulting images was evaluated using the Acatama plugin of the QGIS program, and it was determined that the most accurate classification was the one made with the combination of images (Sentinel 1/Landsat 8); then these images were processed in QGIS to quantify their areas. No deforested areas were found in the ZITT, however, near its western boundary a loss of forest mass of 71.66 km² was found; it was determined that the vegetation cover for the year 2015 was: anthropic infrastructure (1.35 km²), native forest (12110 km²) and water (39.64 km²); while for the year 2020 it was: 1.56 km² , 12109.78 km² and 39.64 km², respectively. The deforestation analysis using radar images produced appreciable results in areas that present large extensions of deforested areas, it is recommended to expand the study area for deforestation analysis using radar images.

Key words: <DEFORESTATION>, <GOOGLE EARTH ENGINE (GEE)>, <RADAR IMAGES>, <OPTICAL IMAGES>, <QGIS>.



INTRODUCCIÓN

El bosque perteneciente a la cuenca del Río Amazonas, constituye el bosque tropical continuo más grande del mundo y nos brinda una serie de servicios entre ellos tenemos: su función de almacenamiento para grandes cantidades de carbono, en el habitan pueblos indígenas y colonos, y provee servicios ecosistémicos de importancia mundial. La Cuenca del Amazonas es un espacio único que guarda una exuberante riqueza cultural y ambiental, comprende alrededor de $7,78 \cdot 10^6$ km² y tiene presencia en nueve países de América del Sur (Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Guayana Francesa, Guyana, Perú, Surinam y Venezuela) (Borja et al., 2017. pp. 63-76).

El aumento acelerado en la pérdida de este bosque tropical principalmente provocado por deforestación podrían provocar procesos de erosión, alteración del balance de calor atmosférico y evapotranspiración, reducción de las precipitaciones, presentando consecuencias climáticas adversar tanto regionales como globales, entre otros cambios que no se puede preveer (Salati y Vose, 1984; citados en Borja et al., 2017. pp. 63-76).

El bosque amazónico ubicado al Nororiente del Ecuador, conforma una de las áreas biológicamente más diversas del mundo, es un hotspot de biodiversidad, un área de alta biodiversidad lamentablemente se encuentra sometida a una intensa presión humana. Dejando a un lado la inmensidad en la riqueza de su biodiversidad, también su diversidad cultural es impresionante, alberga y es el hogar de aproximadamente 30 mil indígenas de ocho grupos étnicos (Huaorani, Cofán, Siona, Secoya, Quichua, Shuar, Ahusar, y Saparo) cada uno con una historia propia de adaptación al ambiente, tradiciones, lengua, etc. (Mena, 2010. pp. 58-65).

La zona intangible Tagaeri Taromenane se encuentra dentro del Parque Nacional Yasuní, fue creada y establecida en el año 1999 como un área natural protegida mediante el decreto presidencial número 552 durante la presidencia de Jamil; Mahuad, dentro de su declaración se resaltan los intereses de conservación para los recursos naturales así como también la protección y preservación de la vida y la cultura de los diferentes pueblos que viven en ella. La intangibilidad tiene como objetivo principal evitar que en estas áreas se realice cualquier tipo de explotación industrial, sin distinción que esta sea ser esta madera, petrolera, minera o de otra índole (Villalta, 2015. p. 45).

Actualmente la democratización de la información permite tener acceso a diversas fuentes de datos sobre deforestación. Uno de los ejemplos más representativos a nivel global es el “Mapa Global de Alta Resolución del Siglo XXI de Cambio de la Cobertura de Bosque”, que se generó a partir de imágenes Landsat 7 mediante el programa Google Earth Engine. El presente estudio

tiene como finalidad generar información sobre la deforestación en la zona intangible Tagaeri – Taromenane (8241,14 km²) y su zona de amortiguamiento (3998,06 km²), no solo utilizando imágenes ópticas sino también imágenes de Radar de Apertura Sintética Sentinel 1.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En Ecuador existen pocos estudios relacionados al monitoreo de deforestación por medio de tecnologías geoespaciales y no existen estudios utilizando imágenes de radar para determinar la pérdida de bosque. Tradicionalmente, los esfuerzos de mapeo y monitoreo de la deforestación en el bosque tropical han implicado grandes inversiones en términos de recursos, personal y tiempo, sin embargo el avance y difusión de la aplicación de tecnologías geoespaciales nos permite diseñar, aplicar y acoplar diferentes metodologías para facilitar el monitoreo de los bosques y la deforestación, sin necesidad de grandes inversiones y optimizando el tiempo. El presente estudio busca ser una alternativa para el monitoreo de la deforestación utilizando productos de libre acceso y aprovechando la capacidad computacional de la plataforma gratuita Google Earth Engine.

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las organizaciones que conforman la Alianza por los Derechos Humanos expresan su preocupación y alerta frente al incremento de la vulnerabilidad de la Zona Intangible Tagaeri-Taromenane (ZITT). Esto debido a las nuevas presiones producidas por una reactivación de la actividad maderera y la continuidad de otras actividades de explotación de especies y recursos naturales dentro del territorio waorani y de las áreas que colindan con la ZITT. Diversas fuentes locales han confirmado que, durante el periodo de cuarentena, se han desplegado nuevos focos de actividad maderera en la zona colindante a la ZITT e incluso, probablemente, dentro de ella, sin que las autoridades responsables de su protección hayan tomado medidas (INREDH, 2020).

El Ministerio del Ambiente de Ecuador, mediante el Sistema Único de Información Ambiental, pone a disposición los archivos de deforestación para los periodos que van desde 1990 hasta el 2018 (<http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/>). Estos datos son de gran utilidad para analizar dinámicas de deforestación, pero en una zona de tanta importancia biológica y que se encuentra sometida a tantas presiones es necesario tener herramientas que nos permitan dar un monitoreo continuo.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

- Determinar la pérdida de bosque en los últimos cinco años en la zona intangible "Tagaeri Taromenane" utilizando imágenes de radar y ópticas mediante el programa Google Earth Engine (GEE).

Objetivos específicos

- Realizar un análisis multitemporal de la deforestación en la ZITT y su zona de amortiguamiento utilizando imágenes de radar.
- Ejecutar una clasificación de cobertura vegetal de la ZITT y su zona de amortiguamiento utilizando imágenes ópticas y de radar.
- Determinar la Tasa de Cambio Anual de la Cobertura (TAC) de la ZITT y su zona de amortiguamiento.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula

No es posible analizar la dinámica de la deforestación en los últimos cinco años en la zona intangible "Tagaeri Taromenane" utilizando imágenes de radar y ópticas mediante el programa Google Earth Engine (GEE).

Hipótesis alternante

Es posible analizar la dinámica de la deforestación en los últimos cinco años en la zona intangible "Tagaeri Taromenane" utilizando imágenes de radar y ópticas mediante el programa Google Earth Engine (GEE).

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Marco conceptual

1.1.1. Zonas Intangibles

Las zonas intangibles constituyen áreas que tienen una importancia de conservación única debido a los recursos naturales como su flora y fauna que se encuentran en ellas, y también constituyen lugares de conservación étnica y cultural por la gran variedad de grupos humanos que ahí viven considerados vulnerables, cada uno posee diferentes rasgos de cultura, por estos motivos en su interior queda terminantemente prohibido realizar cualquier tipo de actividad extractiva para poder asegurar la integridad del ecosistema y los grupos que en él habitan (Villalta, 2015. p. 46).

1.1.1.1. Zona Intangible Tagaeri Taromenane

Corresponde a un área natural protegida, la cuál fue creada en el año de 1999 durante la presidencia de Jamil Mahuad a través de decreto presidencial número 552, promovido por el interés de conservación tanto de los recursos naturales que existen dentro de ella, sino como también la protección y perpetuación de la vida y la cultura de los diferentes pueblos que en ella habitan. La intangibilidad tiene como objetivo evitar que en esta área se de cualquier tipo de explotación industrial a gran, mediana y pequeña escala, sin importar que esta sea maderera, petrolera, minera o de cualquier otra índole (Villata, 2015. p. 45).

1.1.2. Deforestación

Se define como el cambio, la degradación y/o la erradicación parcial o completa de los bosques. Es una actividad humana tan vieja como la civilización misma. Empezó con la aparición de la agricultura, las personas han ido reemplazado continuamente la vegetación nativa para instaurar cultivos y adecuar espacios para habitar en ellos. El gran problema está en la presura del proceso de deforestación, en tan solo un intervalo de 10000 años los humanos hemos provocado un impacto en la vegetación mundial comparable, en deterioro y extensión, al de la edad de hielo ocurrida en los 100000 años anteriores. El World Resources Institute estima que aproximadamente cada año se cortan 16 millones de hectáreas de bosque tropical, lo que representa un poco menos que el área del país sudamericano Uruguay. (Mena, 2010. p. 59).

1.1.3. La Teledetección

Es una técnica que nos permite generar imágenes de la superficie terrestre mediante la utilización de sensores remotos por medio de una interacción energética entre estos y la Tierra, esta interacción puede darse por la reflexión de la energía solar o mediante una fuente energética artificial. Esta interacción es interpretada mediante el uso de una aplicación específica para su posterior análisis, a esta interacción se la llama también radiación electromagnética que es mayormente emitida por el sol y es reflejada por los objetos que se encuentran en la superficie terrestre (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 4).

Un sistema de teledetección está conformado por los siguientes elementos:

Fuente de Energía: Corresponde al emisor de la radiación electromagnética que al llegar a la superficie terrestre va a ser captada por el sensor, esta puede ser: el sol (fuente natural) o también puede ser generada por el mismo sensor (fuente artificial) (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

Cubierta Terrestre: Que se encuentra conformada por distintas cubiertas de la superficie terrestre como la vegetación, suelo, agua o infraestructura, que al recibir la radiación electromagnética proveniente de la fuente de energía sea esta natural o artificial será reflejada de acuerdo a las características físicas de cada una de ellas (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

Sistema Sensor o Equipo: Esta formado por el sensor y la plataforma que lo transporta, su función es captar la energía emitida por la cubierta terrestre, codificarla y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción para su posterior tratamiento (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

Sistema de recepción y comercialización: Es el sistema que recibe la información transmitida por la plataforma y almacenarla en un formato apropiado para posteriormente realizar las correcciones necesarias para que posteriormente pueda ser analizada (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

Intérprete o Analista: Es el encargado de llevar a cabo el análisis y la clasificación de la información entregada por la imagen para a partir de esta generar información requerida por las instituciones, usuario final, etc. (Chuvienco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

Usuario Final: Es la personas o personas quienes finalmente recibirán y utilizarán la información procesada por el analista para fines específicos (Chuvieco, 2000; citado en Córdova, 2018. p. 5).

1.1.3.1. Las ventajas de la observación espacial

La Teledetección a partir de imágenes satelitales es una opción muy práctica para generar información de grandes extensiones de tierra gracias a las ventajas que presenta frente a los demás medios de observación mas convencionales como el trabajo de campo o la fotografía aérea, aunque mas que reemplazarlas lo que hace es complementarlas. Entre las ventajas de la observación espacial se puede destacar las siguientes (Chuvieco, 2008. p. 11):

- Observación multiescala y no destructiva
- Cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre
- Perspectiva panorámica
- Información sobre regiones no visibles del espectro
- Cobertura repetitiva
- Transmisión inmediata
- Formato digital

1.1.3.2. La Radiación Electromagnética

Constituye una forma de energía que solamente puede ser observada por medio de su interacción con la materia. Se encuentra formada por componentes eléctricos y magnéticos y es sensible a las propiedades eléctricas y magnéticas de la materia con la cuál interactúa. Su comportamiento puede ser descrito por medio de dos hipótesis: el modelo de onda y el modelo de partículas. Los dos son útiles y validos, pero sin embargo, el modelo de onda es generalmente el mas utilizado (Reuter, 2009. p. 6).

1.1.3.3. Longitud de onda

La radiación electromagnética se propaga por medio ondas atravesando la atmosfera, estas ondas llevan una velocidad similar a la de la luz transportando pequeñas cantidades de energía, y se caracterizan por tener longitudes diferentes. Todos los objetos que tienen una temperatura sobre el cero absoluto emiten energía, a estos tipos de radiación con diferentes longitudes de onda se conoce como espectro electromagnético (Sánchez, 2012. p. 12).

de superficie en los diferentes rangos del espectro electromagnético. Una forma gráfica para analizar este comportamiento es ubicar los datos de reflectancia (%) en el eje Y y la longitud de onda λ en el eje X. Al unir los puntos mediante una línea continua se origina una representación bidimensional que constituye la firma espectral (Hernandez y Montaner, 2009. p. 4).

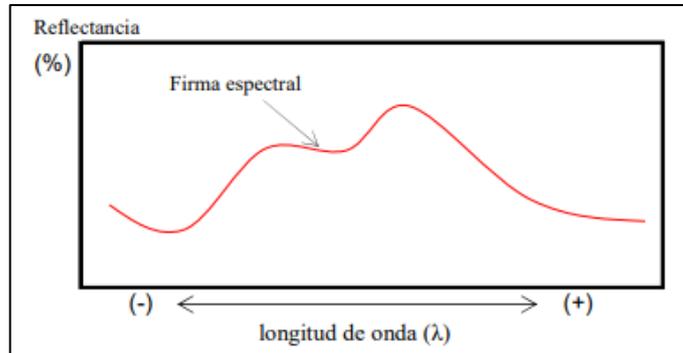


Figura 2-1. Representación gráfica de una firma espectral

Fuente: Hernández y Montaner, 2009

1.1.3.6. Respuesta Espectral de la vegetación

La determinación de la respuesta espectral de los diferentes tipos de masas vegetales constituye una de las actividades más interesantes en la teledetección. En la Figura 3-1 se muestran las curvas de reflectividad espectral correspondientes a las principales cubiertas de la superficie terrestre. Unas cubiertas tienen una respuesta uniforme en distintas longitudes de onda, mientras que otras presentan un comportamiento mucho más selectivo. La vegetación presentación muestra un comportamiento muy cromático, con valores mas altos en el infrarrojo cercano y valores bajos de reflectividad dentro del espectro espectro visible, (Ortega y Pinos, 2007. p. 6-7).

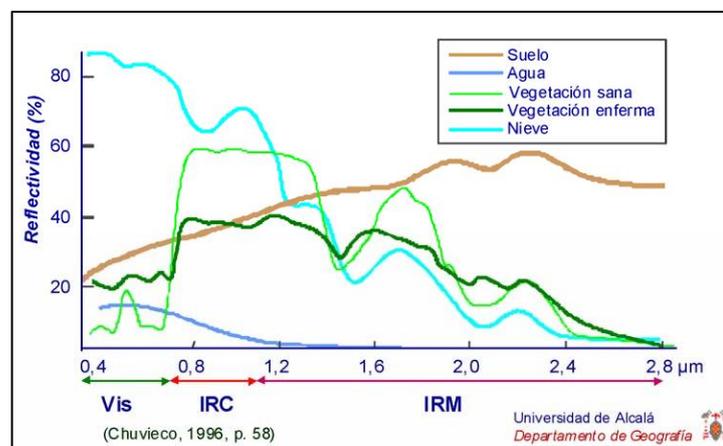


Figura 3-1. Firmas espectrales típicas de distintas cubiertas

Fuente: Chuvieco, 2008

1.1.4. Sistemas de RADAR

Es un sistema de teledetección activo, ya que el mismo sistema genera la señal que detecta, esta señal se almacena en el sistema para, mediante un tratamiento adecuado, generar la información requerida. El funcionamiento básico de todo sistema de RADAR es generar una señal electromagnética que es emitida a través de una antena, esta onda al tener contacto con la superficie u objeto al que es dirigida es dispersada, la parte de estas ondas reflejadas son captadas por la antena. El sistema genera los datos relativos a la zona de observación utilizando la información de la señal emitida y la información de las señales reflejadas captadas (Calvo, 2018. p. 7).

1.1.5. Radar de Apertura Sintética (SAR)

El SAR posee ventajas únicas sobre los sensores ópticos ya que no depende de la iluminación solar, penetra nubes, e incluso en cierta medida a unos pocos centímetros de superficies como suelo, vegetación, nieve, dependiendo de la frecuencia a la que operen. Sin embargo, en imágenes de radar debe ser considerada la complejidad en el procesamiento de los datos y las dificultades en su interpretación (SARMAP, 2008; citado en Mayorga, 2013. p. 47).

El SAR es un radar de dimensiones relativamente pequeño, capaz de generar imágenes como si hubieran sido adquiridas por una antena mucho más grande. Un punto en la Tierra es iluminado varias veces por distintos pulsos pero al retornar tendrá amplitudes, frecuencias y fases características que dependerán de la geometría del sensor respecto del punto en Tierra y de las propiedades dieléctricas de la superficie (Masuelli, 2003; citado en Mayorga, 2013. p. 47).

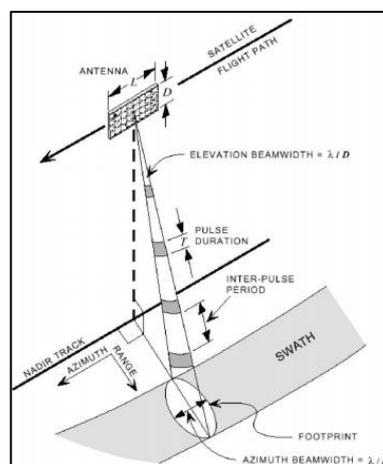


Figura 4-1. Medición RADAR

Fuente: SARMAP, 2008

Los parámetros del RADAR a considerar en estudios de mapeo de la cobertura terrestre que intervienen en dispersión de la señal, además de las características de la superficie, en gran medida depende de los parámetros de configuración del SAR.

1.1.6. Radar de Apertura Sintética (SAR)

1.1.6.1. Longitud de Onda

Tiene influencia en la dimensión de los objetos a detectar y en el grado de penetración que alcanza la señal sobre la zona de observación, por ejemplo, en el suelo seco o en la vegetación (Calvo, 2018. p. 15).

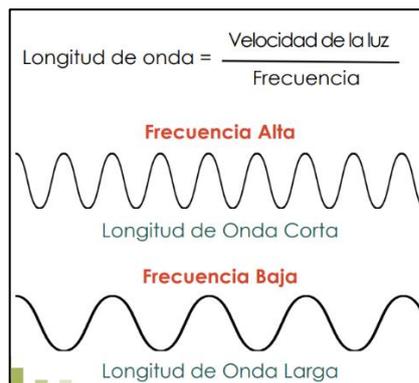


Figura 5-1. Longitud de onda

Fuente: Podest et. al, 2020a

En la Tabla 2-1, podemos observar la longitud de onda en las bandas y entre paréntesis se encuentran las más comúnmente utilizadas en SAR.

Tabla 2-1: Longitudes de onda

Designación de bandas	Longitud de onda (λ), cm	Frecuencia (ν), GHz
Ka (0,86 cm)	0,8 - 1,1	40,0 - 26,5
K	1,1 - 1,7	26,5 - 18,0
Ku	1,7 - 2,4	18,0 - 12,5
X (3,0 cm)	2,4 - 3,8	12,5 - 8,0
C (24 cm)	3,8 - 7,5	8,0 - 4,0
S	7,5 -15,0	4,0 - 2,0
L (24 cm)	15,0 - 30,0	2,0 - 1,0
P (68 cm)	30,0 -100,0	1,0 - 0,3

Fuente: Podest et. al, 2020a

El grado de penetración constituye el factor principal para la selección de la longitud de la onda, por lo general el grado de penetración es directamente proporcional a la longitud de onda.

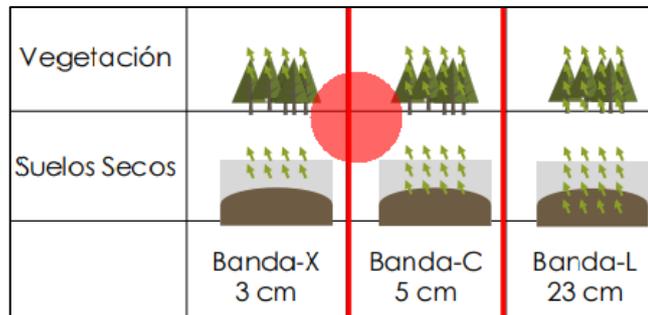


Figura 6-1. Penetración en función de la longitud de onda

Fuente: Podest et. al, 2020a

1.1.6.2. Polarización

La polarización es influyente en la reflexión de la señal, ya que la señal emitida se refleja de una manera diferente en una misma superficie dependiendo de la polarización con la que se emite dicha señal (Calvo, 2018. p. 14).

Las polarizaciones normalmente se controlan entre H y V:

- HH: Transmitida horizontalmente, recibida horizontalmente
- HV: Transmitida horizontalmente, recibida verticalmente
- VH: Transmitida verticalmente, recibida horizontalmente
- VV: Transmitida verticalmente, recibida verticalmente

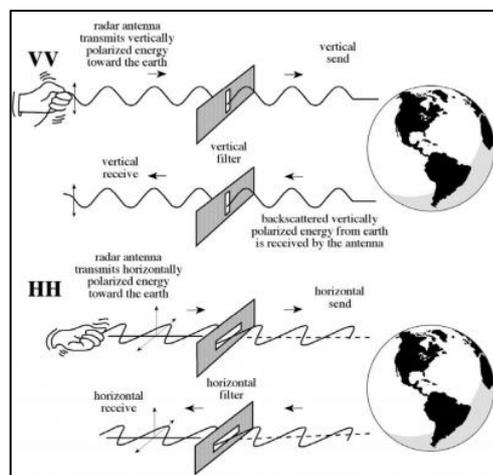


Figura 7-1. Polarización VV y HH

Fuente: Podest et. al, 2020a

1.1.6.3. Ángulo de Incidencia

Corresponde ángulo entre la dirección de iluminación del radar y la vertical de la superficie del terreno la que toma en cuenta la inclinación local de la superficie. El ángulo de incidencia cambia en función de la altura del sensor y presenta influencia en la intensidad de la imagen. (Podest et. al, 2020a. p. 17).

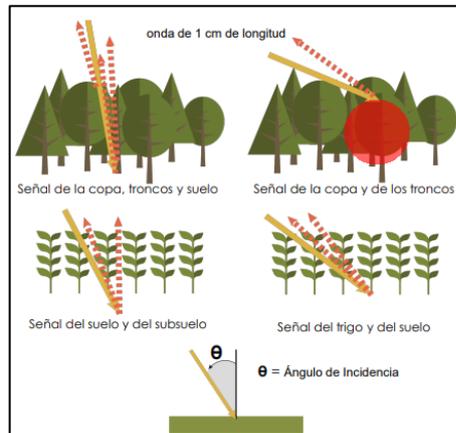


Figura 8-1. Ángulo de incidencia de la señal

Fuente: Podest et. al, 2020a

1.1.6.4. Interacción de la señal con la superficie

La visualización de los puntos en la imagen está determinada por la estructura de la superficie de observación, apareciendo más brillantes o más oscuros dependiendo de la forma de la reflexión, cuanto más parte de la señal sea reflejada en dirección al SAR, la imagen aparecerá más brillante (Calvo, 2018. p. 14).

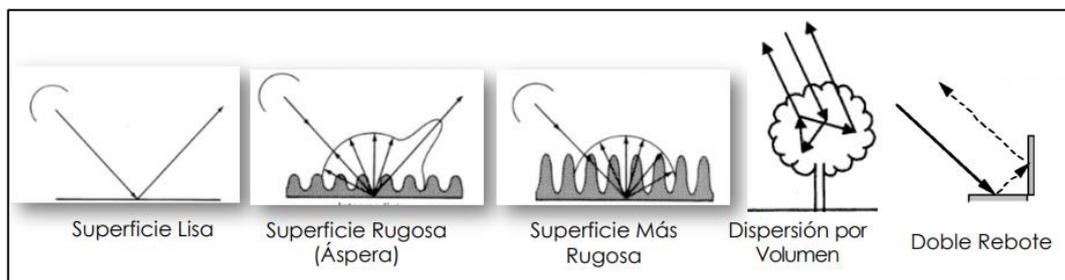


Figura 9-1. Mecanismos de retrodispersión

Fuente: Podest et. al, 2020a

Ejemplos de retrodispersión sobre la cobertura de la superficie de la tierra:

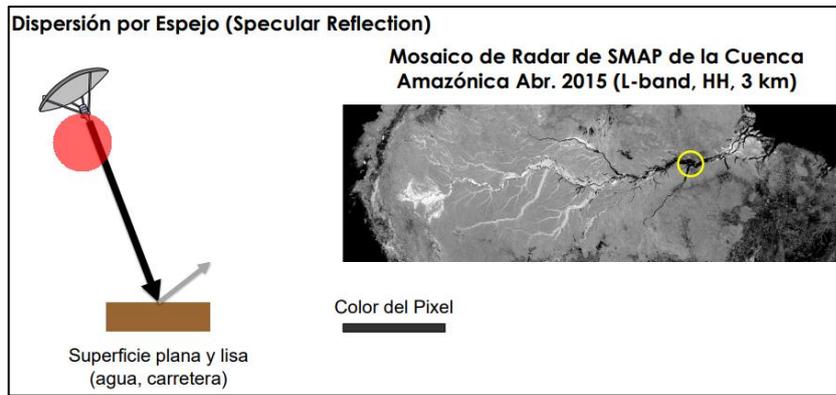


Figura 10-1. Dispersión especular

Fuente: Podest et. al, 2020a

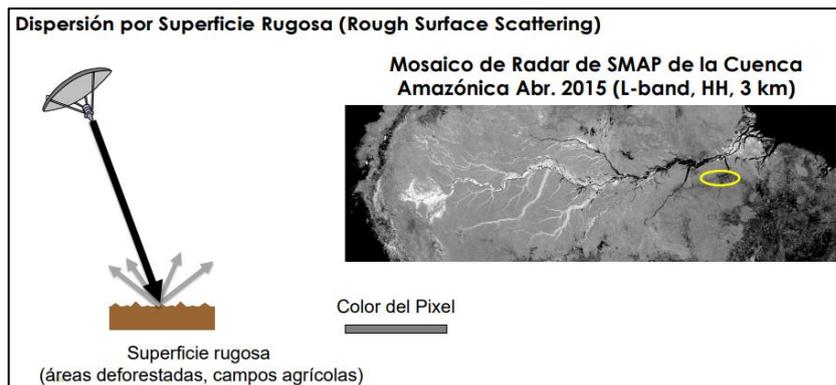


Figura 11-1. Dispersión en superficie rugosa

Fuente: Podest et. al, 2020a

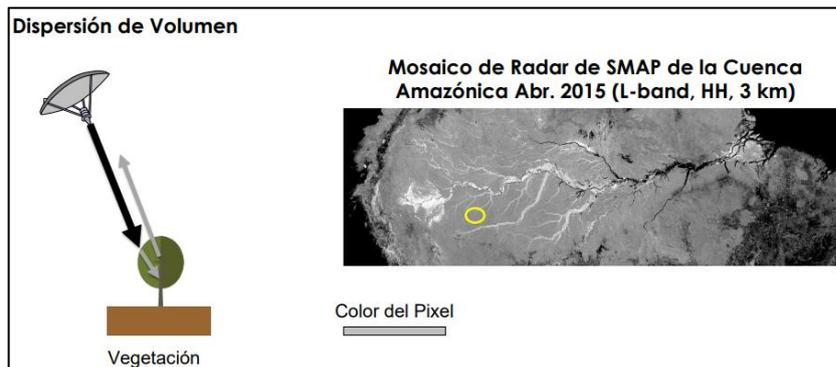


Figura 12-1. Dispersión por volumen

Fuente: Podest et. al, 2020a

1.1.6.5. Efecto de moteado (speckle)

El speckle también llamado efecto de moteado o de sal y pimienta constituye un ruido granular que existe de forma inherente y afecta negativamente a la calidad de las imágenes SAR (Podest et. al, 2020. p. 34).

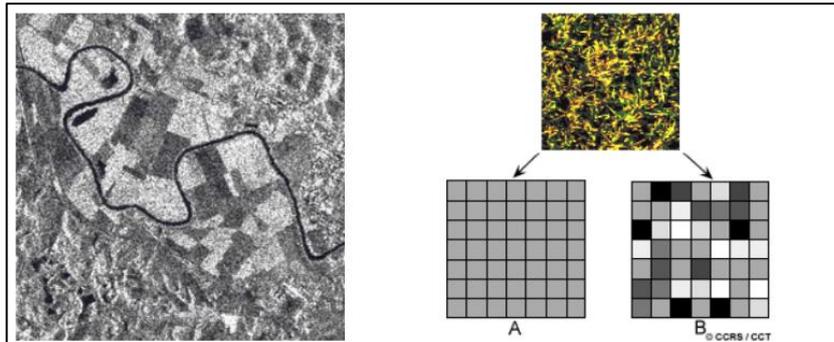


Figura 13-1. Speckle en imágenes SAR

Fuente: Podest et. al, 2020a

Para reducir el speckle se puede aplicar un filtro espacial que reduce la apariencia visual del speckle y aplica un efecto de aislamiento. Se lo realiza moviendo una ventana sobre cada píxel en la imagen, la cual aplica un cálculo matemático y reemplaza el valor del píxel central por uno nuevo (Podest et. al, 2020a. p. 34).

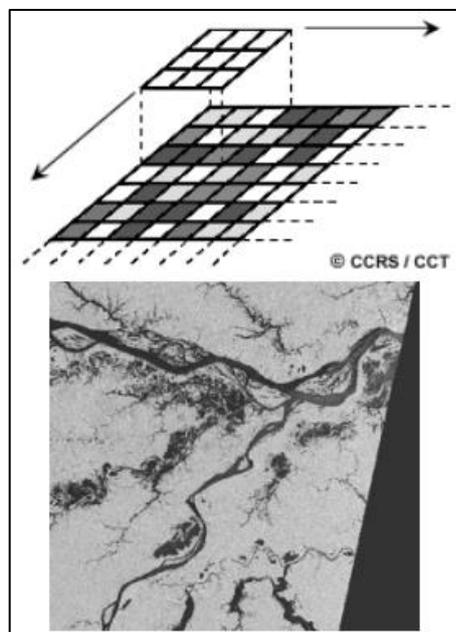


Figura 14-1. Filtro espacial Speckle

Fuente: Podest et. al, 2020a

1.1.7. Análisis multitemporal

Se denomina así al análisis de tipo espacial que se realiza al confrontar las coberturas interpretadas en dos imágenes de satélite o mapas de un mismo lugar geográfico pero de periodos temporales diferentes, que permite medir y evaluar los cambios en la situación de sus coberturas (Ramírez, 2015. p. 3).

Se define como una comparación multitemporal de imágenes provenientes de satélites, en la cual se realiza una comparación pixel a pixel de los niveles digitales de las imágenes procedentes de un mismo lugar pero adquiridas en diferentes fechas. El requisito previo al análisis de datos es comprobar que: las imágenes de las distintas fechas sean de la misma zona de estudio y que la variable que va a ser analizada tenga la misma escala de medida. Para obtener resultados solamente derivados del cambio de cobertura es necesario eliminar los cambios en los niveles digitales debido a distorsiones de cada imagen, a estas correcciones se le conoce como pre procesamiento de imágenes (Suárez, 2014, pp. 13).

1.1.8. Cloud Computing

La nube es un concepto relativamente nuevo y revolucionario que supone un gran avance en la velocidad en la transmisión y almacenamiento de datos, Google Earth Engine usa esta herramienta para almacenar su archivo de datos públicos y a su vez ponerlos a disposición para que estos puedan ser analizados por los desarrolladores alrededor el mundo (Kumar y Mutanga, 2018, p. 1-2).

1.1.8.1. Google Earth Engine

Google Inc. en 2007 crea una plataforma tecnológica en línea denominada Google Earth Engine, esta surge como una versión más sofisticada y robusta que Google Earth, debido a los rápidos y evidentes cambios en la superficie terrestre provocados por las actividades antrópicas en las últimas décadas. Esta plataforma que está compuesta por cuatro elementos principales.

- **La infraestructura de Google:** que lanza a disposición de los usuarios sus servidores, permitiendo así realizar análisis en paralelo con cerca de 10000 CPUs. Gracias a esto se agiliza de manera sorprendente la velocidad y capacidad de procesamiento, en comparación con una computadora individual. Ejemplificando, para la generación del mapa global 15 m de resolución y sin nubosidad para Google Earth y Google Maps, al procesarse usando estos servidores, tardó unos de días, por el contrario, si se utilizaría una computadora personal le habría tomado alrededor de 14 años (Moore, 2017; citado en Perilla y Francois, 2020. p. 1-2).
- **Conjunto de datos (datasets):** Es la que tiene almacenado todas las colecciones de imágenes de varios sensores (Landsat, Sentinel, MODIS, entre otros). Estas bases son actualizadas casi a tiempo real a medida que se van adquiriendo nuevas imágenes (cerca de 6000 nuevas escenas diarias), construyendo así un gigantesco catálogo de datos geoespaciales globales. Estas bases están disponibles para consulta y se pueden filtrar base a diferentes criterios (calidad, localización, fechas).(Perilla y Francois, 2020. p. 1-2).

- **API (Application Program Interface):** Constituye una serie de comandos y funciones preestablecidas por GEE, que están escritos en lenguaje de programación JAVA, que es un lenguaje de programación sencillo al desarrollar algoritmos para las investigaciones. Pero el inconveniente es que estas funciones no pueden ser modificadas ni tampoco se liberó su código fuente, lo que se convierte en una limitante para el usuario. De esta manera, se encuentra limitada la flexibilidad de programación del usuario, convirtiéndose en algo restrictivo ya que solamente faculta usar las funciones predeterminadas del API (Perilla y Francois, 2020. pp. 1-2).
- **El Code Editor:** Constituye un entorno amigable de desarrollo acoplado en línea para generar el código mediante scripts, donde se combinan todos los elementos. Desde aquí el usuario puede, a través de scripts, llamar a los datos, procesar, visualizarlos y descargarlos agilmente de manera virtual con los servidores de Google, teniendo así sus resultados e información en la nube para no saturar su computador personal (Perilla y Francois, 2020. p. 1-2).

1.1.9. Herramienta Random Forest

Es un algoritmo para clasificación de machine learning desarrollado como la evolución a los algoritmos de los árboles de decisión. Estos clasifican los datos de un modelo mediante una serie de particiones binarias, permitiendo además generar predicciones futuras en base a la clasificación que se genera. Este algoritmo estará formado por una gran cantidad de árboles de decisión, generados a partir de la técnica del bagging o bootstrap aggregating (García, 2018. p. 4).

1.1.10. Pluggin AcATaMa

AcATaMa es un pluggin también denominado complemento de Qgis desarrollado para poder evaluar la precisión de mapas temáticos generados a partir de clasificación de imágenes satelitales. Este complemento fue genrado con la finalidad de cumplir estos objetivos:

- Evaluar la precisión de mapas temáticos.
- Calcular áreas de las clases del mapa (por ejemplo cobertura del suelo o cambio de uso de suelo).
- Diseño y/o clasificación de muestrteo para investigación.

Este complemento esta basado y aplica la metodología y recomendaciones incluídas en los siguientes trabajos:

- Olofsson, P., Herold, M., Stehman, SV, Woodcock, CE y MA Wulder. 2014. Buenas prácticas para estimar el área y evaluar la precisión del cambio de tierra. *Teledetección del medio ambiente*, 148: 42–57.
- Olofsson, P., Foody, GM, Stehman, SV y CE Woodcock. 2013. Hacer un mejor uso de los datos de precisión en los estudios de cambio de tierras: estimación de la precisión y el área y cuantificación de la incertidumbre mediante la estimación estratificada. *Teledetección del medio ambiente*, 129: 122-131.

1.1.11. Tasa de Cambio Anual de la Cobertura (TAC)

Denominado TAC por su siglas, es el porcentaje de cambio de la cobertura de la tierra durante un periodo de tiempo determinado y se puede calcular mediante la ecuación (1), donde se asume que la tasa de cambio con el tiempo es proporcional al área ocupada.

$$TAC = \frac{1}{t_1 - t_2} \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A1 y A2 corresponden a las áreas de la cobertura en el tiempo 1 y 2, respectivamente

t1 y t2 representan el año de evaluación inicial y final (Puyravaud, 2013; citado en Damián, 2017. p. 9).

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización del lugar

2.1.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en la Zona Intangible Tagaeri Taromenane, que se encuentra dentro del Parque Nacional Yasuní, en las provincias de Orellana y Pastaza.

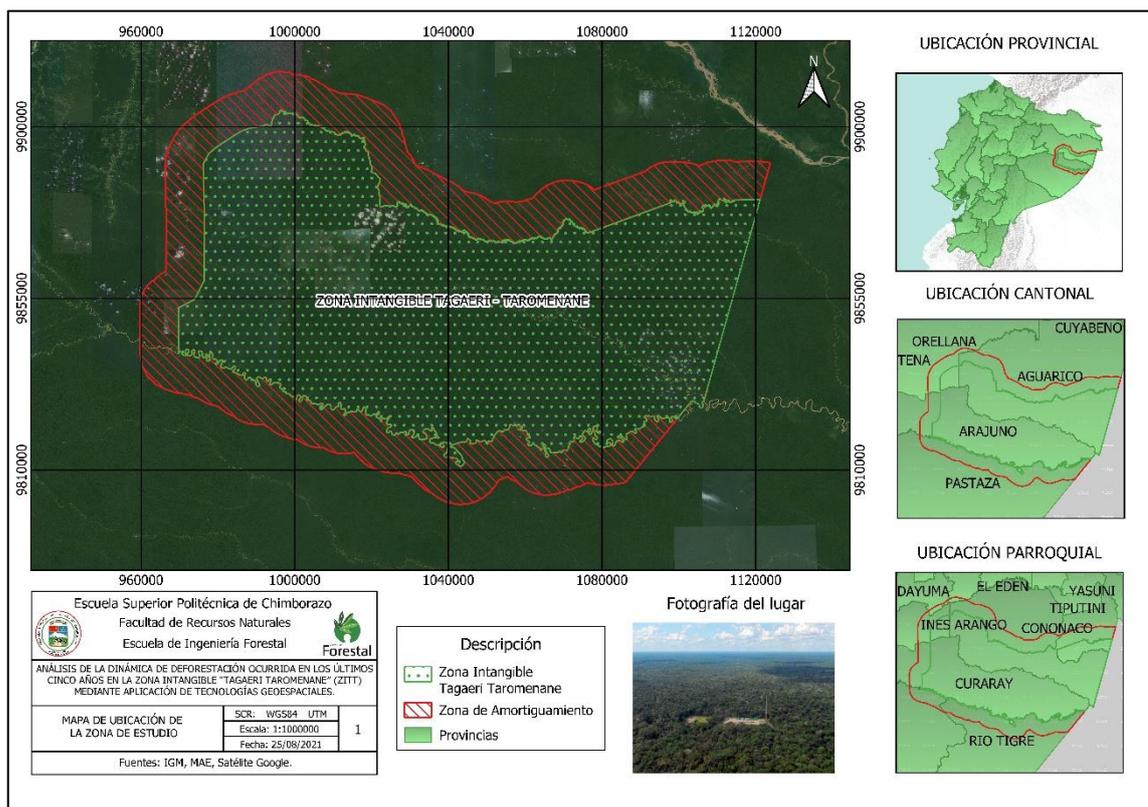


Figura 1-2. Ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

2.1.2. Condiciones climáticas

Temperatura media: 25°C
Precipitación promedio: 3200 mm
Altitud: 190 - 400 m s.n.m.

2.1.3. Clasificación ecológica

Según el mapa de ecosistemas del Ecuador Continental publicado por el por el MAE (Julio 2013), la Zona Intangible Tagaeri Taromenane posee los siguientes ecosistemas. (MAE, 2013. pp. 160-184).

Tabla 1-2: Ecosistemas de la ZITT

Ecosistema	Código	Área (Ha)
Agua	Agua	7009,86
Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen amazónico	BsTa07	8046,56
Bosque inundable de la llanura aluvial de los ríos de origen andino y de Cordilleras Amazónicas	BsTa06	4266,05
Bosque inundado de la llanura aluvial de la Amazonía	BsTa09	95591,36
Bosque inundado de palmas de la llanura aluvial de la Amazonía	BsTa10	25851,52
Bosque siempreverde de tierras bajas con bambú de la Amazonía	BsTa05	94,95
Bosque siempreverde de tierras bajas del Napo-Curaray	BsTa02	375004,94
Bosque siempreverde de tierras bajas del Tigre-Pastaza	BsTa03	306532,64
Herbazal inundado lacustre-ripario de la llanura aluvial de la Amazonía	HsTa01	39,96
Intervención	Inter01	287,19
Otras áreas	OA01	59,07

Fuente: MAE, 2013

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Equipos

Computadora con un procesador Intel Core i5 o superior, memoria ram igual o mayor a 8 GB y de preferencia tenga tarjeta de video para el correcto funcionamiento del software y que tenga capacidad de procesar la gran cantidad de datos.

2.2.2. Software

Para el procesamiento de las imágenes ópticas y de radar se utilizó Google Earth Engine, Obtención de imagen de alta resolución para determinar la exactitud de la clasificación se utilizó Sasplanet y para el post procesamiento de la información derivada de las imágenes satelitales QGIS 3.16.

2.2.3. Materiales de oficina

Impresora Epson I350, hojas de papel bond, Microsoft Office.

2.3. Metodología

La metodología aplicada se resume en el siguiente esquema metodológico. Esta metodología fue tomada del centro de capacitación continua de la Nasa Arset para el Mapeo y Monitoreo de los Bosques Tropicales mediante datos SAR. En la que se utilizan imágenes del Radar de Apertura Sintética (Sentinel 1) para identificar áreas que han sufrido deforestación. Y una combinación de imágenes de radar y ópticas para determinar el cambio de cobertura vegetal en el periodo de estudio.

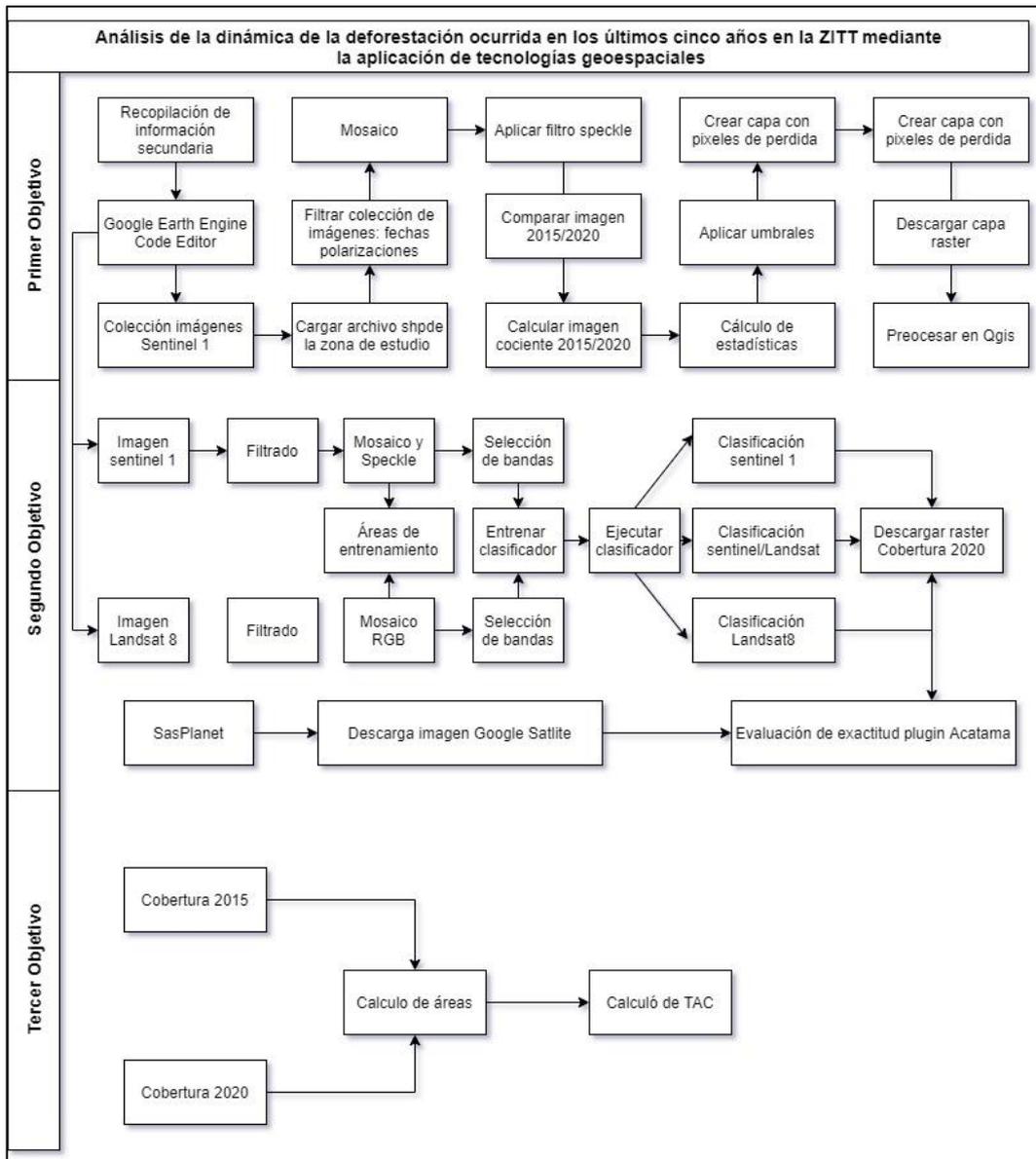


Figura 2-2. Esquema metodológico

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

2.3.1. Para cumplir el primer objetivo

Realizar un análisis multitemporal de la deforestación en la ZITT y su zona de amortiguamiento utilizando imágenes de radar.

2.3.1.1. Recopilación de información secundaria

- Toda la información cartográfica utilizada se obtuvo del sitio oficial de entidades como el Instituto Geográfico Militar (IGM) y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades) a través de su base de datos denominada SNI.

- La información de las zonas protegidas y ecosistemas se las descargó por medio del mapa interactivo del MAE.
- Las imágenes, tanto ópticas como las de radar, se las obtuvo a través del catálogo de datos de Google Earth Engine.

2.3.1.2. Análisis multitemporal de deforestación mediante imágenes de radar

Una vez dentro del entorno del Code Editor en la plataforma de google Earth Engine. Para poder llamar a la colección de imágenes Sentinel 1, se escribió Sentinel 1 en el buscador y nos mostró la ficha informativa de la colección de datos (Figura 3-2), en esta ficha podemos encontrar una breve descripción, las polarizaciones disponibles, los metadatos y lo más importante los datos de procesamiento aplicados sobre las imágenes: ya se ha realizado la disminución del ruido térmico, calibración radiométrica y geométrica. En el Anexo A encontramos el código utilizado completo para realizar este análisis (Podest et al., 2020b. pp. 29-55).

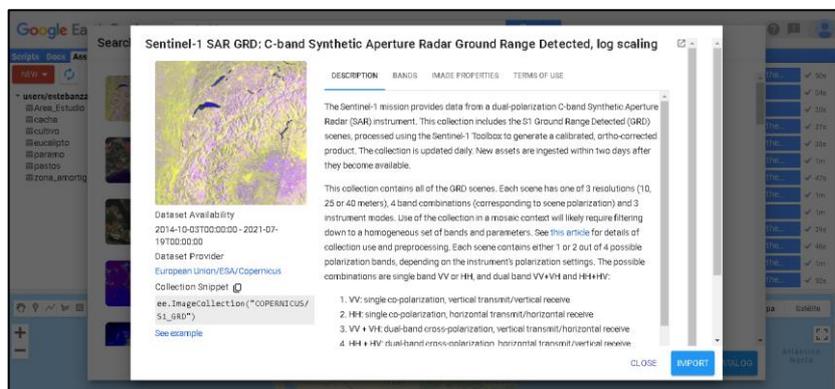


Figura 3-2. Colección de imágenes Sentinel 1

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Luego se ubicó nuestra zona de estudio, para esto es necesario incorporar un archivo en formato shapefile desde nuestro computador. Para hacer esto en la pestaña assets/new se seleccionó cargar un archivo shapefile luego lo cargamos desde nuestro computador, cabe recalcar que para que el archivo sea admitido es necesario subir los cuatro archivos con las siguientes extensiones prj, dbf, shx y sho o también podemos cargar comprimido en un archivo zip.

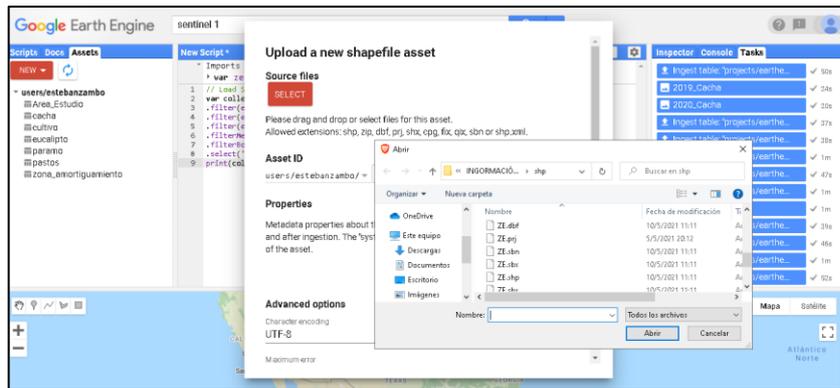


Figura 4-2. Carga de archivo de zona de estudio

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se cargó y filtró la base de datos de Sentinel 1, se filtró por el método de adquisición de datos interferométrico de banda ancha a 10 metros de resolución y para polarizaciones VV y HV correspondientes a nuestra zona de estudio (ze). Para que los procesos se realicen debemos dar click en run, también es recomendable ir guardando conforme se vayan escribiendo los scripts para evitar pérdidas en el avance del código por medio de la pestaña save. Se escribió el siguiente código para polarización VV:

```
var collectionVV = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
    .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)
    .filterBounds(ze)
    .select('VV');
print(collectionVV, 'Collection VV');
```

Luego para polarización VH:

```
var collectionVH = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
    .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))
    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)
    .filterBounds(ze)
    .select('VH');
print(collectionVH, 'Collection VH');
```

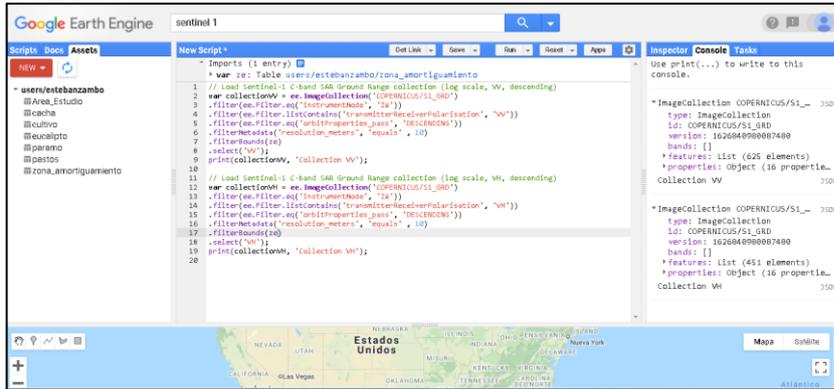


Figura 5-2. Filtrado de imágenes Sentinel

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se aplicó un filtro adicional para reducir el número de imágenes según las fechas que fueron consideradas en el presente estudio. Por medio del siguientes script:

```

var f2015VV = collectionVV.filterDate('2015-08-01', '2015-08-31').mosaic();
var s2020VV = collectionVV.filterDate('2020-08-01', '2020-08-31').mosaic();
var f2015VH = collectionVH.filterDate('2015-08-01', '2015-08-31').mosaic();
var s2020VH = collectionVH.filterDate('2020-08-01', '2020-08-31').mosaic();

```

Para agregar las imágenes resultantes a nuestra ventana de visualización se utilizó el siguiente script:

```

Map.addLayer(f2015VV, {min:-15,max:0}, '2015 VV', 0);
Map.addLayer(s2020VV, {min:-15,max:0}, '2020 VV', 0);
Map.addLayer(f2015VH, {min:-27,max:0}, '2015 VH', 0);
Map.addLayer(s2020VH, {min:-27,max:0}, '2020 VH', 0);

```

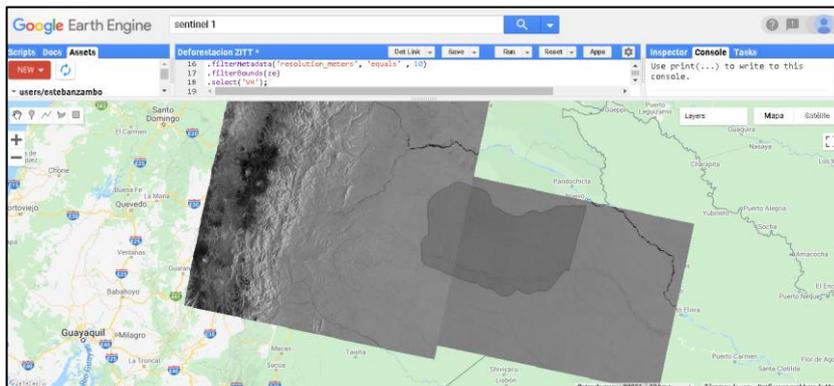


Figura 6-2. Visualización de mosaico imágenes Sentinel 1

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

En la Figura 6-2 se puede observar las imágenes necesarias para cubrir nuestra área de estudio. A continuación se aplicó un filtro para speckle también denominado moteado o efecto de sal y pimienta mediante el siguiente script:

```
var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var f2015VV_filtered = f2015VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var f2015VH_filtered = f2015VH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var s2020VV_filtered = s2020VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var s2020VH_filtered = s2020VH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
```

Luego se agregó estas imágenes filtradas a la vista de mapa:

```
Map.addLayer(f2015VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2015 VV Filtered',0);
Map.addLayer(f2015VH_filtered, {min:-27,max:0}, '2015 VH Filtered',0);
Map.addLayer(s2020VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2020 VV Filtered',0);
Map.addLayer(s2020VH_filtered, {min:-27,max:0}, '2020 VH Filtered',0);
```

El siguiente paso fue calcular la diferencia entre las imágenes para el año 2015 y para el 2020. Hay que aclarar que son imágenes de proporción producto de la división, pero como los valores de las imágenes Sentinel 1 están dados en escala logarítmica por eso realizamos la sustracción:

```
var ratio1520VH= f2015VH_filtered.subtract(s2020VH_filtered);
var ratio1520VV= f2015VV_filtered.subtract(s2020VV_filtered);
```

Para visualizar las imágenes de la diferencia 2015 a 2020, llamamos las imágenes a la vista de mapa:

```
Map.addLayer(ratio1520VH, {min: -9,max:9}, 'Ratio VH 2015/2020', 0);
Map.addLayer(ratio1520VV, {min: -9,max:9}, 'Ratio VV 2015/2020', 0);
```

Se observó y analizó las imágenes filtradas correspondientes al año 2015 (Figura 7-2) y al año 2020 (Figura 8-2), se observó que no hay áreas que han sufrido deforestación. También se observó la imagen cociente 2015/2020 buscando píxeles que muestren una fuerte retrodispersión que nos indicarán sectores donde hay deforestación.

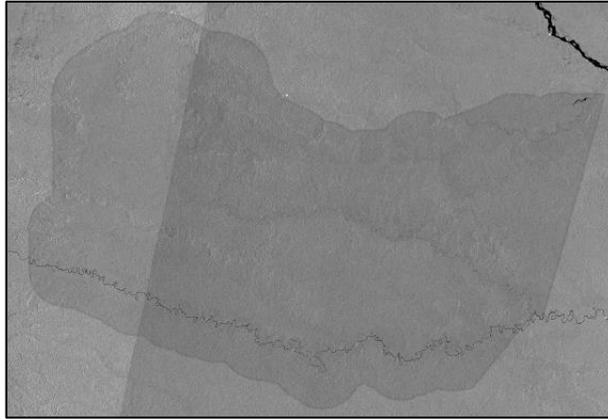


Figura 7-2. I Mosaico año 2015 filtrado “speckle”

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

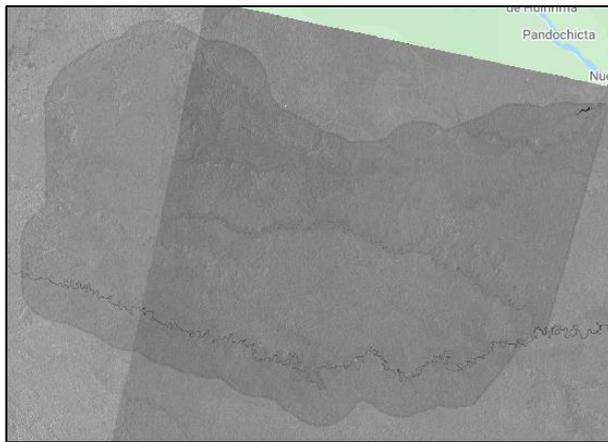


Figura 8-2. Mosaico año 2020 filtrado “speckle”

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Al no encontrar deforestación en el interior de la ZITT, se observó un área agropecuaria muy cerca de los límites que puede ser una amenaza (Figura 9-2), entonces nos concentraremos en esa área para poder realizar los pasos siguientes para la cuantificación de pérdida de cobertura vegetal.

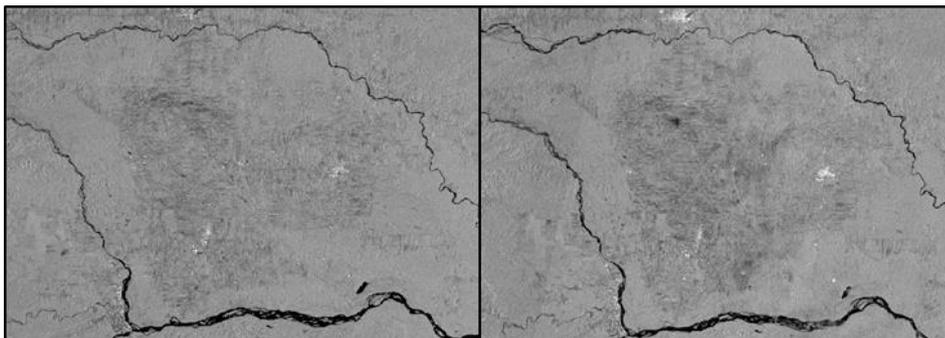


Figura 9-2. Izq. Imagen 2015, der. Imagen 2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

En estas dos imágenes se pudo notar que hubo pérdida de vegetación los tonos oscuros nos muestran la pérdida de vegetación. También se identificó en la imagen cociente 2015/2020 (Figura 10-2) las áreas que tienen mayor retrodispersión que se ven de tono claro brillante nos indica áreas con pérdida de vegetación 2015/2020.

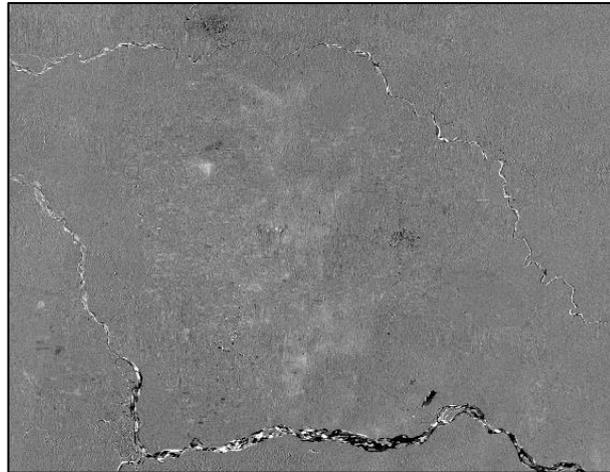


Figura 10-2: Imagen cociente 2015/2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se definió una nueva área de interés como podemos observar en la Figura 11-2, para realizar el cálculo de estadísticas de sus píxeles.

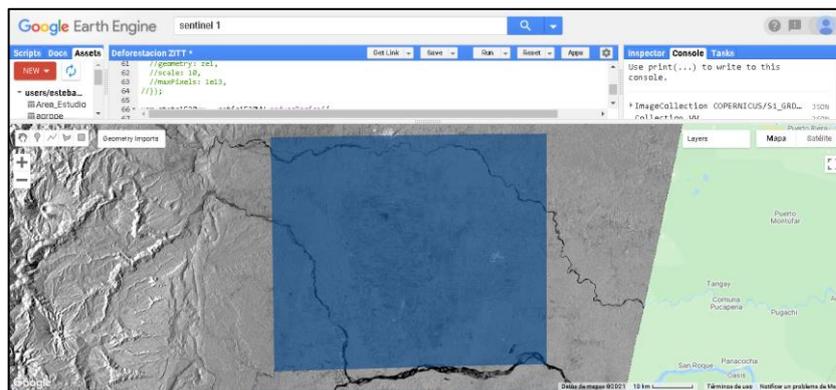


Figura 11-2. Nueva área de interés

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se creó un histograma con los valores de las imágenes cociente (Figura 12-2). Donde los valores más altos nos indicaran los píxeles donde hubo pérdida de vegetación.

```
print(ui.Chart.image.histogram({image:ratio1520VV, region:ze1, scale:300}));  
Histograma de valores de píxeles imagen cociente 2015/2020
```

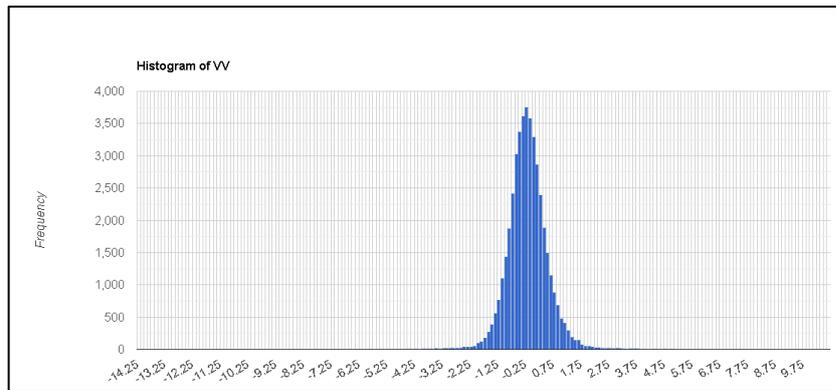


Figura 12-2. Histograma de valores imagen cociente

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se calculó la media y la desviación estándar (Figura 13-2) para determinar el umbral a aplicar en esta imagen. Primero declaramos una variable indicando que estadísticas queremos que nos calcule en nuestro caso promedio y desviación estándar.

```

var reducers = ee.Reducer.mean().combine({
  reducer2: ee.Reducer.stdDev(),
  sharedInputs: true
});
var stats1520vv = ratio1520VV.reduceRegion({
  reducer: reducers,
  geometry: ze2,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13,
});

```

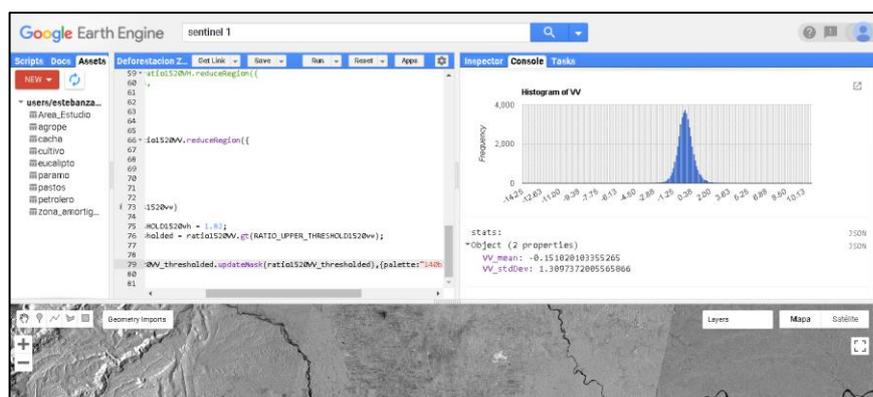


Figura 13-2. Cálculo de estadísticas imagen cociente

Realizado por: Valverde Chávez, B., 20210

Se aplicó un valor de umbral equivalente a $1,5 * \text{la desviación estándar}$, y se fue comparando con la imagen cociente, para ajustar en caso de ser necesario aumentando o disminuyendo el umbral.

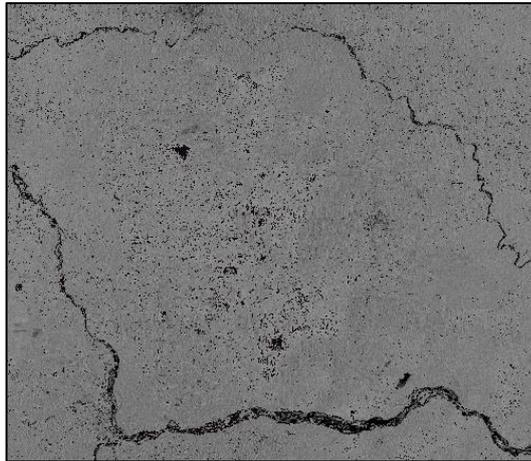


Figura 14-2. Aplicación de umbral

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Una vez que se estuvo conforme con los pixeles tomados por el valor del umbral, se procedió a descargar la imagen para posteriormente post procesarla en Qgis.

```
Export.image.toDrive({  
  image: ratio1520VV_thresholded,  
  description: '2015_2020_mask',  
  scale: 10,  
  region: ze2,  
  maxPixels: 1e13,  
  fileFormat: 'GeoTIFF',  
});
```

Por último con la ayuda de Qgis se vectorizó, calculó el área de perdida de vegetación y se elaboró un mapa para mejor visualización de los resultados.

2.3.2. Para cumplir el segundo objetivo

Ejecutar una clasificación de cobertura vegetal de la ZITT y su zona de amortiguamiento utilizando imágenes ópticas y de radar.

En el Anexo B encontramos el código completo. Se llamó a la colección de imágenes sentinel 1, la filtramos por polarización y fecha. Escribiendo el siguiente código (Podest et al., 2020b. pp. 29-55).

```

var collectionVV = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')
    .filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))
    .filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))
    .filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))
    .filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)
    .filterBounds(ze)
    .select('VV');
print(collectionVV, 'Collection VV');

```

Se aplicó el filtro por fechas:

```

var s2020VV = collectionVV.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31').mosaic();

```

Luego se realizó el filtro para reducir el speckle:

```

var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var s2020VV_filtered = s2020VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');

```

Se agregó la imagen a la vista de mapa:

```

Map.addLayer(s2020VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2020 VV Filtered',0);

```

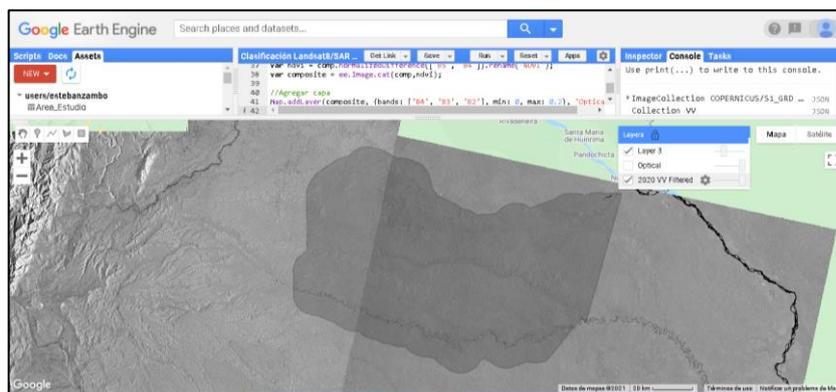


Figura 15-2. Mosaico imagen Sentinel año 2015

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Ahora se procedió a llamar a las imágenes ópticas de la colección Landsat 8, el primer paso es escribir un código para enmascarar las nubes:

```

function maskL8sr(image) {

```

```

var cloudShadowBitMask = 1 << 3;
var cloudsBitMask = 1 << 5;
var qa = image.select('pixel_qa');
var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
.and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
return image.updateMask(mask).divide(10000)
.select("B[0-9]*")
.copyProperties(image, ["system:time_start"]);
}

```

Se extrajo a las imágenes de la colección Landsat 8 Surface Reflectance (SR) Tier 1, filtrándola por fecha y ubicación:

```

var collection18 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31')
.filterBounds(ze)
.map(maskL8sr);

```

Se elaboró un mosaico para generar una sola imagen del año 2020 y calculamos y agregamos el ndvi como una banda adicional para mejorar la precisión de la clasificación:

```

var comp = collection18.mean();
var ndvi = comp.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');
var composite = ee.Image.cat(comp,ndvi);

```

Se cargó la nueva imagen generada y la zona de estudio a la vista de mapas como se puede observar en la Figura 16-2:

```

Map.addLayer(composite, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 0.2}, 'Optical');
Map.addLayer(ze)

```

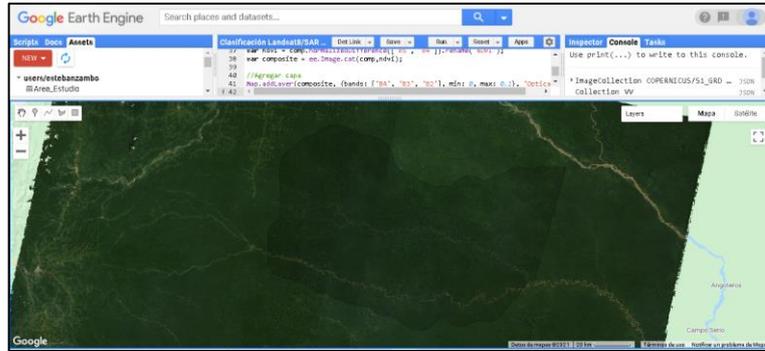


Figura 16-2. Mosaico imagen Landsat8 año 2015

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se generó las áreas de entrenamiento dibujando polígonos en las coberturas que se identifican en la ZITT.

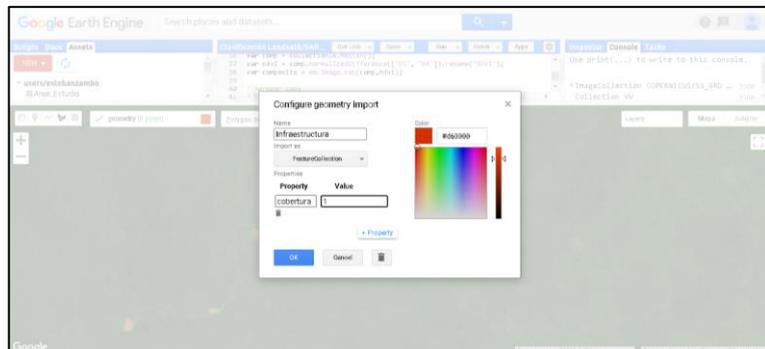


Figura 17-2. Creación de polígonos de coberturas

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se identificaron y se generaron áreas de entrenamiento para las siguientes coberturas dentro de la ZITT bosque como se observa en la Figura 18-2, infraestructura antrópica y agua. Y por encontrarse muy cerca y puede ser considerado como amenaza de seguirse expandiendo áreas de mosaico agropecuario.

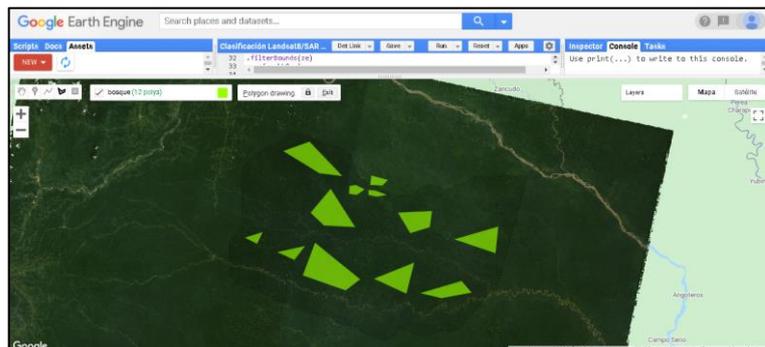


Figura 18-2. Visualización de polígonos de bosque

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Ahora se procedió a juntar las cuatro clases de cobertura en una sola colección:

```
var newfc = infraestructura.merge(bosque).merge(agua).merge(mosaico);
```

Una vez definidas las áreas de entrenamiento realizaremos la clasificación supervisada a partir de la imagen de radar, óptica y generaremos una tercera clasificación supervisada combinada (óptica/radar) para ver cuál es la que mejor funciona en nuestro caso.

2.3.2.1. Clasificación con la imagen de radar

Se extrajo los valores de retrodispersión de las áreas de entrenamiento para cada clase de cobertura terrestre identificada para la imagen Sentinel-1 a ser utilizada en la clasificación:

```
var final = s2020VV_filtered  
var bands = ['VV'];  
var training = final.select(bands).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['cobertura'],  
  scale: 30 });
```

Luego se entrenó al clasificador con las áreas de entrenamiento:

```
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({  
  features: training,  
  classProperty: 'cobertura',  
  inputProperties: bands  
});
```

Finalmente se ejecutó el clasificador en base a los datos extraídos de las áreas de entrenamiento al resto de la imagen:

```
var classified = final.select(bands).classify(classifier);
```

Se añadió la capa resultante de la clasificación a la vista de mapa:

```
Map.addLayer(classified,
```

```
{min: 1, max: 7, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},
'SAR Classification');
```

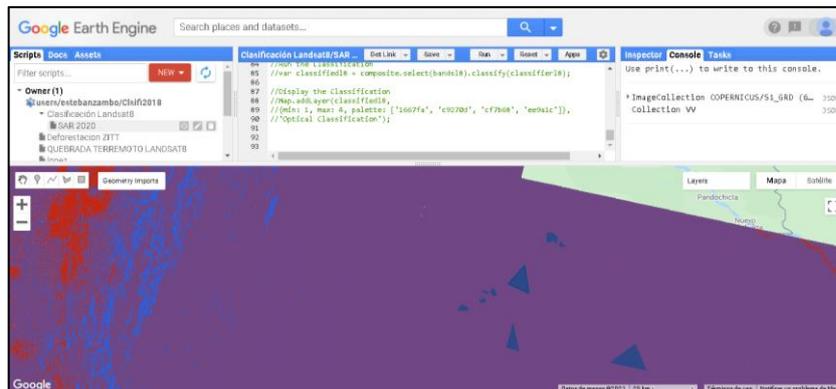


Figura 19-2. Clasificación imagen sentinel 1

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

2.3.2.2. Clasificación con la imagen óptica

Se definió las bandas que vamos a utilizar para la clasificación y las combinamos con las áreas de entrenamiento para extraer los valores de reflectancia de superficie:

```
var bandsl8 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11'];
var trainingl8 = comp.select(bandsl8).sampleRegions({
  collection: newfc,
  properties: ['cobertura'],
  scale: 30
});
```

Se entrenó al clasificador:

```
var classifierl8 =
ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({
  features: trainingl8,
  classProperty: 'cobertura',
  inputProperties: bandsl8
});
```

Se ejecutó el clasificador:

```
var classified18 = composite.select(bands18).classify(classifier18);
```

Se añadió el resultado de la clasificación a la vista de mapa como podemos observar en la Figura 20-2 mediante el siguiente script:

```
Map.addLayer(classified18,  
{min: 1, max: 4, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},  
'Optical Classification');
```

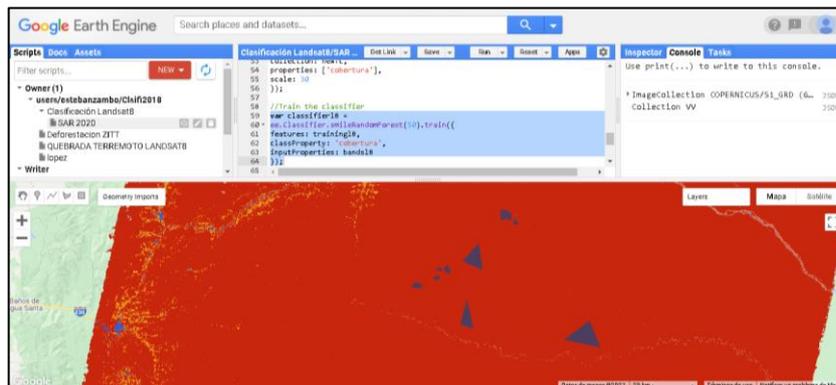


Figura 20-2. Clasificación con imagen óptica

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

2.3.2.3. Clasificación con la imagen de radar y optica

Se definió las bandas que vamos a utilizar tanto de la imagen optica como de la imagen de radar para que las áreas de entrenamiento extraigan la información de sus píxeles:

```
var opt_sar = ee.Image.cat(comp,s2020VV_filtered,s2020VH_filtered);  
var bands_opt_sar = ['VH','VV','B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11'];  
var training_opt_sar = opt_sar.select(bands_opt_sar).sampleRegions({  
  collection: newfc,  
  properties: ['cobertura'],  
  scale: 30 });
```

Se entrenó al clasificador:

```
var classifier_opt_sar =  
ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({  
  features: training_opt_sar,
```

```

classProperty: 'cobertura',
inputProperties: bands_opt_sar
});

```

Se ejecutó al clasificador:

```

var classifiedboth = opt_sar.select(bands_opt_sar).classify(classifier_opt_sar);

```

Se añadió la imagen resultante de la clasificación a la vista de mapa como:

```

Map.addLayer(classifiedboth,
{min: 1, max: 7, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},
'Optical/SAR Classification');

```

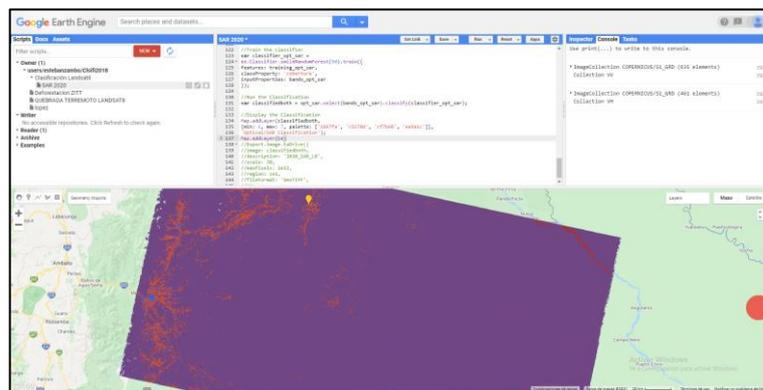


Figura 21-2. Clasificación con imagen radar/óptica

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

En la Figura 21-2 podemos observar la imagen raster resultado de la clasificación combinada de la imagen óptica y de radar. Una vez generadas las imágenes resultantes de las tres clasificaciones se las descargó mediante el siguiente script:

```

Export.image.toDrive({
  image: (nombre de la imagen generada),
  description: '(nombre con el que se descargará)',
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13,
  region: zc1,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
});

```

2.3.2.4. Evaluación de la exactitud

Posteriormente se procedió a evaluar la exactitud de las clasificaciones generadas a partir de la imagen Sentinel, Landsat y Sentinel/Landsat. Para esto nos ayudamos del plugin AcAtaMa de QGIS y de una imagen de alta resolución obtenida del satélite de Google.

Se cargó la imagen de la clasificación correspondiente a la imagen Landsat8, en el plugin.

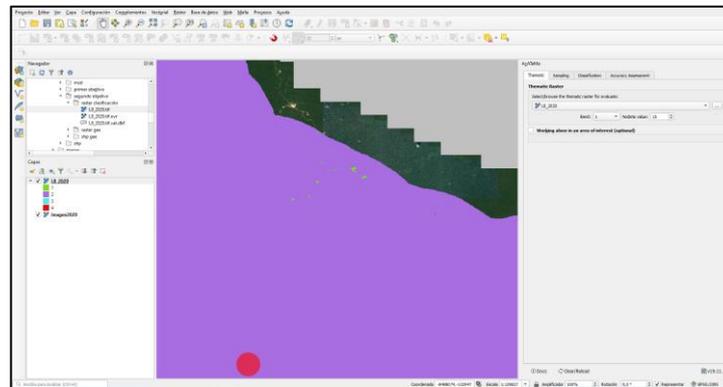


Figura 22-2. Interfaz AcAtaMa

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Se utilizó un muestreo aleatorio estratificado y se seleccionó el número de muestras para cada clase. Luego click en generar muestreo y se guardó en la carpeta de trabajo. En la Figura 23-2 se observan los puntos de muestreo generados.

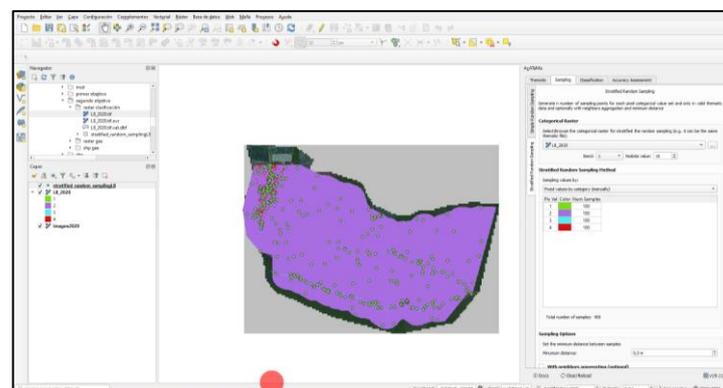


Figura 23-2. Puntos de muestreo

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

A continuación se abrió las ventanas de clasificación como podemos observar en la Figura 24-2, en la parte izquierda esta la vista de la imagen de alta resolución y en la derecha la imagen

generada de la clasificación y sobre ellas se superponen los puntos de muestreo para ir comprobando en la imagen de alta resolución seleccionamos a que cobertura pertenecen.

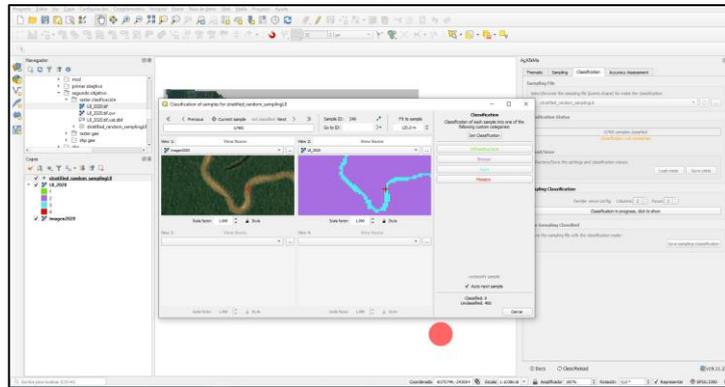


Figura 24-2. Validación visual de puntos de muestreo

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Finalmente luego de terminar la validación de los puntos de muestreo generamos los resultados la exactitud de la clasificación. Los resultados se expresan en 5 tablas como se puede apreciar en la Figura 25-2, dándonos entre otros resultados exactitud por cobertura, error cuadrático y porcentaje de exactitud. Los resultados podemos exportarlos como cvs.

Classification accuracy assessment results

Processing results: 0.258077
 Reading file: 0.000000
 Classification status: 0.000000

Classification status: 0.000000

1) Error matrix (confusion matrix):

	Classified values	1 (Diffuse/brush)	2 (Shrub)	3 (Open)	4 (Pasture)	Total User accuracy	Total class area (m²)	RM
Through matrix	1	96	0	0	0	96	1200000	0.0000
Off-diagonal	2	0	97	2	1	100	1000000000	0.0007
3	0	0	99	0	0	99	1000000000	0.0000
4	0	0	0	97	0	97	1000000000	0.0000
Total	96	0	0	0	96	96	1000000000	0.0000
Producer accuracy	1.0	0.0000	0.0000	0.0000	0.98			

2) Error matrix of estimated area proportions:

	Classified values	1 (Diffuse/brush)	2 (Shrub)	3 (Open)	4 (Pasture)	RM
Through matrix	1	0.0000	0.00	0.00	0.00	0.0000
Off-diagonal	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000		

3) Quadratic error matrix of estimated area proportions:

	Classified values	1 (Diffuse/brush)	2 (Shrub)	3 (Open)	4 (Pasture)
Through matrix	1	0.0	0.0	0.0	0.0
Off-diagonal	2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Total	0.0	0.0000	0.0000	0.0000	

4) Accuracy matrix:

	Classified values	1 (Diffuse/brush)	2 (Shrub)	3 (Open)	4 (Pasture)
Through matrix	1	0.00	0.00	0.00	0.00
Off-diagonal	2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	0.00	0.00	0.00	

5) User's accuracy matrix of estimated area proportions:

	Classified values	1 (Diffuse/brush)	2 (Shrub)	3 (Open)	4 (Pasture)
Through matrix	1	0.00	0.00	0.00	0.00
Off-diagonal	2	0.00	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	0.00	0.00	0.00	0.00	

Area measurement unit: Metro cuadrado (m²)
 Distance: 1.00
 Cell output format: Integer (1) / Decimal separator: .

Figura 25-2. Resultados de exactitud

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Para determinar cual fue la clasificación que mayor exactitud obtuvo repetimos este proceso de evaluación descrito en el apartado 2.3.2.4, para las clasificaciones generadas de la imagen Sentinel y la combinada Sentinel/landsat8. En el Anexo C, se encuentran las tablas de exactitud para las tres clasificaciones que se realizó.

La clasificación mas precisa resultó ser la que se elabora en base a la combinación de la imagen Sentinel 1 y Landsat8, entonces para determinar la cobertura del año 2015 repetimos los pasos seguidos en el apartado 2.3.2.3 solo se cambio el filtro temporal correspondiente al año 2015.

2.3.3. Para cumplir el tercer objetivo

Determinar la Tasa de Cambio Anual de la Cobertura (TAC) de la ZITT y su zona de amortiguamiento.

2.3.3.1. Cálculo de la Tasa de Cambio Anual (TAC)

Para el cálculo de la Tasa de Cambio Anual, se aplicó la fórmula 1, a la cobertura correspondiente a infraestructura antrópica y bosque nativo en las que luego del análisis multitemporal de cambio de cobertura se evidencio que existió cambio.

Infraestructura:

$$TAC = \frac{1}{t_1 - t_2} \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) x 100$$

$$TAC = \frac{1}{2015 - 2020} \ln \left(\frac{135,42}{156,72} \right) x 100$$

$$TAC = 2,92159\%$$

Bosque nativo:

$$TAC = \frac{1}{t_1 - t_2} \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) x 100$$

$$TAC = \frac{1}{2015 - 2020} \ln \left(\frac{1211000,00}{1210978,70} \right) x 100$$

$$TAC = -0,00035\%$$

CAPITULO III

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de deforestación en la ZITT y su zona de amortiguamiento mediante imágenes de radar

Una vez obtenidas las imágenes Sentinel 1 correspondientes al año 2015 y 2020, y luego de realizar el análisis correspondiente. Se determinó que el análisis de imágenes de radar no identificó procesos de deforestación dentro de la Zona Intangible Tagaeri Taromenane y su respectiva zona de amortiguamiento en el periodo 2015-2020. En la Figura 1-3. Se puede observar a la izquierda la imagen correspondiente al año 2015 y a la derecha de del 2020, las mismas que son prácticamente iguales y no se observa procesos de deforestación.

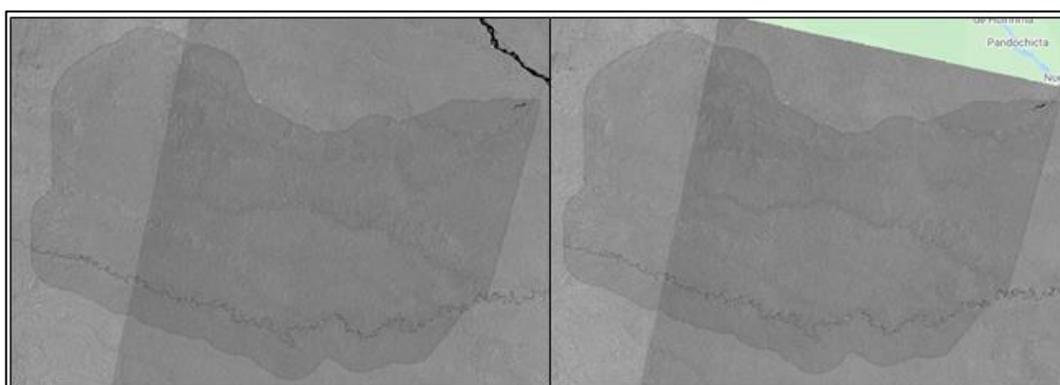


Figura 1-3. Imagen de radar 2015-2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

En la Figura 2-3 observamos la imagen cociente 2015/2020, en la parte izquierda observamos el área de la ZITT y su zona de amortiguamiento en ella no se evidencian áreas que han sufrido pérdida de bosque, por el contrario si observamos la imagen de la parte derecha que corresponde a la misma imagen cociente pero en otro sitio que si ha sufrido pérdida de bosque, las cuales podemos observar que tienen un color blanco brillante.

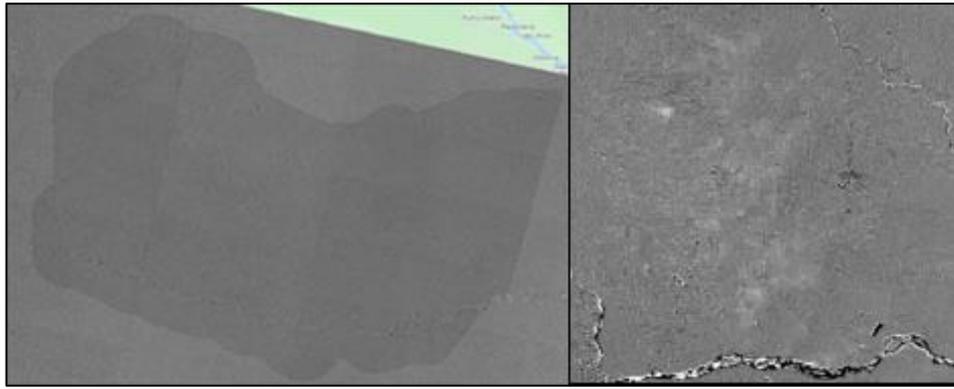


Figura 2-3. Imagen radar cociente 2015/2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Una vez concluido el análisis de deforestación mediante imágenes radar se determinó que en las tierras que limitan al oeste con la ZITT y su zona de amortiguamiento si se evidenciaron áreas deforestadas con un área total de 7166,15 hectáreas. Como se puede observar en la Figura 3-3 está área que presenta deforestación se encuentra muy cerca del límite de la zona de amortiguamiento razón por la cual este proceso deforestación de seguir avanzando en los próximos años se convierte en una amenaza para la integridad de la ZITT.

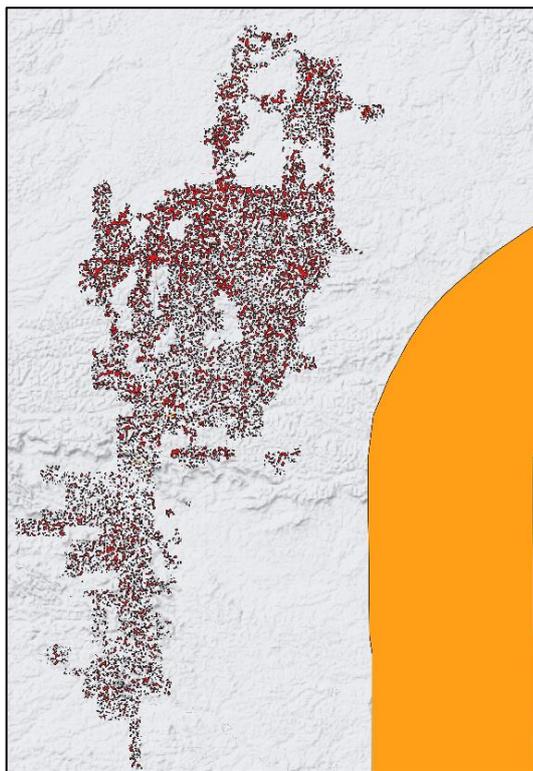


Figura 3-3. Deforestación 2015/2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

3.2. Análisis multitemporal del cambio de Cobertura

Para el año 2020 se realizó tres clasificaciones supervisadas utilizando las mismas áreas de entrenamiento, el mismo algoritmo clasificador (Random forest) pero diferentes imágenes satelitales: la primera se la realizó con la imagen Sentinel 1, la segunda con la imagen óptica (Landsat8) y una tercera clasificación combinando las dos imágenes, es decir se entrenó al clasificador tanto con los valores correspondientes a la imagen Landsat8 y de la Sentinel 1 para luego determinar cuál de las clasificaciones fue más exacta y aplicarla a la determinación de la cobertura vegetal para el año 2015.

3.2.1. Evaluación de la exactitud de la clasificación

Para evaluar el resultado de la clasificación de cada una de las imágenes se utilizó una imagen de alta resolución obtenida del satélite de Google y mediante plugin AcAtaMa de QGIS, aplicando un muestro aleatorio estratificado con un total de 400 puntos de muestreo (100 por cada cobertura). Las tablas de resumen de la evaluación de la precisión se encuentran en en Anexo C. Como podemos observar en el Gráfico 1-3, la clasificación realizada partiendo de la combinación de la imagen Senitnel 1 y Landsat8 fue la mas precisa con un 98% de precisión y este tipo de clasificación también se realizo para el año 2015.

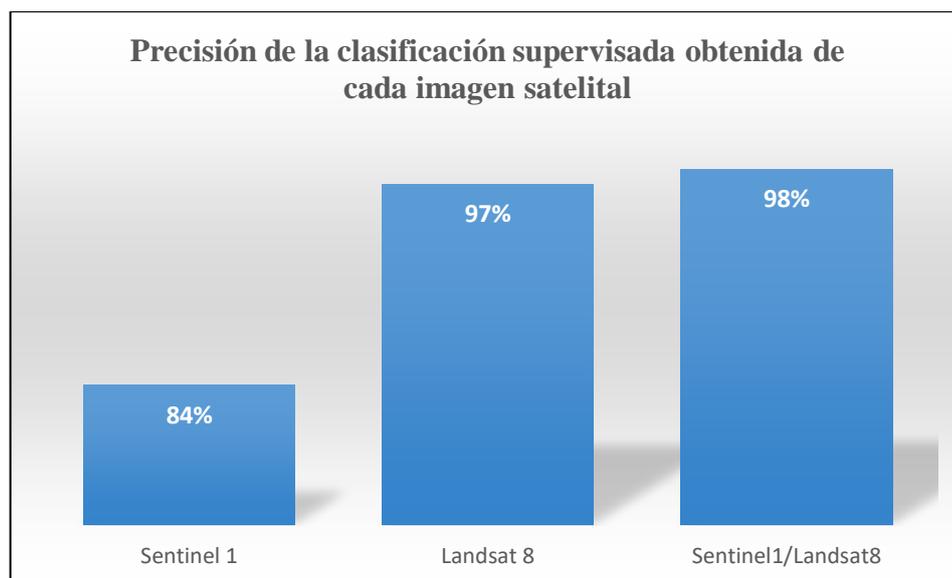


Gráfico 1-3. Precisión de la clasificación supervisada obtenida de cada imagen satelital

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

3.2.2. Cobertura de la tierra año 2015

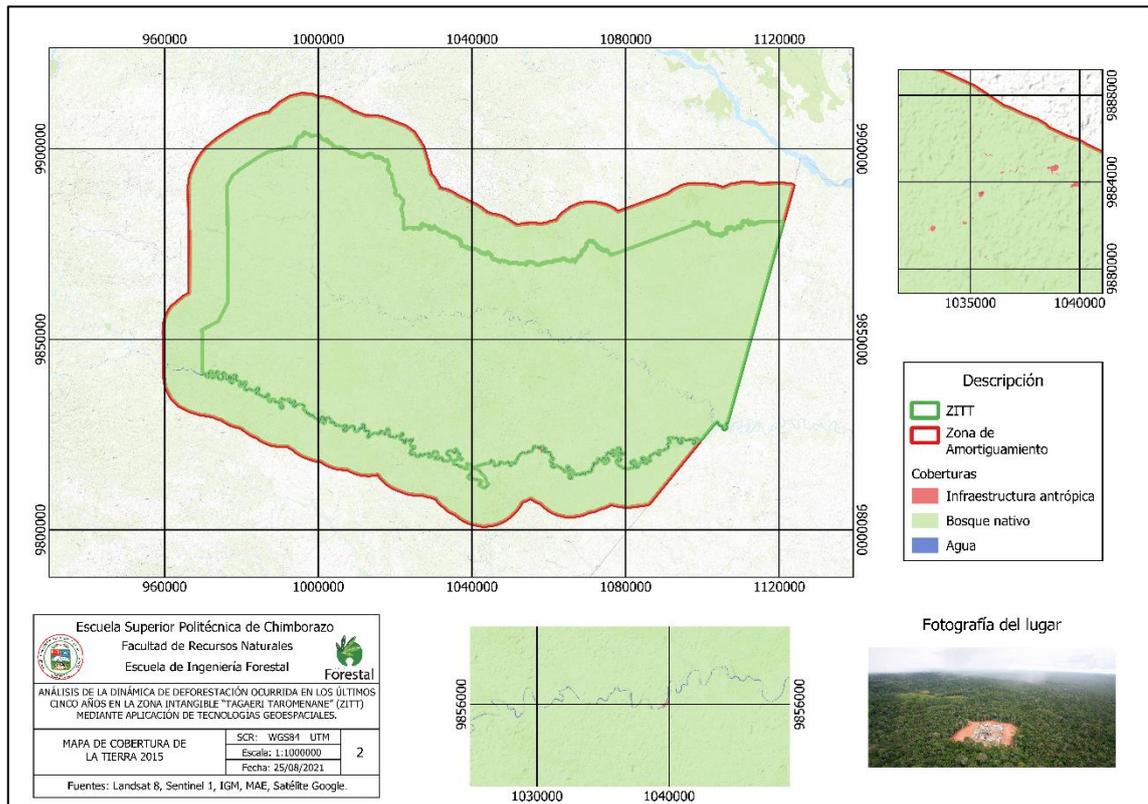


Figura 4-3. Cobertura de la Tierra año 2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

En la ZITT y su zona de amortiguamiento para el año 2015 se encontró un total de 1211000,00 hectáreas de bosque nativo, 3964,45 hectáreas de agua y 135,42 hectáreas correspondientes a infraestructura antrópica establecida para extracción petrolera.

3.2.3. Cobertura de la tierra año 2020

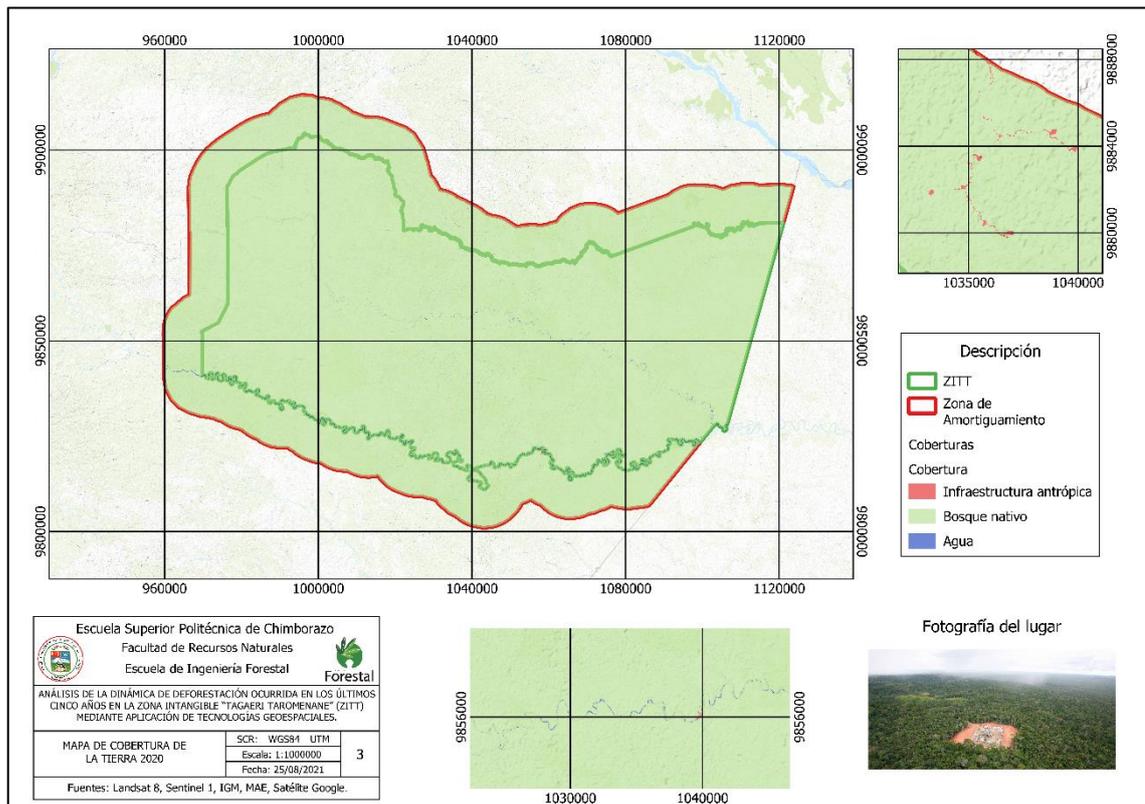


Figura 5-3. Cobertura de la Tierra año 2020

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

Para el año 2020 en la ZITT y su zona de amortiguamiento para se encontró un total de 1210978,70 hectáreas de bosque nativo, 3964,45 hectáreas de agua y 156,72 hectáreas correspondientes a infraestructura antrópica establecida para extracción petrolera.

Tabla 1-3: Cobertura de la tierra año 2015 y 2020 ZITT y zona de amortiguamiento

Cobertura	Año 2015	Año 2020
Infraestructura antrópica	135,42	156,72
Bosque nativo	1211000,00	1210978,70
Agua	3964,45	3964,45

Realizado por: Valverde Chávez, B., 2021

3.3. Tasa de Cambio Anual (TAC)

Luego de realizado el análisis multitemporal para el periodo 2015-2020 obtuvimos los siguientes resultados par el cambio de cobertura vegetal:

- La cobertura correspondiente a agua se mantuvo igual respecto a su área.
- El bosque nativo sufrió una pérdida muy baja (en función de su gran extensión) que representa una TAC de -0,0003 %
- Y la cobertura correspondiente a infraestructura antrópica sufrió un aumento en su extensión que representa una TAC de 2,92%.

DISCUSIÓN

Una vez realizado el análisis de deforestación mediante imágenes de radar (Sentinel 1), no se identificaron áreas deforestadas en los últimos cinco años, resultados tranquilizadores porque nos indican que las medidas de protección que se toman para: preservar la zona intangible y su zona de amortiguamiento, están siendo efectivos. Así, los resultados arrojados por la presente investigación concuerdan con los resultados presentados por el Ministerio del Ambiente en el estudio de deforestación para el periodo de 2016-2018, que se encuentra disponible por medio del integrador geográfico (Mapa interactivo MAE). Se determinó que no existieron grandes extensiones con procesos de deforestación en la zona de estudio, sino, mas bien, pequeñas áreas aisladas que han sufrido pérdida de cubierta boscosa. Sin embargo, en el estudio realizado, gracias a la capacidad de procesamiento de la plataforma Google Earth Engine, se analizó toda la escena de la imagen que también cubre los alrededores de la ZITT y su zona de amortiguamiento; y en las tierras colindantes occidentales se evidenció que existieron procesos de deforestación que afectaron con la pérdida de 7166,15 hectáreas, información que coincide con los reportes de prensa que indican el malestar de la población local por la deforestación causada por madereros ilegales. Deforestación, que, de no controlarse este problema en los próximos años, puede afectar mucho a la integridad de la ZITT y su zona de amortiguamiento.

En lo que respecta al análisis del cambio de cobertura vegetal para el periodo 2015-2020, de las tres clasificaciones supervisadas que se realizaron, la que mayor porcentaje de exactitud presentó fue la que se realizó con la combinación de la imagen óptica (Landsat8) y la imagen de radar (sentinel 1), con un porcentaje de precisión del 98 %, este resultado coincide con los resultados obtenidos por (Palomino y Anaya, 2014. p. 18) en su estudio “Sinergia entre datos ópticos y radar para determinar coberturas del suelo: resultados preliminares para la región de Urabá, Colombia”. En el periodo 2015-2020, se encontró una pequeña disminución de bosque nativo que representa un TAC= -0,0003% y también un aumento en la infraestructura antrópica de TAC=2,92%.

CONCLUSIONES

- Se determinó, luego del análisis multitemporal de deforestación con imágenes de radar, que no existe proceso de deforestación de gran impacto dentro de la ZITT y su zona de amortiguamiento dentro del periodo temporal 2015-2020, lo que nos indica que las medidas de protección realizadas dentro de la zona intangible y su zona de amortiguamiento están siendo eficaces.
- El análisis de deforestación mediante imágenes de radar (Sentinel 1) presenta ventajas como la disponibilidad de imágenes de buena calidad, pues estas no se ven afectadas por los efectos atmosféricos, fenómeno que sí afecta a las imágenes ópticas, principalmente en la zona ecuatorial donde las condiciones atmosféricas representan una limitante al momento de encontrar imágenes de buenas características.
- Se comprobó que la cobertura del suelo en la ZITT y su zona de amortiguamiento para el periodo 2015-2020, prácticamente se ha mantenido sin alteración, sin embargo se encontró un aumento de 21,30 hectáreas en las áreas con presencia de infraestructura antrópica asociada con la explotación petrolera como campamentos y vías de acceso.
- Se definió que la combinación de las imagen Landsat8 y Sentinel en la clasificación supervisada para determinar la cobertura de la tierra es la que mejor resultado alcanzo, seguida muy de cerca por la clasificación realizada partiendo solamente de la imagen Landsat 8 y por último la imagen Sentinel, en su resultado hubo mayor error en la discriminación de las coberturas.
- Se calculó que la Tasa de Cambio Anual de la Infraestructura antrópica con respecto al bosque nativo es del 2,92%, una cifra que es relativamente baja y no representaría una gran amenaza para la perduración de la integridad biológica de la ZITT y su zona de amortiguamiento, sin embargo, en el limite occidental se pudo evidenciar un crecimiento acelerado de las tierras agropecuarias, que de mantenerse esta tendencia constituiría una amenaza para el área de estudio ya que se observa que cada vez la transformación de bosque primario a tierras agropecuarias esta mas cerca de la zona de amortiguamiento de la ZITT.

- Se acepta la hipótesis alterna, puesto que las imágenes de radar y ópticas, mediante el programa Google Earth Engine (GEE), permitieron analizar la dinámica de la deforestación en los últimos cinco años en la zona intangible “Tagaeri Taromenane”.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar el área de estudio para el análisis de deforestación con imágenes de radar (Sentinel 1), porque en las proximidades del límite de la zona de amortiguamiento se encuentra mayor dinámica en la deforestación y de esta manera se podría evaluar con mayor precisión el uso de imágenes de radar en la identificación de áreas deforestadas.
- A más de probar diferentes tipos de imágenes al realizar la clasificación para determinar la cobertura vegetal, se recomendaría probar mas algoritmos de clasificación, como por ejemplo el algoritmo CART que también esta disponible en la plataforma Google Earth Engine, con la finalidad de identificar qué algoritmo funciona mejor para la identificación de coberturas en bosques tropicales.
- Se recomienda el uso de la Plataforma Google Earth Engine para estudios de teledetección, gracias a la capacidad computacional de procesamiento que posee la ejecución de los procesos necesarios es muy rápida y ágil.
- Se recomienda adquirir conocimiento básico de lenguaje de programación que es de mucha ayuda al utilizar las tecnologías que se están desarrollando en el ámbito de teledetección y en general en análisis SIG.

BIBLIOGRAFÍA

BORJA, M.; et al. “*Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años?*”. Universidad de Azuay, (2017), (Ecuador) pp. 63-76.

CALVO, L. *Seguimiento y control cuantitativo del desplazamiento del terreno en una zona de la explotación minera, “El Feixolín” (León), mediante Interferometría Diferencial SAR.* (Trabajo de graduación). Escuela Politécnica Superior de Ávila, Ávila-España. 2018. pp. 11-15.

CÓRDOVA, M. *Determinación de la firma espectral del estrato herbazal- arbustal del páramo en la subcuenca del río Chambo, provincia de Chimborazo* (Trabajo de graduación) (Ingeniero Forestal). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. Riobamba-Ecuador. 2018. pp. 5-10.

CHUVIECO, E. *Teledetección Ambiental.* (2008). 3ra ed. Barcelona: Ariel, S.A. ISBN:978-84-344-8073-3.

GARCÍA, M. *Análisis de sensibilidad mediante Random Forest* (Tesis) (Ingeniería). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid-España. 2018. p. 4.

HERNÁNDEZ, J.; & MONTANER, D. *Patrones de respuesta espectral.* (2009) [En línea]. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://www.gep.uchile.cl/Publicaciones/Hern%C3%A1ndez%20&%20Montaner%202009%20SAF.pdf>.

INREDH. *Incrementa vulnerabilidad en la Zona Intangible Tagaeri-Taromenane por reactivación de explotación maderera.* (2020). [En línea]. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://inredh.org/incrementa-vulnerabilidad-en-la-zona-intangible-tagaeri-taromenane-por-reactivacion-de-explotacion-maderera/>.

KUMAR, L.; & MUTANGA, O. “*Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential*”. *Remote Sens*, no. 10 (2018), (Australia) pp. 1-2.

LEONBERGER. *Revealing the small range of radio-microwave frequencies.* (2002). *Physics Education*, Volume 37, Number 5. USA

MASSUELI, S. *Procesamiento básico de imágenes SAR*. (2013). Informe del trabajo de la beca ASI-CONAE.

MAYORGA, T. *Determinación de la deformación del terreno por movimientos en masa usando interferometría SAR (Radar de Apertura Sintética)*. (Trabajo de graduación). Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba-Argentina. 2013. pp. 45-47.

MENA, C. *Deforestación en el Norte de la Amazonía Ecuatoriana: del patrón al proceso* [En línea]. Quito-Ecuador. 2010. pp. 58-65. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/polemika/article/view/372/349>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR [MAE]. *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Subsecretaría de Patrimonio Natural* [En línea]. Quito-Ecuador. 2013. pp. 160-184. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>.

MOORE, R.; & HANSEN, M. *A New Cloud-Computing Platform for Global-Scale Earth Observation Data and Analysis*. (2017). [En línea]. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2011AGUFMIN43C..02M>.

ORTEGA, N.; & PINOS, A. *Determinación del Rango de Variación del Índice de Vegetación con Imágenes Satélite en el Parque Nacional Cajas*. (Trabajo de graduación). Universidad del Azuay, Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Biología del Medio Ambiente. Cuenca-Ecuador. 2007. pp. 45-46.

PALOMINO, S.; & ANAYA, J. *Sinergia entre datos ópticos y radar para determinar coberturas del suelo: resultados preliminares para la región de Urabá, Colombia* [En línea]. Medellín-Colombia: Selper. 2014. p. 18. [Consulta: 24 noviembre 2021]. Disponible en: <https://selper.org.co/papers-XVI-Simposio/Fotogrametria-PDI-Fusion-de-datos/FP23-Sinergia-entre-datos-opticos-y-radar-Uraba.pdf>.

PERILLA, G.; & MAS, J. *Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube*. (2020). Investigaciones Geográficas, (101). [En línea]. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.14350/rig.59929>.

PODEST, E.; et al. *Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. Forest Ecology and Management*, 177(1–3), 593–596. [En línea]. Washington DC-Estados Unidos. 2020a. pp. 10-35. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/SAR_Part1_Spanish.pdf.

PUYRAVAUD, J. *Mapeo y Monitoreo de Bosques con Datos SAR: Análisis Multi-Temporal*, 177(1–3), 593–596. (2003). [En línea]. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00335-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00335-3)

PODEST, E.; et al. *Mapeo y Monitoreo de Bosques con Datos de SAR: Clasificación de Cobertura Terrestre con Datos Ópticos y de Radar* [En línea]. Washington DC-Estados Unidos. 2020b. pp. 10-35. [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: http://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2020-11/SAR_Part2_Spanish.pdf.

RAMIREZ, A. *Análisis multitemporal mediante sensores remotos de cobertura de la tierra para el periodo de tiempo 1999 - 2011 en el municipio de San Jacinto, Bolívar.* (Trabajo de graduación) (Especialista en Geomática). Universidad Militar de Nueva Granada, Facultad de Ingeniería en Dirección de Postgrados, Especialización en Geomática. Bogotá-Colombia. 2015. pp. 3-5.

REUTER, F. *Principios de Teledetección.* Argentina: 2009.

SALATI, E.; & VOSE, P. *Amazon Basin: A System in Equilibrium.* Science, New Series, Vol. 225, No. 4658. (Jul. 13, 1984), pp. 129-138. Disponible en: http://www.eebweb.arizona.edu/faculty/saleska/Ecol596L/Readings/Salati.Vose84_Amazon_Science.pdf.

SANCHEZ, P. *La teledetección enfocada a la obtención de mapas digitales.* (Trabajo de graduación) (Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. Cuenca-Ecuador. 2012. pp. 10-12.

SARMAP. *UNESCO BILKO group, European Space Agency Synthetic Aperture Radar and SARscape.* (2008).

SIERRA, R. *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* [En línea]. Quito-Ecuador. 2013. pp. ... [Consulta: 15 abril 2021]. Disponible en: https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2013/03/rsierra_deforestacionecuador1950-2020_180313-

pdf.pdf.

VILLALTA, P. *La prohibición de extractivismo en pueblos de aislamiento voluntario como medida para evitar el etnocidio.* (Trabajo de graduación) (Abogacia). Universidad del Azuay, Facultad de Ciencias Jurídicas, Escuela de Derecho. Cuenca-Ecuador. 2015. pp. 45-46.

ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO PARA RELIZAR EL CÁLCULO DE LA DEFORESTACIÓN CON IMÁGENES DE RADAR

```
// Cargar Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VV, descending)
```

```
var collectionVV = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')  
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))  
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))  
.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))  
.filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)  
.filterBounds(ze)  
.select('VV');  
print(collectionVV, 'Collection VV');
```

```
// Cargar Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VH, descending)
```

```
var collectionVH = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')  
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))  
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))  
.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))  
.filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)  
.filterBounds(ze)  
.select('VH');  
print(collectionVH, 'Collection VH');
```

```
//Filtrar imágenes por fechas
```

```
var f2015VV = collectionVV.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31').mosaic();  
var s2020VV = collectionVV.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31').mosaic();  
var f2015VH = collectionVH.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31').mosaic();  
var s2020VH = collectionVH.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31').mosaic();
```

```
//Añadir imágenes a vista de mapa
```

```
Map.addLayer(f2015VV, {min:-15,max:0}, '2015 VV', 0);  
Map.addLayer(s2020VV, {min:-15,max:0}, '2020 VV', 0);  
Map.addLayer(f2015VH, {min:-27,max:0}, '2015 VH', 0);  
Map.addLayer(s2020VH, {min:-27,max:0}, '2020 VH', 0);
```

```

//Aplicar filtro spckle
var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var f2015VV_filtered = f2015VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var f2015VH_filtered = f2015VH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var s2020VV_filtered = s2020VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var s2020VH_filtered = s2020VH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');

//Añadir imagenes filtradas a vista de mapa
Map.addLayer(f2015VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2015 VV Filtered',0);
Map.addLayer(f2015VH_filtered, {min:-27,max:0}, '2015 VH Filtered',0);
Map.addLayer(s2020VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2020 VV Filtered',0);
Map.addLayer(s2020VH_filtered, {min:-27,max:0}, '2020 VH Filtered',0);

//Calculo imagen cociente 2015/2020
var ratio1520VH= f2015VH_filtered.subtract(s2020VH_filtered);
var ratio1520VV= f2015VV_filtered.subtract(s2020VV_filtered);

//Añadir imágenes cociente y zona de estudio a vista de mapa
Map.addLayer(ratio1520VH, {min: -9,max:9}, 'Ratio VH 2015/2020', 0);
Map.addLayer(ratio1520VV, {min: -9,max:9}, 'Ratio VV 2015/2020', 0);
Map.addLayer(ze)

//Calcular histogramas de imagenes cociente
print(ui.Chart.image.histogram({image:ratio1520VH, region:ze1, scale:300}));
print(ui.Chart.image.histogram({image:ratio1520VV, region:ze1, scale:300}));

//Calcular estadísticas
var reducers = ee.Reducer.mean().combine({
  reducer2: ee.Reducer.stdDev(),
  sharedInputs: true
});

var stats1520vh = ratio1520VH.reduceRegion({
  reducer: reducers,
  geometry: ze1,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13,

```

```

});

var stats1520vv = ratio1520VV.reduceRegion({
  reducer: reducers,
  geometry: ze1,
  scale: 10,
  maxPixels: 1e13,
});

//Imprimir estadísticas
print('stats:', stats1520vh, stats1520vv)

//Definición de umbrales para enmascarar píxeles con pérdida
var RATIO_UPPER_THRESHOLD1520vh = 1.14;
var RATIO_UPPER_THRESHOLD1520vv = 1.32;
var ratio1520VH_thresholded = ratio1520VH.gt(RATIO_UPPER_THRESHOLD1520vh);
var ratio1520VV_thresholded = ratio1520VV.gt(RATIO_UPPER_THRESHOLD1520vv);

//Añadir capas de píxeles enmascarados a la vista de mapa
Map.addLayer(ratio1520VH_thresholded.updateMask(ratio1520VH_thresholded),{palette:"FF0000"},'Vegetation Loss VH',1);
Map.addLayer(ratio1520VV_thresholded.updateMask(ratio1520VV_thresholded),{palette:"140b13"},'Vegetation Loss VV',1);

//Exportar imágenes a Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: ratio1520VH_thresholded,
  description: 'DeforestacionVH',
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13,
  region: ze1,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
});

Export.image.toDrive({
  image: ratio1520VV_thresholded,
  description: 'DeforestacionVV',

```

```
scale: 30,  
maxPixels: 1e13,  
region: ze1,  
fileFormat: 'GeoTIFF',  
});
```

ANEXO B: CÓDIGO PARA REALIZAR CLASIFICACIÓN SUPERVISADA CON IMÁGENES DE RADAR Y ÓPTICAS

```
// Cargar Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VV, descending)  
var collectionVV = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')  
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))  
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VV'))  
.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))  
.filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)  
.filterBounds(ze)  
.select('VV');  
print(collectionVV, 'Collection VV');
```

```
// Cargar Sentinel-1 C-band SAR Ground Range collection (log scale, VH, descending)  
var collectionVH = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S1_GRD')  
.filter(ee.Filter.eq('instrumentMode', 'IW'))  
.filter(ee.Filter.listContains('transmitterReceiverPolarisation', 'VH'))  
.filter(ee.Filter.eq('orbitProperties_pass', 'DESCENDING'))  
.filterMetadata('resolution_meters', 'equals', 10)  
.filterBounds(ze)  
.select('VH');  
print(collectionVH, 'Collection VH');
```

```
//Filtrar imagenes por fechas
```

```
var s2020VV = collectionVV.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31').mosaic();  
var s2020VH = collectionVH.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31').mosaic();
```

```
//Añadir imagenes a vista de mapa
```

```
Map.addLayer(s2020VV, {min:-15,max:0}, '2020 VV', 0);  
Map.addLayer(s2020VH, {min:-27,max:0}, '2020 VH', 0);
```

```

//Aplicar filtro de speckle
var SMOOTHING_RADIUS = 50;
var s2020VV_filtered = s2020VV.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');
var s2020VH_filtered = s2020VH.focal_mean(SMOOTHING_RADIUS, 'circle', 'meters');

//Añadir imagenes filtradas a vista de mapa
Map.addLayer(s2020VV_filtered, {min:-15,max:0}, '2020 VV Filtered',0);
Map.addLayer(s2020VH_filtered, {min:-27,max:0}, '2020 VH Filtered',0);

//Enmascaramiento de nubes imagenes Landsat 8
function maskL8sr(image) {
var cloudShadowBitMask = 1 << 3;
var cloudsBitMask = 1 << 5;
var qa = image.select('pixel_qa');
var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
.and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
return image.updateMask(mask).divide(10000)
.select("B[0-9]*")
.copyProperties(image, ["system:time_start"]);
}

//Llamar coleccion de imagenes Inadsat 8
var collection18 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
.filterDate('2020-01-01', '2020-12-31')
.filterBounds(ze)
.map(maskL8sr);

//Hacer un mosaico de imagenes
var comp = collection18.median();

//Agregar imagen composicion RGB y añadir zona de estudio a vista de mapa
Map.addLayer(comp, {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], min: 0, max: 0.2}, 'Optical');
Map.addLayer(ze)

//Generar una coleccion con las areas de entrenamiento
var newfc = Infraestructura.merge(bosque).merge(agua).merge(mosaico);

```

```

//CLASIFICACIÓN IMAGEN OPTICA
//Definir las bandas para extraer los valores
var bandsl8 = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11'];
var trainingl8 = comp.select(bandsl8).sampleRegions({
collection: newfc,
properties: ['cobertura'],
scale: 30
});

//Entrenar al clasificador
var classifierl8 =
ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({
features: trainingl8,
classProperty: 'cobertura',
inputProperties: bandsl8
});

//Ejecutar al clasificador
var classifiedl8 = comp.select(bandsl8).classify(classifierl8);

//Agregar a vista de mapa la clasificación
Map.addLayer(classifiedl8,
{min: 1, max: 4, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},
'Optical Classification');

//CLASIFICACIÓN IMAGEN DE RADAR
//Definir las bandas para extraer los valores
var final = ee.Image.cat(s2020VV_filtered,s2020VH_filtered);
var bands = ['VH','VV'];
var training = final.select(bands).sampleRegions({
collection: newfc,
properties: ['cobertura'],
scale: 30 });

//Entrenar al clasificador
var classifier = ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({
features: training,

```

```

classProperty: 'cobertura',
inputProperties: bands
});

//Ejecutar al clasificador
var classified = final.select(bands).classify(classifier);

//Añadir a vista de mapa la clasificación
Map.addLayer(classified,
{min: 1, max: 7, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},
'SAR Classification');
Map.addLayer(ze)

//CLASIFICACIÓN IMAGEN ÓPTICA Y DE RADAR
//Definir bandas para extraer datos
var opt_sar = ee.Image.cat(comp,s2020VV_filtered,s2020VH_filtered);
var bands_opt_sar = ['VH','VV','B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7', 'B10', 'B11'];
var training_opt_sar = opt_sar.select(bands_opt_sar).sampleRegions({
collection: newfc,
properties: ['cobertura'],
scale: 30 });

//Entrenar al clasificador
var classifier_opt_sar =
ee.Classifier.smileRandomForest(50).train({
features: training_opt_sar,
classProperty: 'cobertura',
inputProperties: bands_opt_sar
});

//Ejecutar al clasificador
var classifiedboth = opt_sar.select(bands_opt_sar).classify(classifier_opt_sar);

//Añadir clasificación a la vista de mapa
Map.addLayer(classifiedboth,
{min: 1, max: 7, palette: ['1667fa', 'c9270d', 'cf7b68', 'ee9a1c']},
'Optical/SAR Classification');

```

```
//Exportar imagenes a Google Drive
Export.image.toDrive({
image: classifiedboth,
description: '2020_SAR_L8',
scale: 30,
maxPixels: 1e13,
region: ze1,
fileFormat: 'GeoTIFF',
});
```

ANEXO C: TABLAS DE RESULTADO DE EVALUACIÓN DE EXACTITUD DE LA CLASIFICACIÓN

Clasificación Landsat8

Classification accuracy assessment results

Classification accuracy assessment results

Thematic raster: L8_2020.tif
 Sampling file: stratified_random_samplingL8.gpkg
 Classification status: 400/400 samples classified

1) Error matrix (confusion matrix):

Thematic raster classes		Classified values				Total	User accuracy	Total class area (m²)	Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)				
Thematic raster classes	1	96	1	0	3	100	0.96	3224498.73435	0.00023
	2	0	97	2	1	100	0.97	13899305579.62321	0.98637
	3	0	0	100	0	100	1.0	39440164.59704	0.0028
	4	0	13	0	87	100	0.87	149396108.25844	0.0106
	total	96	111	102	91	400		14091366351.21303	
	Producer accuracy	1.0	0.87387	0.98039	0.95604		0.95		

2) Error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values				Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)	
Thematic raster classes	1	0.00022	0.0	-	1e-05	0.00023
	2	-	0.95678	0.01973	0.00986	0.98637
	3	-	-	0.0028	-	0.0028
	4	-	0.00138	-	0.00922	0.0106
	total	0.00022	0.95816	0.02253	0.01909	

3) Quadratic error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	0.0	0.0	-	0.0
	2	-	0.00029	0.00019	0.0001
	3	-	-	-	-
	4	-	0.0	-	0.0
	total	0.0	0.01691	0.01388	0.00987

4) Accuracy matrices:

User's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	0.96	0.01	-	0.03
	2	-	0.97	0.02	0.01
	3	-	-	1.0	-
	4	-	0.13	-	0.87

Producer's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	1.0	0.0	-	0.00036
	2	-	0.99856	0.87575	0.51658
	3	-	-	0.12425	-
	4	-	0.00144	-	0.48306

Overall Accuracy:
0.96902

5) Class area adjusted table:

	Area (m²)	Error	Lower limit	Upper limit
1 (Infraestructura)	3095518.78498	63505.3371	2971048.32426	3219989.24569
2 (Bosque)	13501780151.29545	238352375.7167	13034609494.89073	13968950807.70018
3 (Agua)	317426276.1895	195570587.98711	-65892076.26523	700744628.64423
4 (Mosaico)	269064404.9431	139084760.51562	-3541725.66752	541670535.55372
total	14091366351.21303			

Settings

Clasificación Sentinel 1

Classification accuracy assessment results

Classification accuracy assessment results

Thematic raster: Sar_29020.tif

Sampling file: stratified_random_sampling.gpkg

Classification status: 366/366 samples classified

1) Error matrix (confusion matrix):

Thematic raster classes		Classified values				Total	User accuracy	Total class area (m ²)	Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)				
	1	19	71	7	3	100	0.19	9608183.10439	0.00068
	2	0	84	7	9	100	0.84	14042406578.80981	0.99653
	3	0	6	86	8	100	0.86	38668933.21274	0.00274
	4	0	20	3	43	66	0.65152	673709.08628	5e-05
	total	19	181	103	63	366		14091357404.21322	
	Producer accuracy	1.0	0.46409	0.83495	0.68254		0.63388		

2) Error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values				Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)	
	1	0.00013	0.00048	5e-05	2e-05	0.00068
	2	-	0.83708	0.06976	0.08969	0.99653
	3	-	0.00016	0.00236	0.00022	0.00274
	4	-	1e-05	0.0	3e-05	5e-05
	total	0.00013	0.83775	0.07217	0.08996	

3) Quadratic error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
	1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2	-	0.00135	0.00065	0.00082
	3	-	0.0	0.0	0.0
	4	-	0.0	0.0	0.0
	total	3e-05	0.03672	0.02555	0.02866

4) Accuracy matrices:

User's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
	1	0.19	0.71	0.07	0.03
	2	-	0.84	0.07	0.09
	3	-	0.06	0.86	0.08
	4	-	0.30303	0.04545	0.65152

Producer's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
	1	1.0	0.00058	0.00066	0.00023
	2	-	0.99921	0.96661	0.99699
	3	-	0.0002	0.0327	0.00244
	4	-	2e-05	3e-05	0.00035

Overall Accuracy:

0.8396

5) Class area adjusted table:

	Area (m ²)	Error	Lower limit	Upper limit
1 (Infraestructura)	1825554.78983	378828.79581	1083050.35004	2568059.22963
2 (Bosque)	11804967626.46569	517397621.93848	10790868287.46627	12819066965.4651
3 (Agua)	1016926939.03723	360095411.8047	311139931.90003	1722713946.17444
4 (Mosaico)	1267637283.92046	403894012.31527	476005019.78253	2059269548.05839
total	14091357404.21322			

Clasificación combinada Landsat8/Sentinel 1

 Classification accuracy assessment results

Classification accuracy assessment results

Thematic raster: L8_SAR_2020.tif
Sampling file: stratified_random_samplingSAR_L8.gpkg
Classification status: 400/400 samples classified

1) Error matrix (confusion matrix):

Thematic raster classes		Classified values				Total	User accuracy	Total class area (m²)	Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)				
Thematic raster classes	1	98	1	0	1	100	0.98	3002613.13887	0.000
	2	0	98	2	0	100	0.98	13907104679.36443	0.986
	3	0	1	99	0	100	0.99	39699627.59175	0.002
	4	0	10	0	90	100	0.9	141559431.11798	0.010
	total	98	110	101	91	400		14091366351.21303	
	Producer accuracy	1.0	0.89091	0.9802	0.98901		0.9625		

2) Error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values				Wi
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)	
Thematic raster classes	1	0.00021	0.0	-	0.0	0.00021
	2	-	0.96719	0.01974	-	0.98692
	3	-	3e-05	0.00279	-	0.00282
	4	-	0.001	-	0.00904	0.01005
	total	0.00021	0.96822	0.02253	0.00904	

3) Quadratic error matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	0.0	0.0	-	0.0
	2	-	0.00019	0.00019	-
	3	-	0.0	0.0	-
	4	-	0.0	-	0.0
	total	0.0	0.01389	0.01389	0.0003

4) Accuracy matrices:

User's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	0.98	0.01	-	0.01
	2	-	0.98	0.02	-
	3	-	0.01	0.99	-
	4	-	0.1	-	0.9

Producer's accuracy matrix of estimated area proportion:

Thematic raster classes		Classified values			
		1 (Infraestructura)	2 (Bosque)	3 (Agua)	4 (Mosaico)
Thematic raster classes	1	1.0	0.0	-	0.00024
	2	-	0.99893	0.87619	-
	3	-	3e-05	0.12381	-
	4	-	0.00104	-	0.99976

Overall Accuracy:
0.97922

5) Class area adjusted table:

	Area (m²)	Error	Lower limit	Upper limit
1 (Infraestructura)	2942560.87609	42248.35649	2859754.09738	3025367.65481
2 (Bosque)	13643545551.29624	195727273.55755	13259920095.12344	14027171007.46904
3 (Agua)	317444724.90312	195680728.16205	-66089502.2945	700978952.10075
4 (Mosaico)	127433514.13757	4268283.05527	119067679.34925	135799348.9259
total	14091366351.21303			



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Branly Rodrigo Valverde Chávez
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Ingeniería Forestal
Título a optar: Ingeniero Forestal
f. responsable:



0669-DBRA-UTP-2022