

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

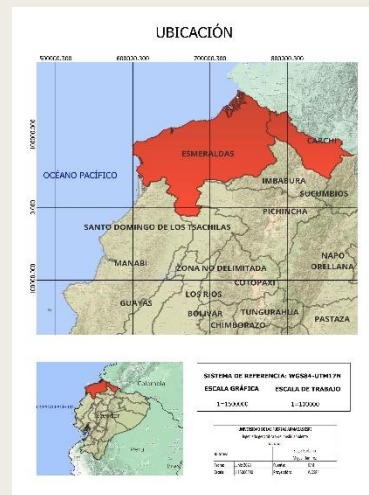
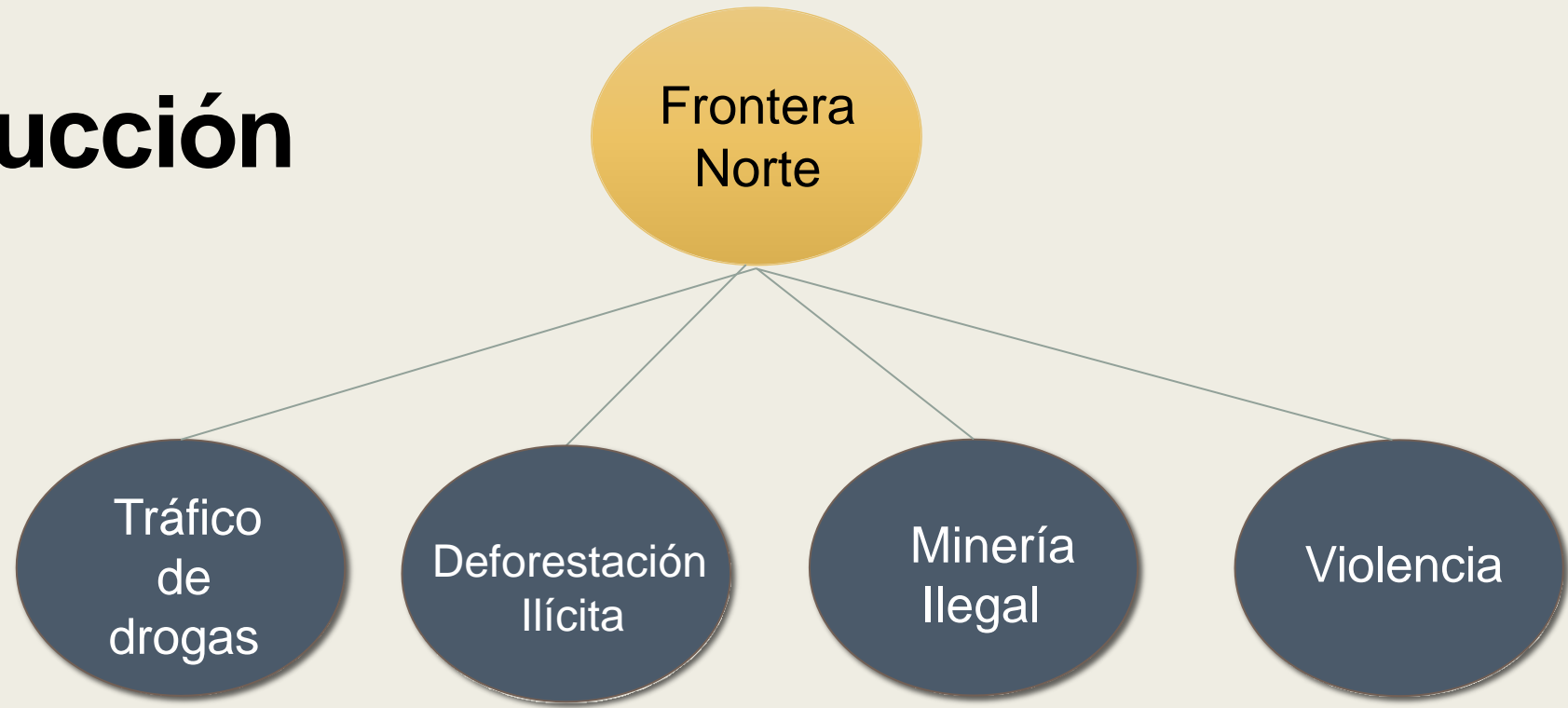
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis multitemporal para la ubicación de actividades ilícitas en la frontera norte del Ecuador provincias de Carchi y Esmeraldas, mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 como apoyo a las operaciones militares.

Autores: Capt. Burbano Aldaz Edgar Alessanderks
Capt. Ramírez Patiño Miguel Ángel

Director del Proyecto: Ing. Rodolfo Salazar, PhD.
Docente Evaluador: Mayo. Ing. Luiz Oliveira, Mst.
Director de Carrera: Ing. Alexander Robayo, MSc.

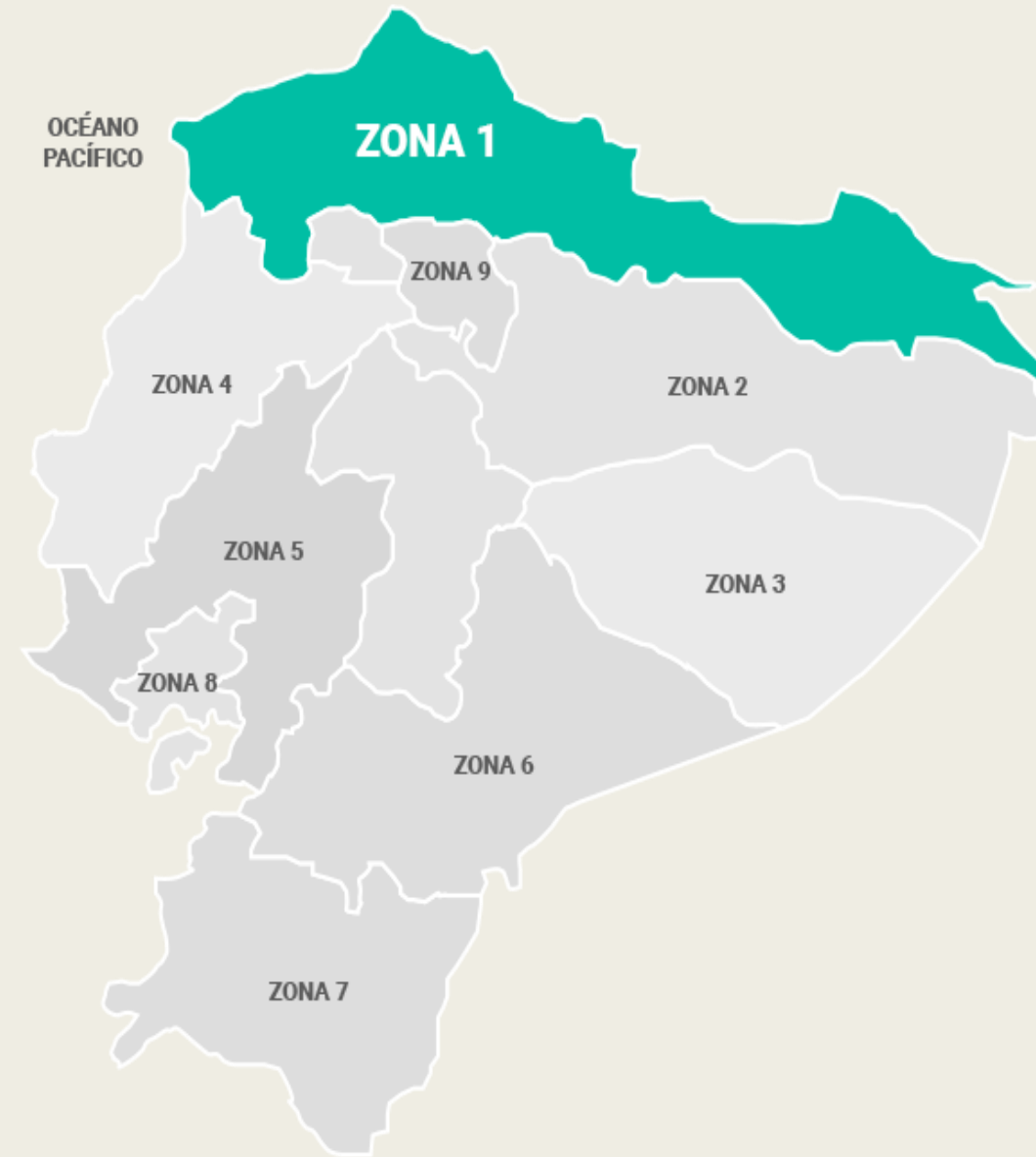
Introducción



Introducción



En los últimos años, Ecuador ha sido testigo de un aumento exponencial del crimen organizado



Objetivos

Objetivo General

Realizar un análisis multitemporal para la ubicación de los posibles sitios en donde se desarrollan actividades ilícitas en la frontera norte del Ecuador provincias de Carchi y Esmeraldas mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 como apoyo a las operaciones militares.

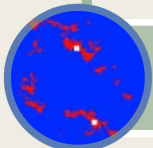
Objetivo Específicos



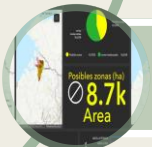
Analizar información satelital para la identificación de actividades ilícitas.



Determinar posibles sitios de actividad ilícita, en función de las diferentes técnicas de análisis multitemporal.



Caracterización y modelamiento de posibles sitios en donde se desarrollan las actividades ilícitas.



Generación de un Story Map y un Dashboard para el apoyo en las operaciones militares.

Área de estudio

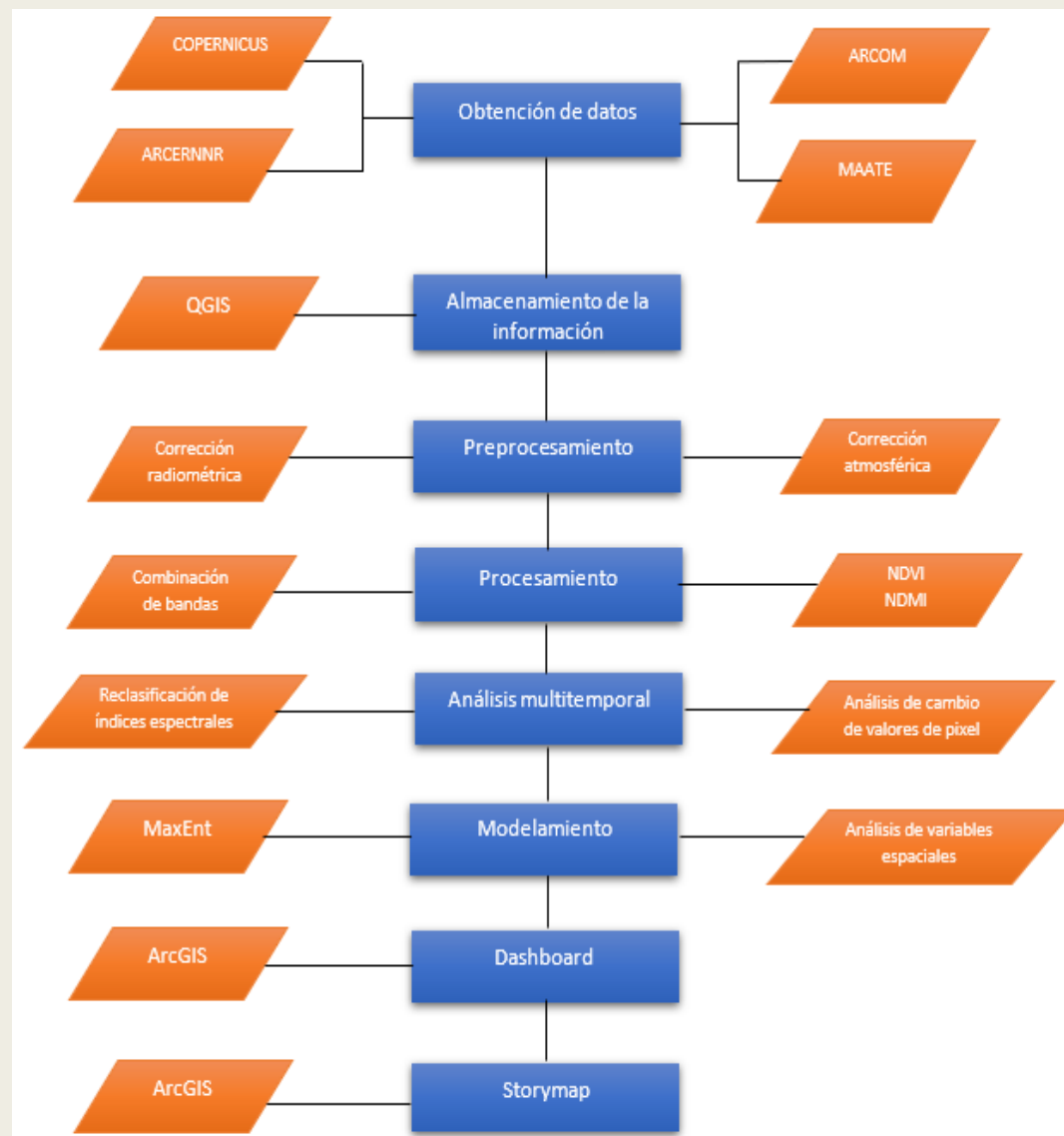


Provincias: Carchi-Esmeraldas



Metodología

QGIS



ArcGIS

Recopilación y almacenamiento de información geoespacial

VECTORIAL

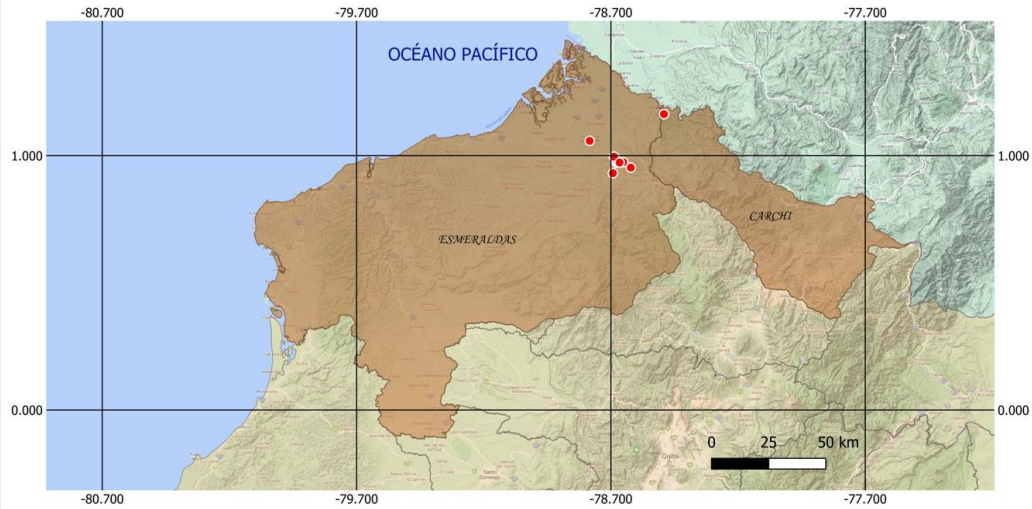
Tipo de información	Fuente	Tipo de archivo	Proyección
Imágenes Satelitales Sentinel	Copernicus Open Access Hub	.TIFF	WGS84-17N
Shapefile del Área concesionada para Minería	ARCERNNR	.shp	WGS84-17N
Shapefile de la ubicación de Minería ilegal	ARCOM	.shp	WGS84-17N
Shapefile de conflictos con la Minería en el Ecuador	ARCOM	.shp	WGS84-17N
Shapefile perdida de bosque	MAATE	.shp	WGS84-17N
Shapefile Vías, Ríos, Poblados	IGM	.shp	WGS84-17N

RASTER

Imágen	Fecha	Satélite y nivel de procesamiento
S2B_MSIL2A_20190422T153629_N0211_R068_T17NQB_20190422T212548	04/22/2019	SENTINEL 2B, NIVEL 2A
S2B_MSIL2A_20200715T153619_JN0214_R068_T17NQB_20200715T194115	07/05/2020	SENTINEL 2B, NIVEL 2A
S2B_MSIL2A_20210421T153619_N0300_R068_T17NQB_20210421T210533	04/21/2021	SENTINEL 2B, NIVEL 2A
S2A_MSIL2A_20220531T153631_N0400_R068_T17NQB_20220531T225311	05/31/2022	SENTINEL 2A, NIVEL 2A
S2B_MSIL2A_20190919T153619_N0213_R068_T17NQB_20190919T204201	09/19/2019	SENTINEL 2B, NIVEL 2A
S2A_MSIL2A_20200312T153621_N0214_R068_T17NQB_20200312T194242	3/12/2020	SENTINEL 2A, NIVEL 2A
S2B_MSIL2A_20210131T153619_N0214_R068_T17NQB_20210131T194326	01/31/2021	SENTINEL 2B, NIVEL 2A
S2A_MSIL2A_20220531T153631_N0400_R068_T17NQB_20220531T225311	05/31/2022	SENTINEL 2A, NIVEL 2A

Reconocimiento de la zona de estudio

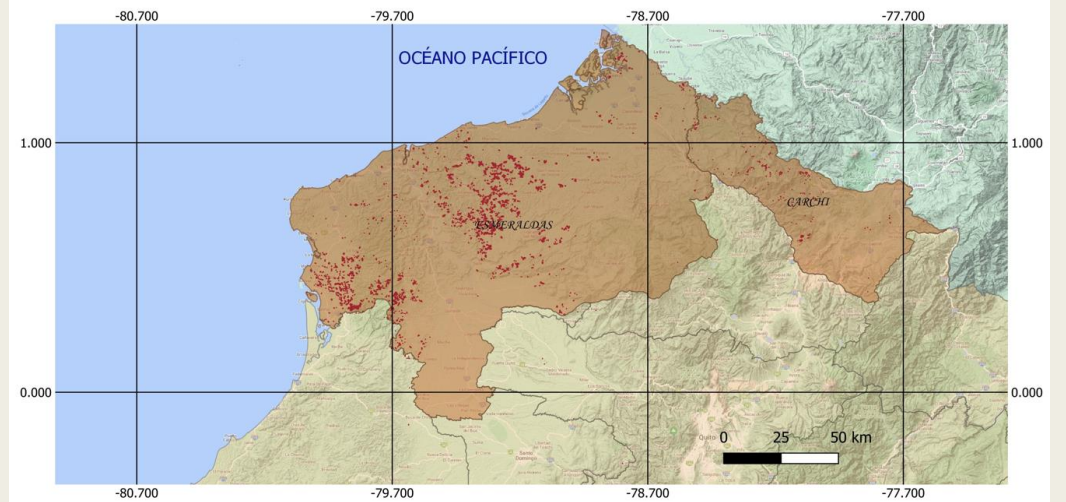
MINERÍA ILEGAL



Zonas de extracción minera en espacios prohibidos.

Acto de remoción de árboles y vegetación

DEFORESTACIÓN



Se utilizó la información recopilada de distintas fuentes públicas, para tener una idea de las zonas dentro del área de estudio, donde se tiene conocimiento que se están realizando actividades ilícitas

Análisis de imágenes satelitales

PREPROCESAMIENTO

Correcciones
geométricas

Localiza píxeles en el geo espacio y corrige la distorsión



Las imágenes utilizadas son de nivel 2A se encuentran orto rectificadas

Correcciones
radiométricas

Corrige problemas mecánicos en el sensor que producen valores erróneos en ciertos píxeles

Correcciones
atmosféricas

Evalúan y eliminan la distorsión atmosférica de las mediciones de radiación que llegan al sensor desde el suelo.

Semi-Automatic
Classification Plugin
(SCP)

PREPROCESAMIENTO

Combinación de bandas

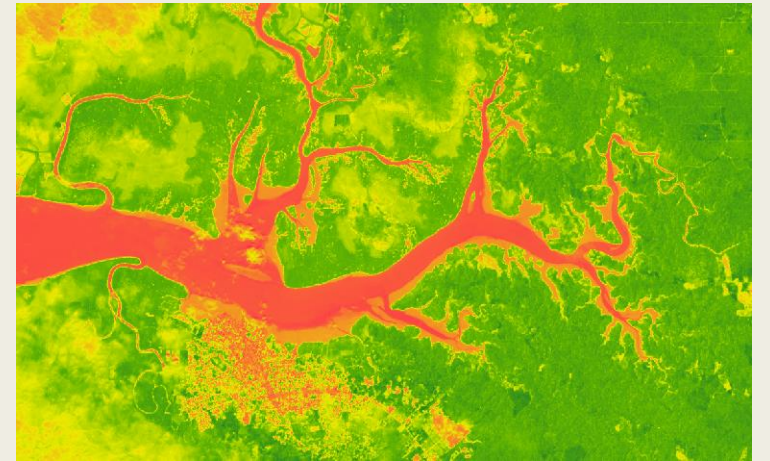
Las combinaciones de bandas permiten especificar las áreas de interés para resaltar y visualizar mejor los cambios de cobertura. Las plantas reflejan las bandas infrarroja y verde, mientras que absorben el color rojo. Las ciudades y el suelo desnudo aparecen grises o en tonos pardos, mientras que el agua se muestra azul o negra.



PROCESAMIENTO

Índices espectrales

Los índices son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen.



Índices espectrales

NDVI

Está altamente asociado con el contenido de vegetación

$$\text{NDVI (Sentinel 2)} = (B8 - B4) / (B8 + B4)$$

NDMI

Se utiliza para determinar el contenido de agua de la vegetación

$$\text{NDMI (Sentinel 2)} = (B8 - B11) / (B8 + B11)$$

SAVI

Se utiliza para corregir el NDVI por la influencia del brillo del suelo en áreas donde la cobertura vegetativa es baja.

$$\text{SAVI (Sentinel 2)} = (B8 - B4) / (B8 + B4 + 0.5) * (1.50)$$

PROCESAMIENTO

Cambios de valor de pixel

Mediante la comparación de los mapas de clasificación generados para cada año, se identificaron aquellas áreas que experimentaron cambios significativos en su vegetación.

El análisis implicó la reclasificación de los valores de SAVI en cuatro clases de cobertura vegetal y su comparación a lo largo del tiempo.

Reclasificación de valores SAVI para los años 2019,2020 y 2021

Valores SAVI	Valores reclasificados
-1 - 0.14	1
0.14 - 0.4	2
0.4 - 0.63	3
0.63 - 1	4

Reclasificación de valores SAVI para el año 2022

Valores SAVI	Valores reclasificados
-1 - 0.14	10
0.14 - 0.4	20
0.4 - 0.63	30
0.63 - 1	40

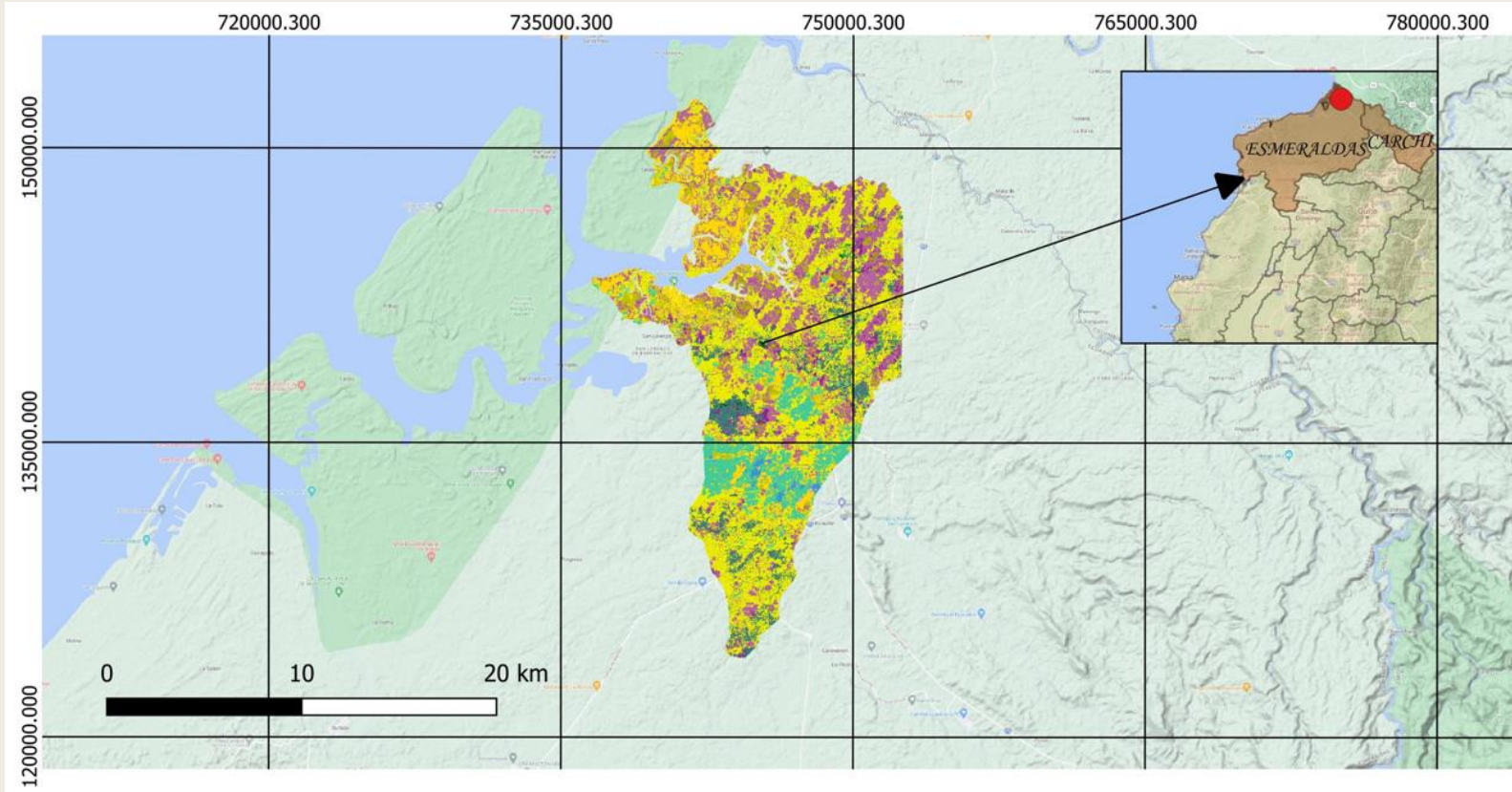
Análisis multitemporal

Años	Coberturas	Valores	2022			
			Suelo desnudo	Vegetación ligera	Vegetación media	Vegetación abundante
2019, 2020, 2021	Suelo desnudo	1	11	21	31	41
	Vegetación ligera	2	12	22	32	42
	Vegetación media	3	13	23	33	43
	Vegetación abundante	4	14	24	34	44

Se analizaron los valores resultantes de las sumas de imágenes para identificar los píxeles con cambios o sin cambios en su clasificación de cobertura vegetal entre los años seleccionados. Además, se compararon los resultados de cada combinación para determinar si hubo tendencias en la evolución de la cobertura vegetal durante el período considerado.

PROCESAMIENTO

Análisis multitemporal



Parroquia: San Lorenzo
Provincia: Esmeraldas



NOTA: Se determino que existe actividad ilícita de minería ilegal en el Cantón Urbina y deforestación ilegal en el Cantón San Lorenzo de la provincia de Esmeraldas. En cuanto a la provincia de Carchi la actividad ilegal presente en territorio es el paso ilegal de insumos lo que concuerda con el estudio realizado por Camacho y Carpio en 2022.

**Identificación de posibles puntos de
actividades ilícitas**

Variable de influencia

Minería ilícita

Tipo de información	Fuente	Tipo de archivo	Proyección
Parroquia de Urbina-Esmeraldas	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Rios	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Vías	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Poblados	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Índice SAVI	AUTOR	.TIFF	WGS84-UTM-17N

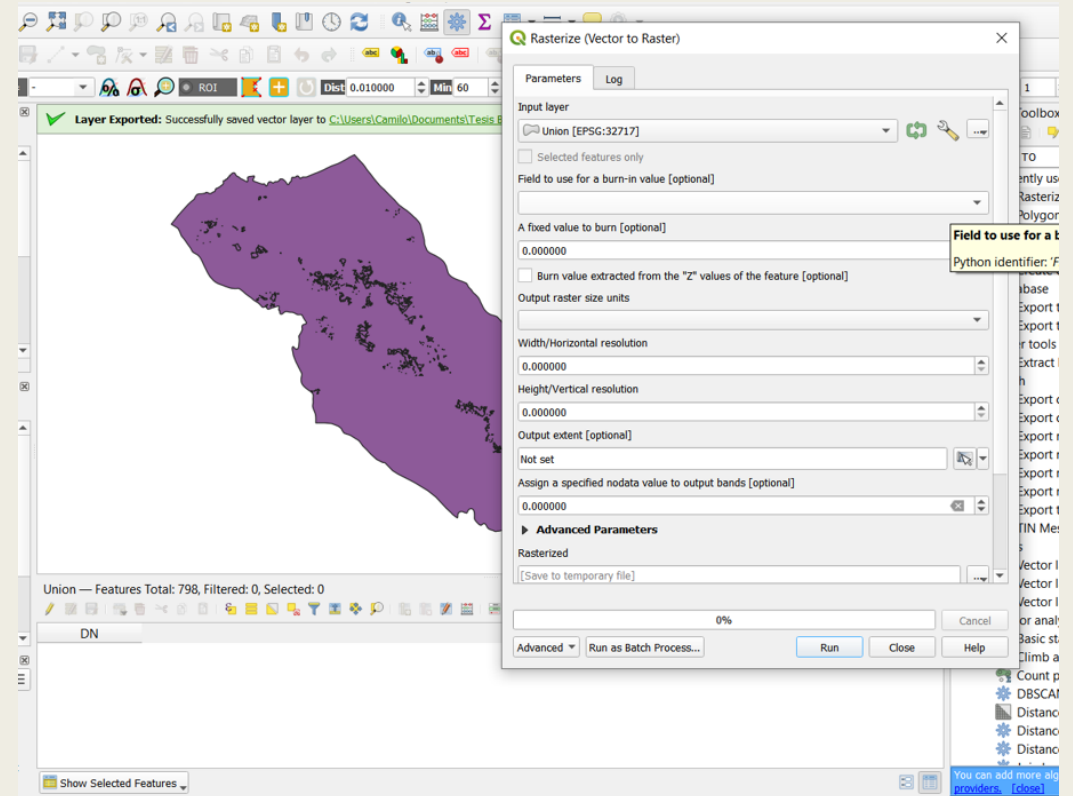
Deforestación ilícita

Tipo de información	Fuente	Tipo de archivo	Proyección
Textura del Suelo	MAE	.TIFF	WGS84-UTM-17N
Presencia de Cultivos	MAE	.TIFF	WGS84-UTM-17N
Vías	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Poblados	IGM	.SHP	WGS84-UTM-17N
Cambio de uso de suelo 2019-2022	AUTOR	.TIFF	WGS84-UTM-17N

Mediante el uso de herramientas SIG, se realizó un análisis para determinar los posibles puntos donde se estén realizando las actividades mineras ilícitas, a partir de las variables que tienen una influencia directa en la ocurrencia de estos hechos.

Rasterización de datos vectoriales

Se realizó una transformación de los datos de tipo vectorial a tipo ráster, con la herramienta Rasterize (Vector to Raster), para luego poder realizar la reclasificación

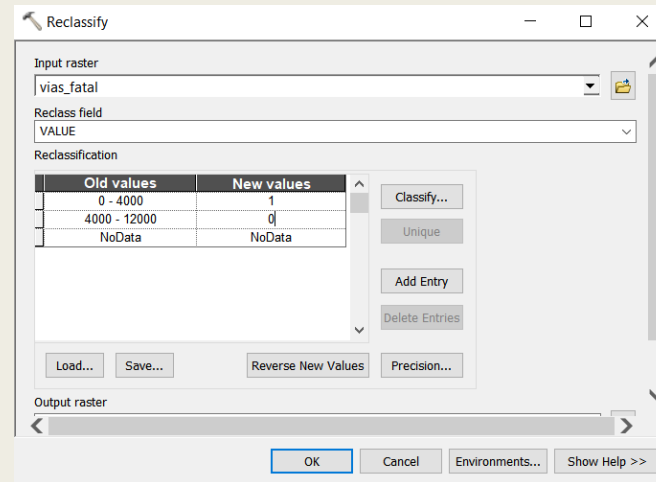


Identificación de posibles puntos de actividades ilícitas

Reclasificación

Datos para reclasificación minería

Variable	Parámetro	Valor
Ríos	0 a 300m	1
	mayor a 300m	0
Vías	0 a 4000m	1
	mayor a 4000m	0
Poblados	0 a 3000m	1
	mayor a 3000m	0
SAVI	-1 a 0,14	1
	0,14 a 1	0



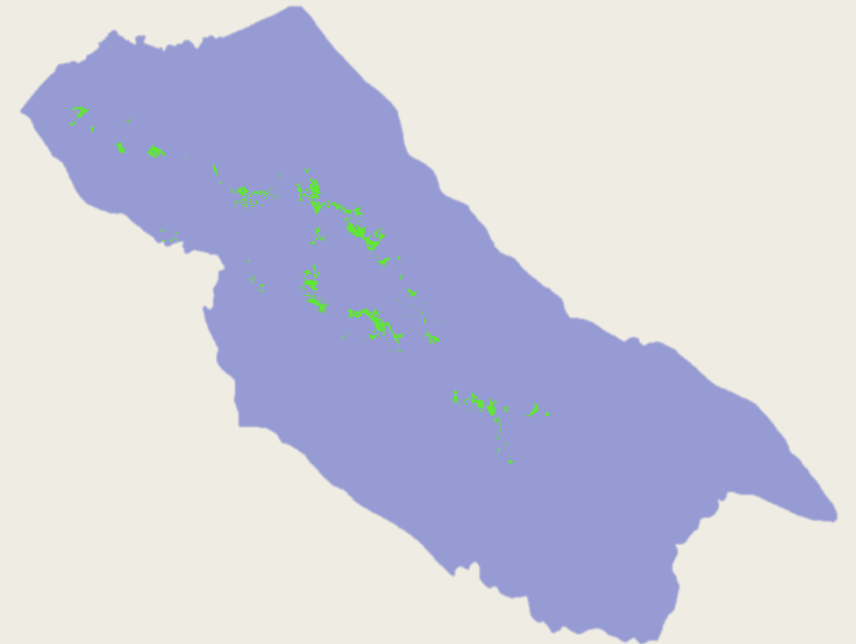
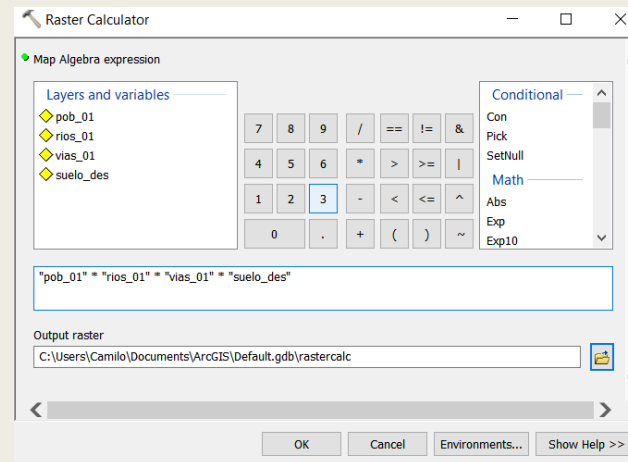
Datos para reclasificación deforestación

Variable	Parámetro	Valor
Textura de suelo	Limoso	1
	Arcilloso	
	Arcilla pesada	
	Otros	0
Cultivos	Con cultivo	0
	Sin cultivo	1
Poblados	0 a 6300m	1
	mayor a 6300m	0
Vías	0 a 6000m	1
	Mayor a 6000m	0
Cambio de uso de suelo 2019-2022	11	1
	12	
	13	
	14	
	21	
	22	
	23	
	24	
	31	
	32	
	33	
Otros	0	

Se reclasificó los valores de los datos rasterizados, mediante la herramienta Reclassify de ArcMap de manera que a las presencias se les asigno el valor de 1 y las pseudoabsencias el valor de 0.

Álgebra de mapas

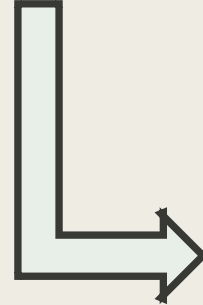
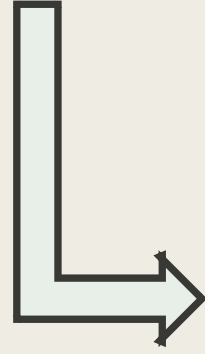
Se realizó el álgebra de mapas con la herramienta Raster Calculator de Arcmap



Se utilizó la operación de producto entre los valores de presencias y pseudo ausencias, obteniéndose así las zonas óptimas de recurrencia de minería ilegal para el año 2022.

**Modelamiento de posibles zonas de
recurrencia de actividades ilícitas**

Para corroborar los datos obtenidos mediante modelamiento, se utilizó el programa MaxEnt.



Emplea una técnica de máxima entropía para calcular la probabilidad de que ocurra un fenómeno en particular.

Introducción de datos para modelamiento

Datos para modelación minería

Samples
File: \mineria shp final\MUESTRA MINERIA.csv **Browse**

Environmental layers
Directory/File: ents\Tesis Burbano\Modelo\mineria asc **Browse**

<input checked="" type="checkbox"/> poblacion	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> rios	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> suelo_des	Categorical
<input checked="" type="checkbox"/> vias	Continuous

MUESTRA_MINERIA

Linear features
 Quadratic features
 Product features
 Threshold features
 Hinge features
 Auto features

Create response curves
Make pictures of predictions
Do jackknife to measure variable importance

Output format: Cloglog
Output file type: asc

Output directory: illo\Documents\Tesis Burbano\Modelo\mineria maxent **Browse**
Projection layers directory/file: s\Tesis Burbano\Modelo\mineria maxent **Browse**

Run **Settings** **Help**

Datos para modelación deforestación

Samples
File: \Modelo\deforestacion\posibl_defor.csv **Browse**

Environmental layers
Directory/File: esis Burbano\Modelo\deforestacion\ASC **Browse**

<input checked="" type="checkbox"/> cambio	Categorical
<input checked="" type="checkbox"/> cul_catgrico	Categorical
<input checked="" type="checkbox"/> poblacion	Continuous
<input checked="" type="checkbox"/> textura	Categorical
<input checked="" type="checkbox"/> vias	Continuous

Muestra

Linear features
 Quadratic features
 Product features
 Threshold features
 Hinge features
 Auto features

Create response curves
Make pictures of predictions
Do jackknife to measure variable importance

Output format: Cloglog
Output file type: asc

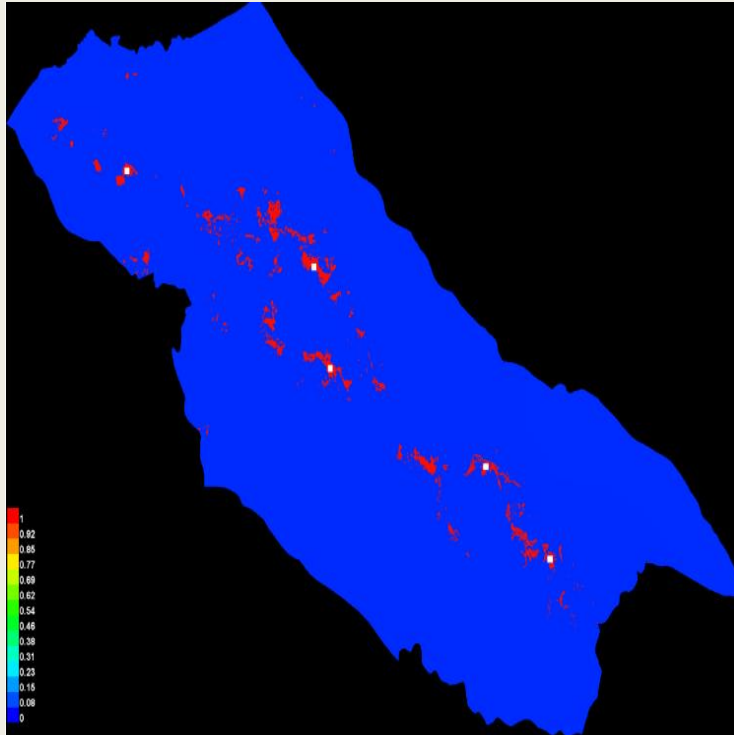
Output directory: milo\Documents\Tesis Burbano\Modelo\deforestacion **Browse**
Projection layers directory/file: ts\Tesis Burbano\Modelo\deforestacion **Browse**

Run **Settings** **Help**

Modelamiento de posibles zonas de recurrencia de actividades ilícitas

Modelamiento

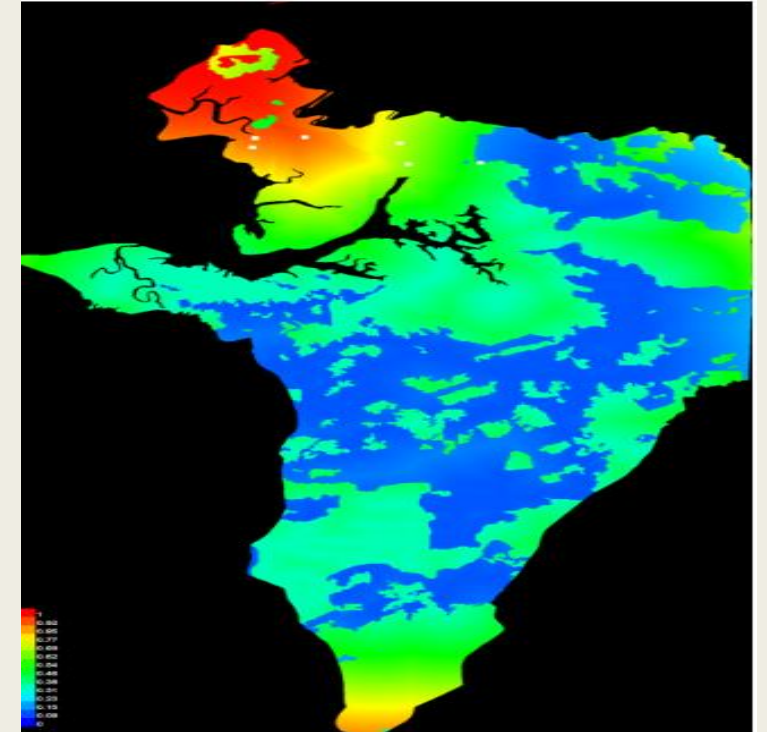
Modelación zonas minería ilegal



Provincia: Esmeraldas
Parroquia: Urbina

Los colores más cálidos muestran áreas con mejores condiciones previstas. Los puntos blancos muestran las ubicaciones de presencia utilizadas para el entrenamiento, mientras que los puntos violetas muestran las ubicaciones de prueba.

Modelación zonas deforestación ilegal

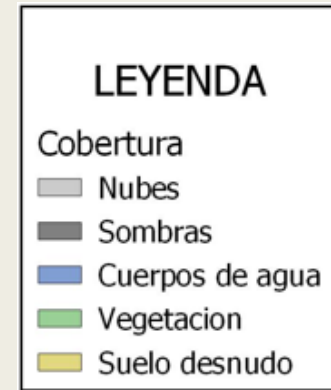
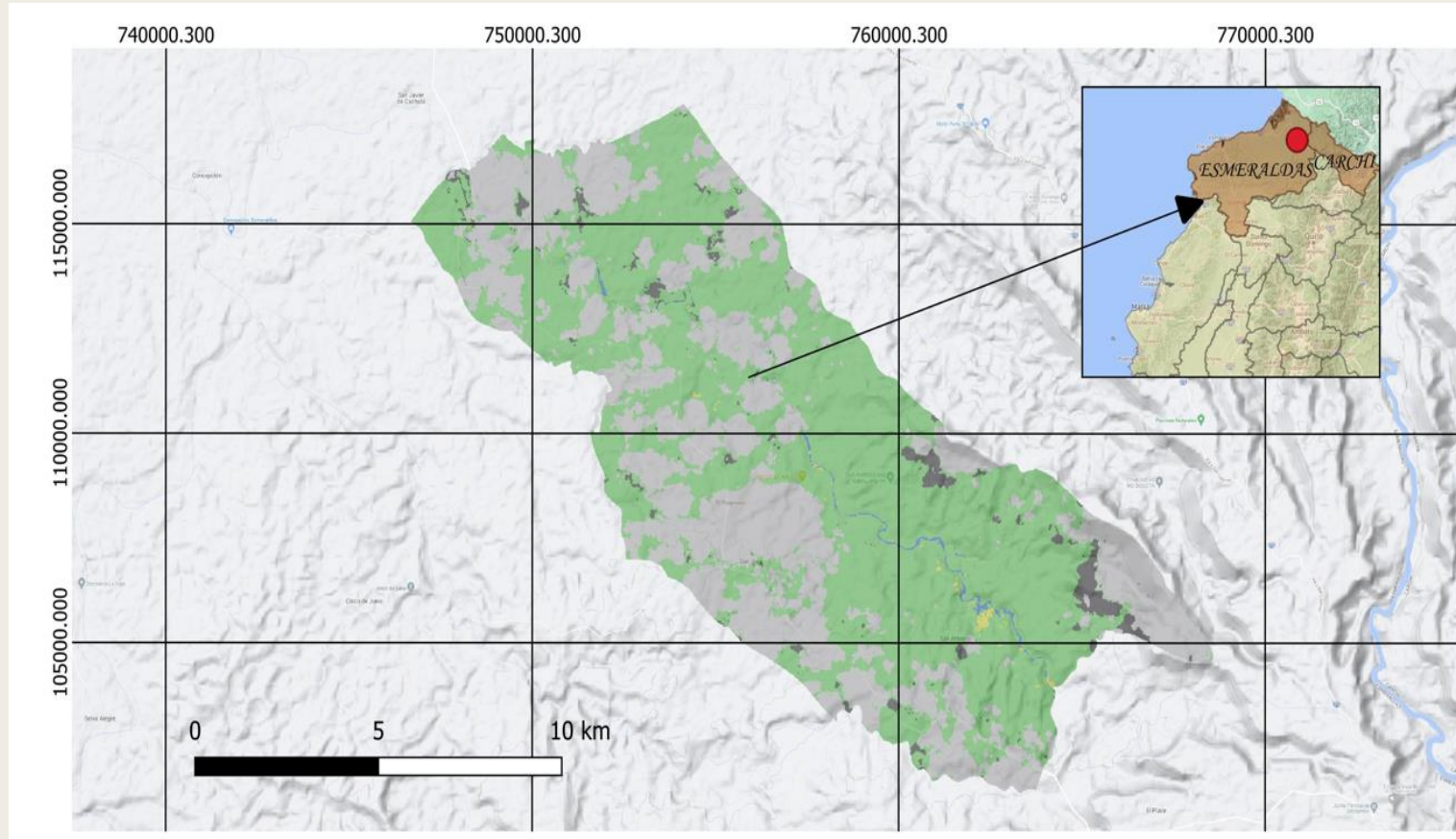


Provincia: Esmeraldas
Parroquia: San Lorenzo

Modelamiento de posibles zonas de recurrencia de actividades ilícitas

Resultados Minería

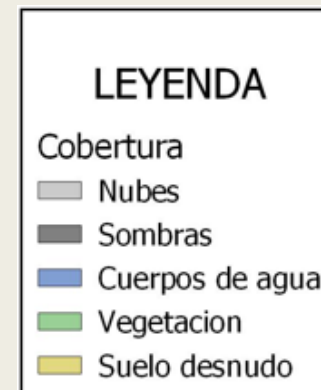
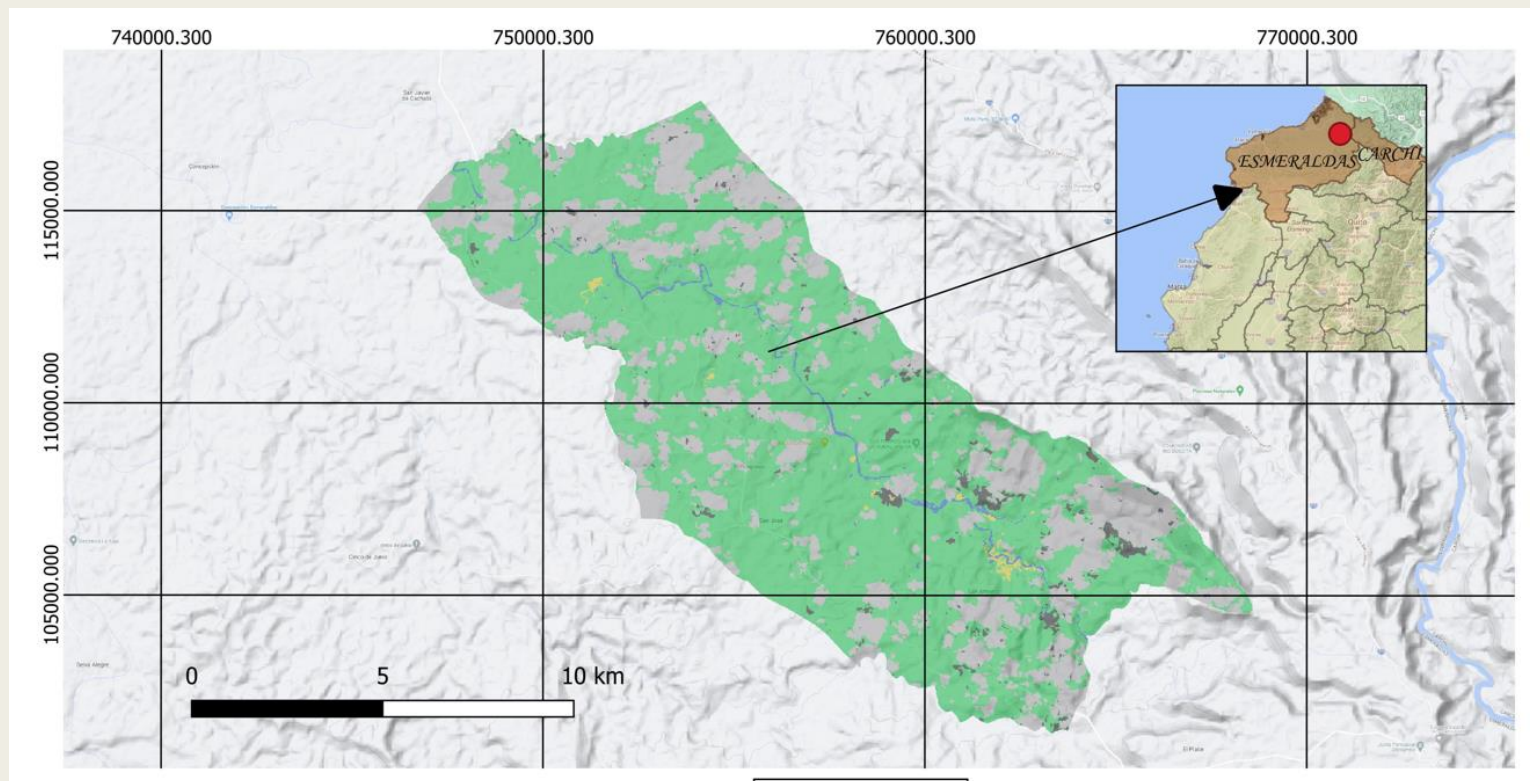
Cobertura del suelo año 2019 minería Urbina - Esmeraldas



Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	40.5	0.28%
Cuerpos de agua	59.35	0.41%
Sombras	380.08	2.60%
Nubes	5496.53	37.57%
Vegetación	8652.62	59.15%
TOTAL	14629.08	100.00%

La minería ilegal puede tener efectos significativos en el estrés hídrico de una zona, a través de la alteración de los patrones de flujo de agua, la deforestación y cambios en la cobertura del suelo.

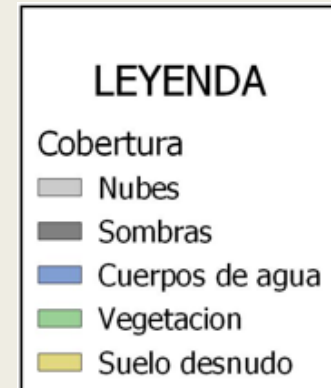
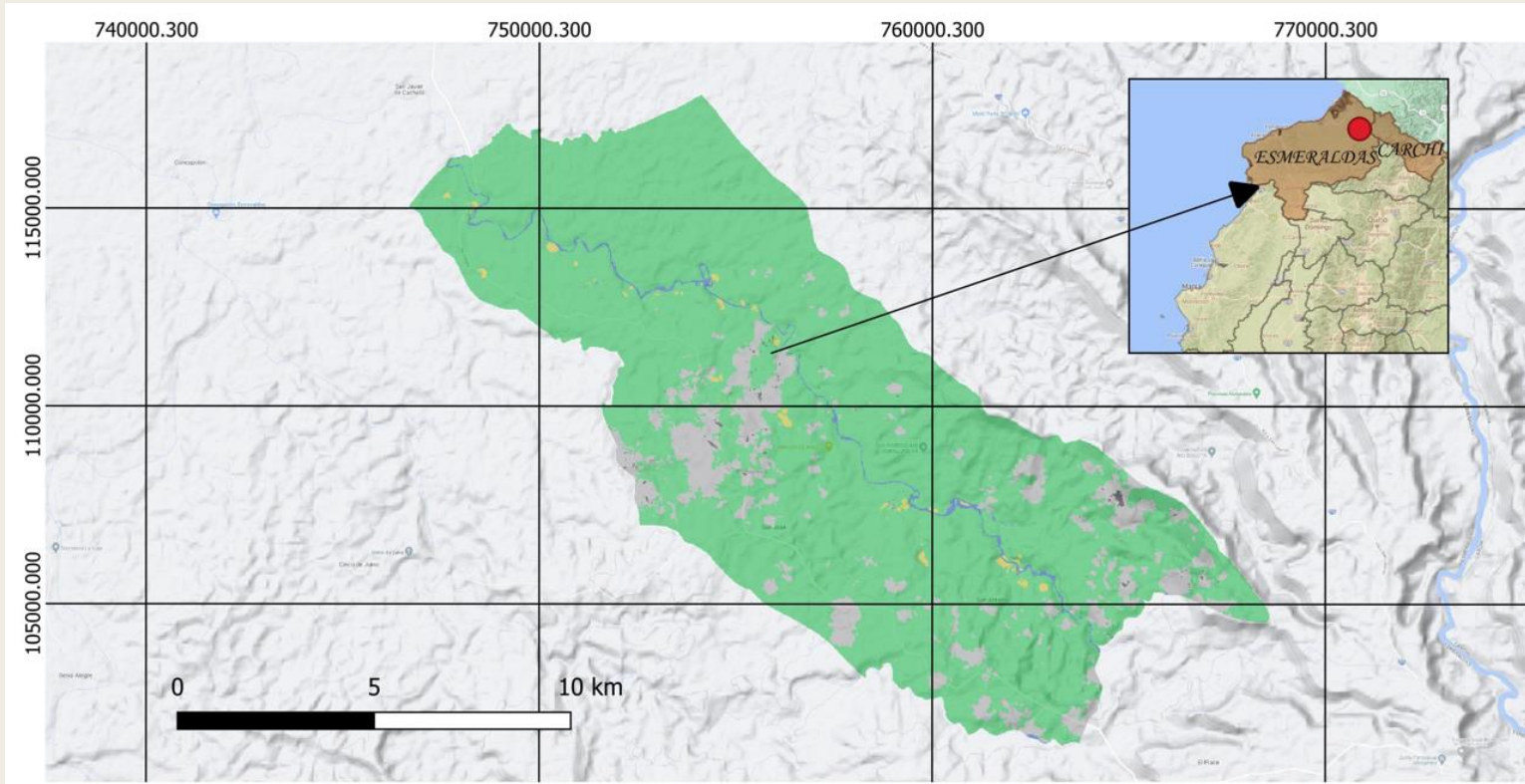
Cobertura del suelo año 2020 minería Urbina - Esmeraldas



Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	64.68	0.44%
Cuerpos de agua	141.8	0.97%
Sombras	268.24	1.83%
Nubes	4257.53	29.10%
Vegetación	9896.87	67.65%
TOTAL	14629.12	100.00%

La presencia de suelo desnudo en tono amarillo se ha extendido, lo que indica una mayor degradación del suelo en estas áreas.

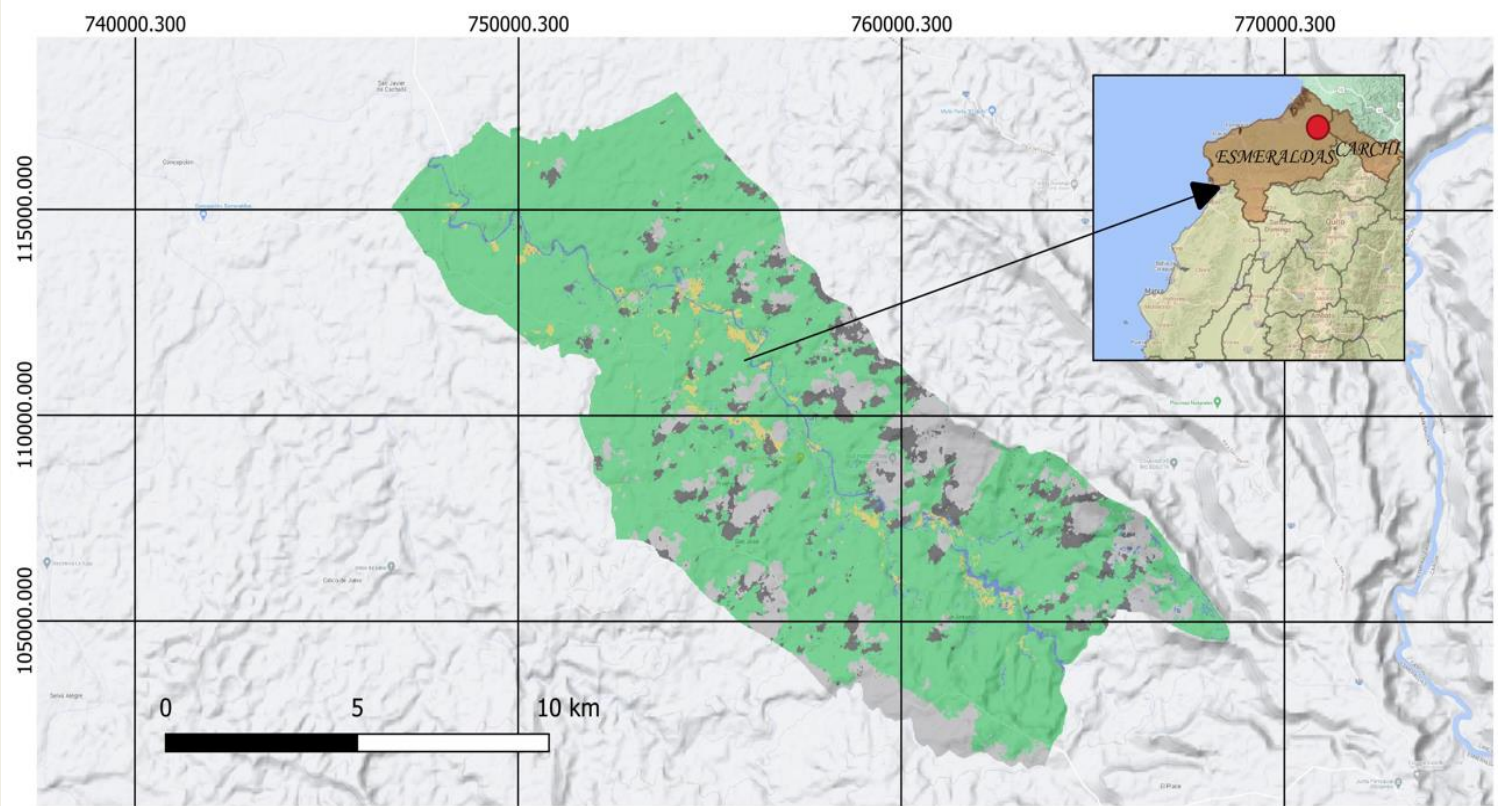
Cobertura del suelo año 2021 minería Urbina - Esmeraldas



Cobertura de suelo año 2021 análisis minería		
Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	84.08	0.57%
Cuerpos de agua	133.41	0.91%
Sombras	27.13	0.19%
Nubes	1558.1	10.65%
Vegetación	12826.4	87.68%
TOTAL	14629.12	100.00%

En el año 2021, las áreas afectadas por la minería ilegal se mantienen y se observa una continuidad en los patrones de estrés hídrico. La vegetación sigue presentando signos de disminución en su densidad.

Cobertura del suelo año 2022 minería Urbina - Esmeraldas



LEYENDA

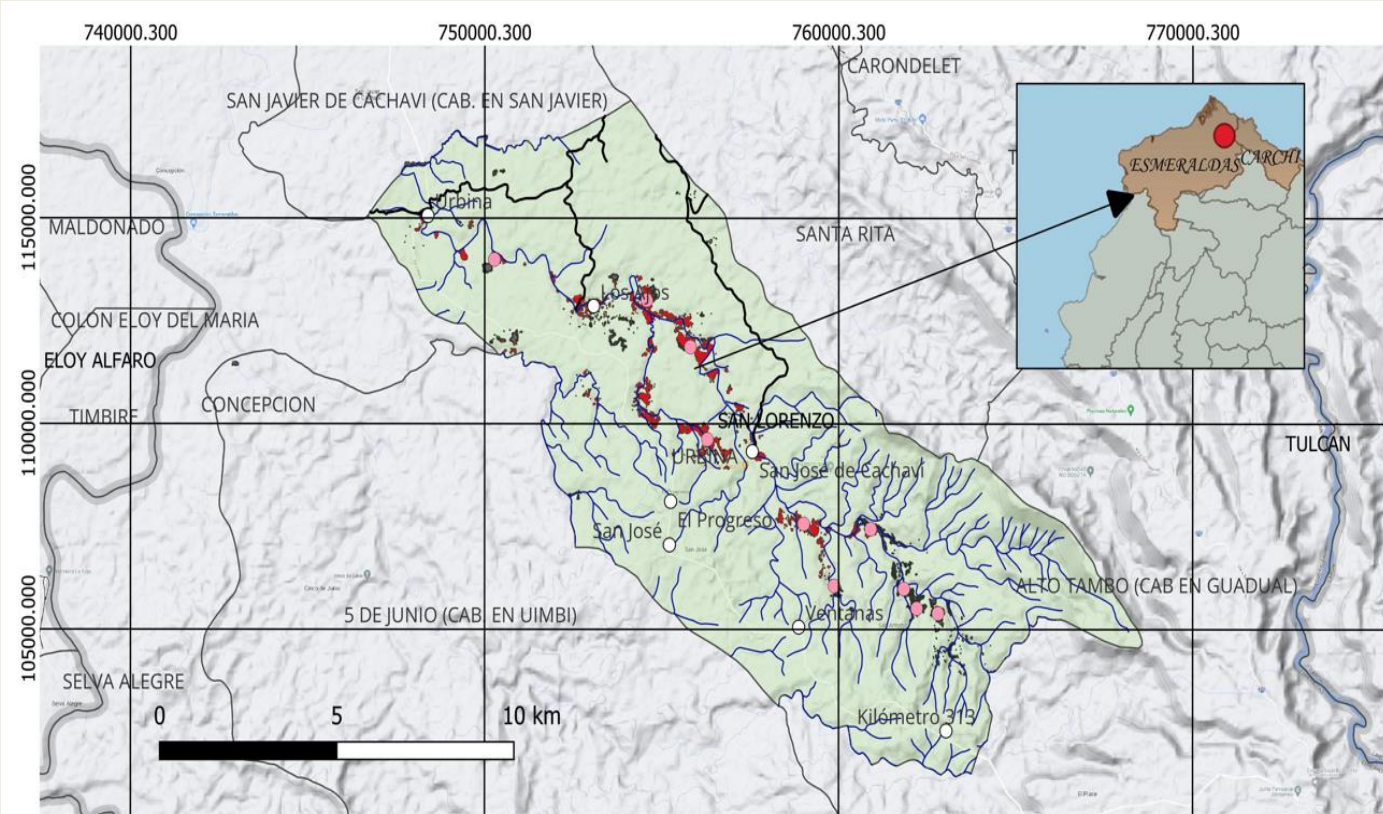
Cobertura

- Nubes
- Sombras
- Cuerpos de agua
- Vegetación
- Suelo desnudo

Cobertura de suelo año 2022 análisis minería		
Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	280.25	1.92%
Cuerpos de agua	306.51	2.10%
Sombras	1014.17	6.93%
Nubes	2039.36	13.94%
Vegetación	10988.83	75.12%
TOTAL	14629.12	100.00%

En el año 2022, se registra un aumento significativo en la expansión de las áreas afectadas por la minería ilegal, especialmente en las orillas de los meandros del río.

Posibles zonas de actividades mineras ilegales Urbina - Esmeraldas



LEYENDA

COBERTURA

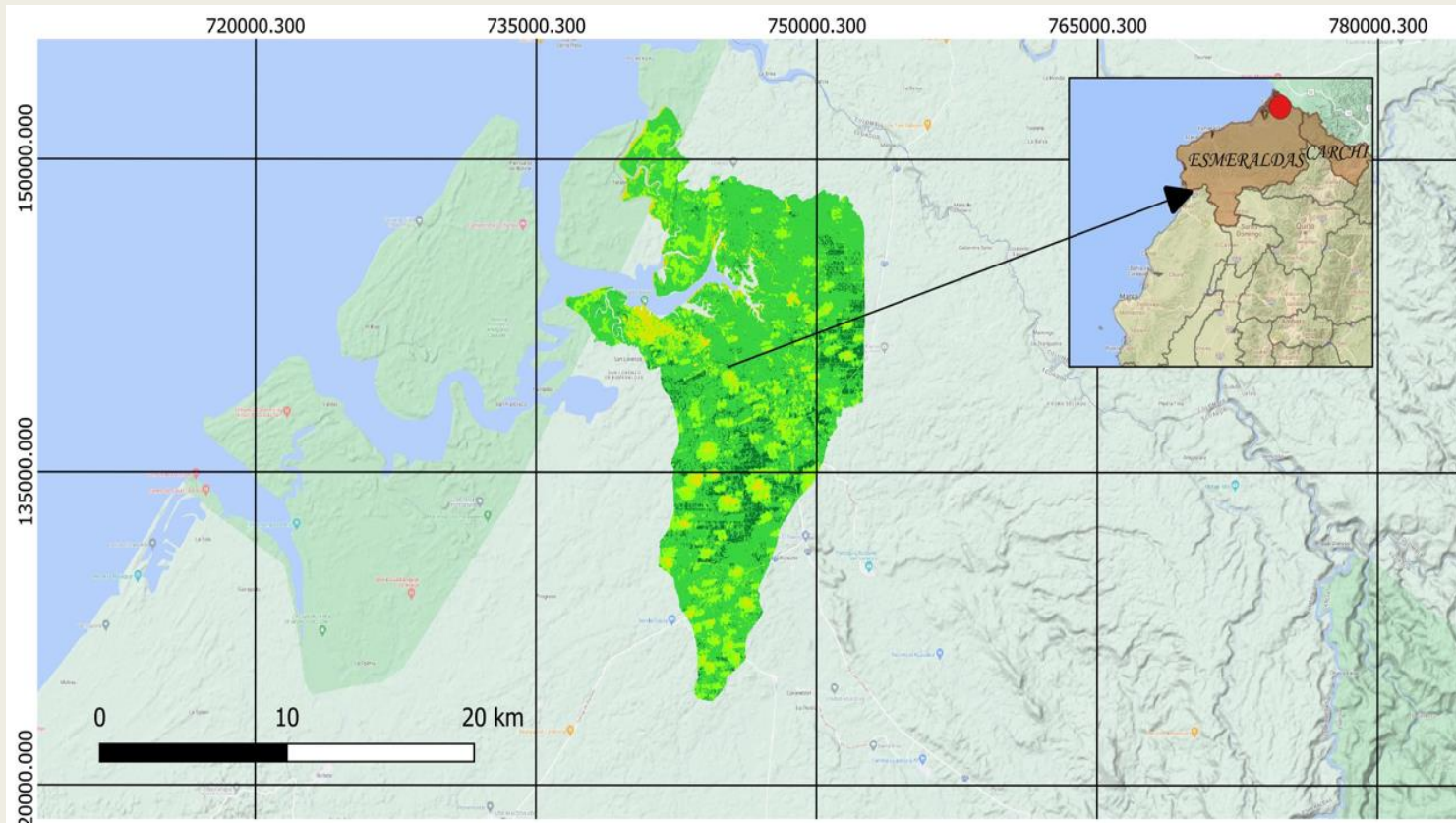
- ☐ Nubes
- ☐ Sombras
- ☐ Cuerpos de agua
- ☐ Vegetación
- ☐ Suelo desnudo
- Posible actividad minera

PUNTOS WGS84 UTM 17N		
COORDENADAS	ESTE	NORTE
1	762803.75620	105386.35470
2	762205.56020	105507.61060
3	761841.79240	105984.55060
5	759869.36250	106057.30420
4	760903.21020	107437.67370
6	759011.27080	107565.92760
7	756290.08750	109618.54570
8	755807.73090	111865.88880
9	754579.91420	113006.00420
10	750271.59320	113992.64260

A partir del análisis con los datos recopilados de diversas fuentes, el procesamiento con ayuda de herramientas SIG, y el modelamiento de las variables mediante el programa MaxEnt se obtuvo las zonas donde existe alta probabilidad de actividad minera ilegal.

Resultados Deforestación

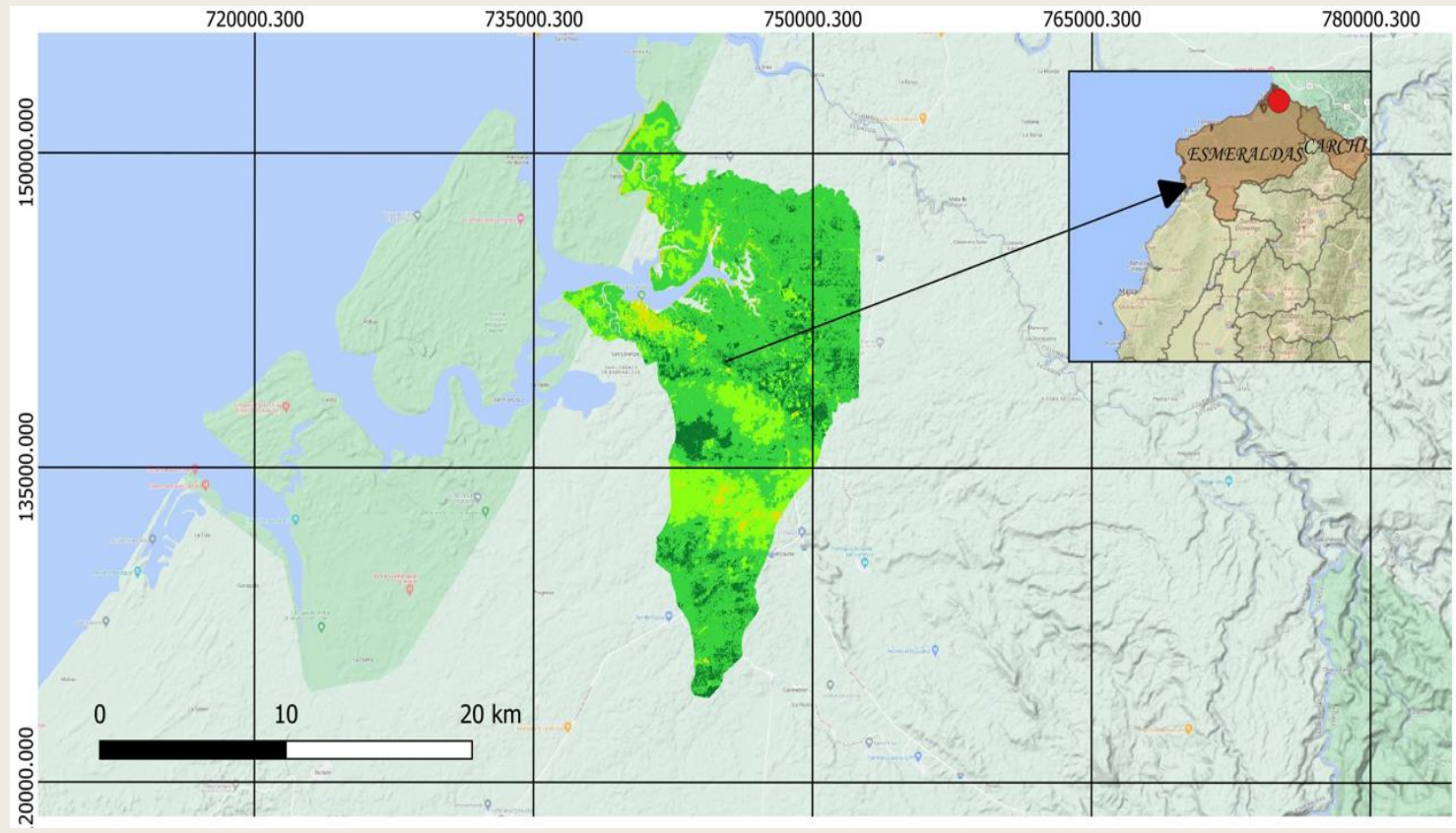
Cobertura del suelo año 2019 deforestación San Lorenzo - Esmeraldas



Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	915.990	4.54%
Vegetacion abundante	1706.590	8.46%
Vegetacion ligera	4357.010	21.59%
Vegetacion media	13198.680	65.41%
TOTAL	20178.270	100.00%

En el año 2019, donde se inicio el presente estudio, se observa una proporción significativa de vegetación media 65% lo que indica una cobertura boscosa relativamente sana. Sin embargo, también existe una presencia considerable de suelo desnudo del 4%

Cobertura del suelo año 2020 deforestación San Lorenzo - Esmeraldas



LEYENDA

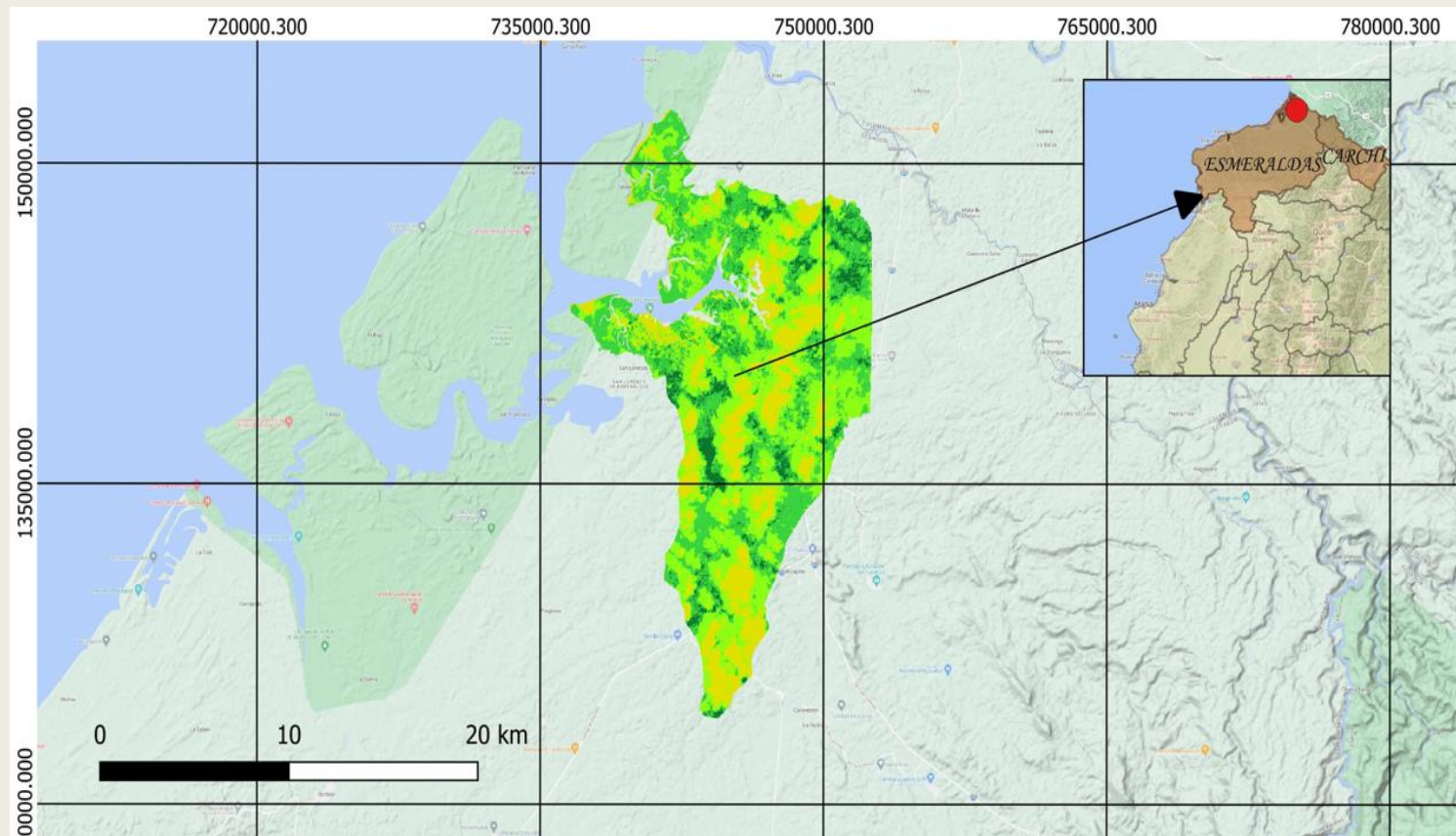
Cobertura

- Suelo desnudo, nubes, etc
- Vegetacion ligera
- Vegetacion media
- Vegetacion abundante

Cobertura del suelo año 2020 análisis tala		
Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	495.170	2.45%
Vegetacion abundante	2331.500	11.55%
Vegetacion ligera	4181.230	20.72%
Vegetacion media	13170.370	65.27%
TOTAL	20178.270	100%

En el año 2020 y debido a la pandemia COVID-19 ya que el suelo desnudo disminuyó ligeramente un 2%. Además, se puede observar que existe una regeneración de suelo considerable.

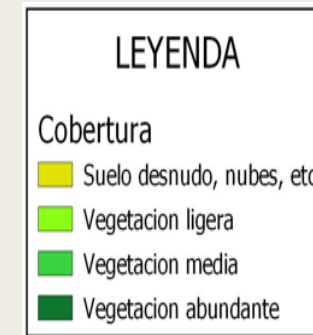
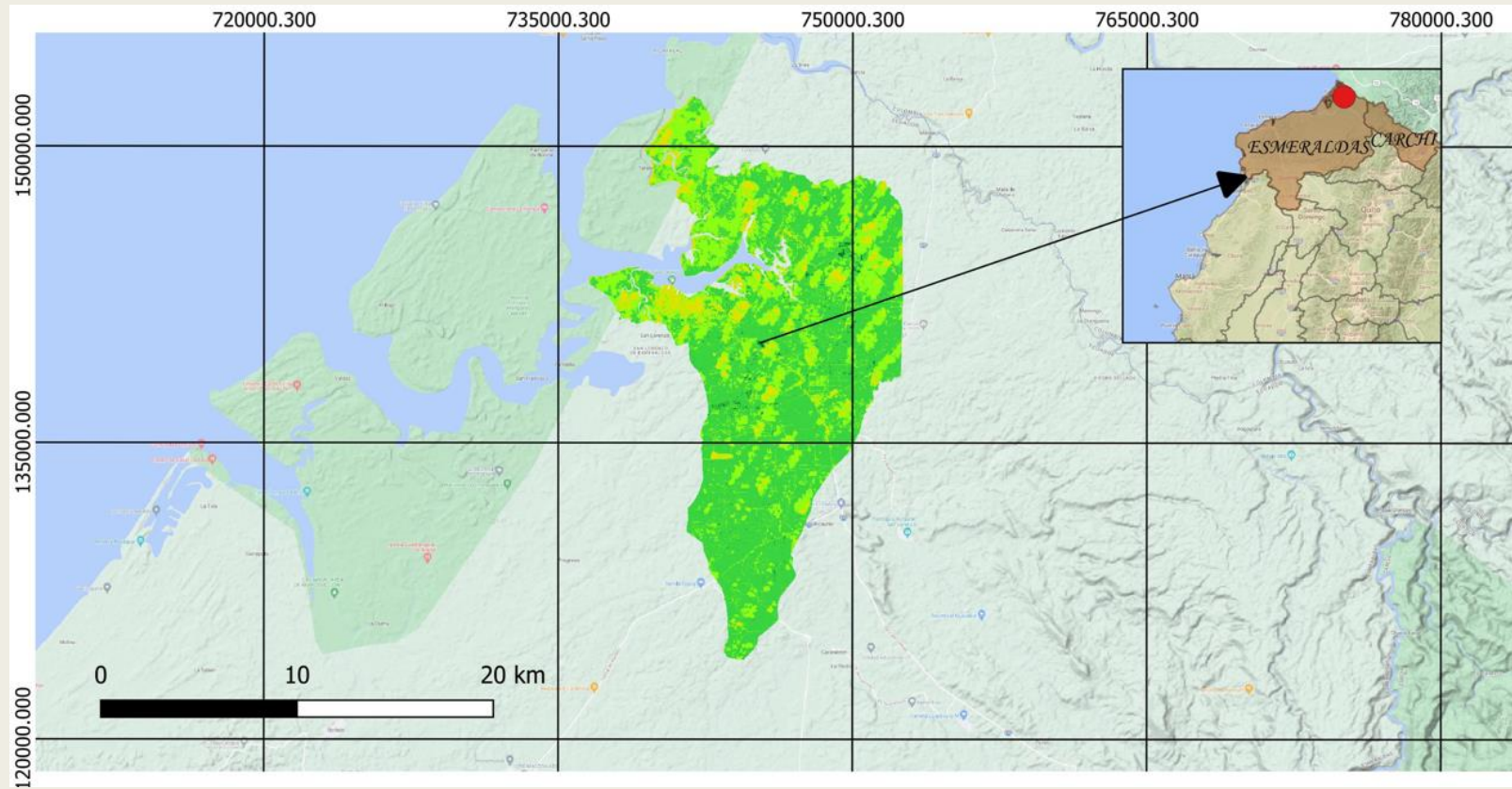
Cobertura del suelo año 2021 deforestación San Lorenzo - Esmeraldas



Cobertura del suelo año 2021 análisis tala		
Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	4195.660	20.79%
Vegetacion abundante	1223.630	6.06%
Vegetacion ligera	8407.180	41.66%
Vegetacion media	6351.800	31.48%
TOTAL	20178.270	100%

El año 2021 muestra un cambio preocupante, ya que el suelo desnudo ha aumentado significativamente un 18%, indicando una mayor pérdida de bosque o degradación. Dando a entender que a existido mayor presencia de deforestación

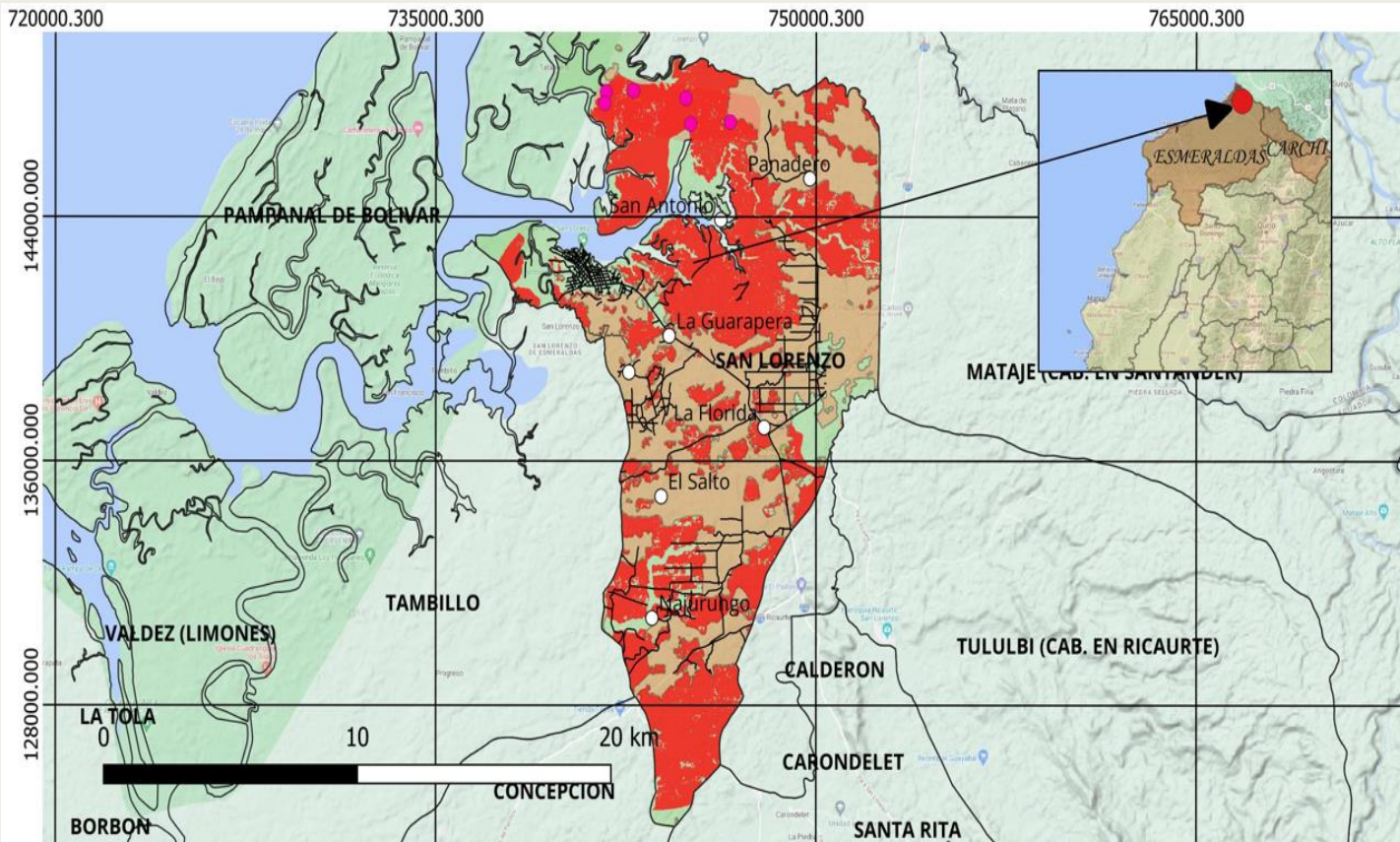
Cobertura del suelo año 2022 deforestación San Lorenzo - Esmeraldas



Cobertura del suelo año 2022 análisis tala		
Descripción	Área (ha)	Porcentaje
Suelo desnudo	1430.870	7.09%
Vegetacion abundante	117.640	0.58%
Vegetacion ligera	6409.790	31.77%
Vegetacion media	12219.970	60.56%
TOTAL	20178.270	100%

En el último año del estudio, aunque el suelo desnudo ha disminuido un 10% en comparación con 2021. Sigue siendo más alto que en años anteriores, lo que indica la persistencia de la deforestación o degradación

Posibles zonas de actividades forestales ilegales San Lorenzo - Esmeraldas



PUNTOS WGS84 UTM 17N		
COORDENADAS	ESTE	NORTE
1	741711.08670	148091.22740
2	741651.08670	147721.22740
3	744851.08670	147881.22740
4	745041.08670	147041.22740
5	746611.08670	147101.22740
6	742791.08670	148131.22740

A partir del análisis con los datos recopilados de diversas fuentes, el procesamiento con ayuda de herramientas SIG, y el modelamiento de las variables mediante el programa MaxEnt se obtuvo las zonas donde existe alta probabilidad de actividades forestales ilegales.

Se identificó actividades ilícitas mediante las imágenes satelitales Sentinel-2 únicamente en la provincia del Esmeraldas, esto puede deberse a varios factores como nubosidad, climáticos y antrópicos que deben ser estudiados a profundidad para tener una mejor comprensión de esta problemática y poder tomar acciones acertadas ante estos hechos.

El control y la erradicación de las actividades ilícitas permiten minimizar los riesgos asociados a las mismas, con lo cual se dará cumplimiento a las metas planteadas en el ODS 16 “Paz, justicia e instituciones sólidas” que se pretende disminuir notablemente las tasas globales de violencia y las muertes asociadas.

El presente estudio demuestra que el análisis del cambio de cobertura vegetal mediante el Índice SAVI es una herramienta valiosa para evaluar el estado y la evolución de la vegetación en un área determinada, de igual manera permite constatar el cambio de uso de suelo que para fines de seguridad puede implicar la determinación de áreas en donde probablemente se realizaría actividades ilícitas.

Las técnicas de teledetección son de gran utilidad para el estudio de grandes extensiones de terreno, o que son de difícil acceso.

El uso de las herramientas geoespaciales, como imágenes satelitales en este estudio, podrían permitir mejor la eficiencia de las operaciones militares en la frontera norte del Ecuador.

R E C O M E N D A C I O N E S

Es importante considerar que estos resultados se basan en datos de índices espectrales y que el análisis no reemplaza estudios detallados de campo y monitoreo adicionales.

Para desarrollar estrategias y acciones efectivas, es crucial llevar a cabo un estudio multidisciplinario exhaustivo.

En este estudio se utilizaron imágenes satelitales gratuitas. Para poder obtener resultados más amplios y precisos se debe utilizar imágenes satelitales comerciales ya que tienen una mayor resolución y disponibilidad.

StoryMap

<https://storymaps.arcgis.com/stories/ef51322cdb36462d99f87674446abc96>

Dashboard

<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/044035f060264f6ebca2f7492263da46>

<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/7a2f560b804e4d3c9c3e1bd0df2cd2c5>

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

Análisis multitemporal para la ubicación de actividades ilícitas en la frontera norte del Ecuador provincias de Carchi y Esmeraldas, mediante el uso de imágenes satelitales Sentinel-2 como apoyo a las operaciones militares.

Autores: Capt. Burbano Aldaz Edgar Alessanderks
Capt. Ramírez Patiño Miguel Ángel

Director del Proyecto: Ing. Rodolfo Salazar, PhD.
Docente Evaluador: Mayo. Ing. Luiz Oliveira, Mst.
Director de Carrera: Ing. Alexander Robayo, MSc.