

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA
DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023”**

Realizado por:

ANDRES MAURICIO MAYORGA MUÑOZ

Director del proyecto:

PhD JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

Como requisito para la obtención del título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Quito, 19 de septiembre de 2023

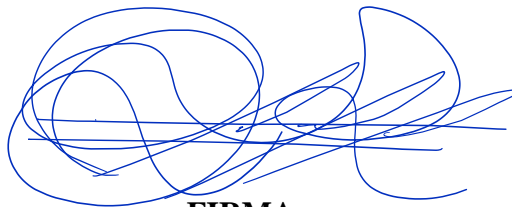
**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, ANDRÉS MAURICIO MAYORGA MUÑOZ, con cédula de identidad # 171752925-7, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado en ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the word 'FIRMA'.

FIRMA

1717529257

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**“CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA
DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023”**

Realizado por:

ANDRÉS MAURICIO MAYORGA MUÑOZ

como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERO AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

quien considera que constituye un trabajo original de su autor

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'J. Salazar L.', is centered on the page.

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

JOSÉ GABRIEL SALAZAR LOOR

CI 1714194642

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

PhD. MIGUEL MARTÍNEZ FRESNEDA

PHD JESÚS LÓPEZ VILLADA

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral

ante el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

Quito, 19 de septiembre de 2023

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

AGRADECIMIENTO

Dios y mi familia.

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

Para someter a:

To be submitted:

**“CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS
AÑOS 2003 A 2023”**

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador. septiembre 2023

***AUTOR DE CORRESPONDENCIA:**

PhD José Gabriel Salazar Loor

Universidad Internacional SEK,

Facultad de Ingenierías y Ciencias Aplicadas

Quito, Ecuador.

Teléfono: 23974800; email: jose.salazar@uisek.edu.ec

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo analizar el cambio de uso de suelos y cobertura vegetal en un período de tres años, específicamente entre los años 2003, 2013 y 2023. Para ello, se utilizaron imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, obtenidas del portal "USGS". Sin embargo, se observaron fallas y vacíos en las imágenes de los años 2003 y 2013, lo que motivó su corrección en el programa QGIS antes de ser procesadas.

El procesamiento de las imágenes se llevó a cabo en el software ArcGIS Pro para generar tres clasificaciones supervisadas diferentes correspondientes a cada año estudiado (2003, 2013 y 2023). A pesar de esto, se determinó que estas clasificaciones no eran suficientes para realizar un análisis completo del uso de suelos y cobertura vegetal en el área de estudio.

Como solución, se diseñó una matriz de transición de uso de suelo para cada año, la cual fue utilizada en la herramienta "Intersect" de ArcGIS Pro para interactuar los mapas entre sí. Los resultados simulados por esta herramienta permitieron obtener 16 clasificaciones en hectáreas, que representan los cambios ocurridos en tres periodos diferentes: periodo uno (2003-2013), periodo dos (2013-2023) y periodo tres (2003-2023).

Finalmente, se emplearon dos ecuaciones diferentes para obtener resultados estadísticos. La primera ecuación calculó la deforestación bruta anual, mientras que la segunda ecuación determinó la tasa de cambio anual. A cada resultado obtenido se le aplicó un gráfico estadístico para realizar los análisis pertinentes.

Los hallazgos y conclusiones de este estudio proporcionan información relevante sobre los cambios en el uso de suelos y la cobertura vegetal en el área de estudio durante el período de tres años analizado. Estos resultados pueden ser de gran importancia para la toma de decisiones en materia de planificación y manejo ambiental en la región, y constituyen una base sólida para

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

futuras investigaciones relacionadas con el monitoreo y conservación del entorno natural.

Palabras clave: Cambio de uso de suelos, cobertura vegetal, imágenes satelitales, corrección de imágenes, clasificaciones supervisadas, deforestación bruta anual, ArcGIS Pro

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

ABSTRACT

This study aims to analyze the change in land use and vegetation cover over a three-year period, specifically between 2003, 2013, and 2023. Landsat 7 and Landsat 8 satellite images from the "USGS" portal were utilized for this purpose. However, anomalies and gaps were observed in the images from 2003 and 2013, necessitating their correction using QGIS before processing.

Image processing was conducted using ArcGIS Pro software to generate three different supervised classifications for each studied year (2003, 2013, and 2023). Nevertheless, it was determined that these classifications were insufficient to perform a comprehensive analysis of land use and vegetation cover in the study area.

As a solution, a land use transition matrix was designed for each year, which was used in the "Intersect" tool of ArcGIS Pro to interact the maps with each other. The results simulated by this tool enabled obtaining 16 classifications in hectares, representing the changes that occurred during three different periods: period one (2003-2013), period two (2013-2023), and period three (2003-2023).

Two different equations were employed to calculate statistical results. The first equation calculated the annual gross deforestation, while the second equation determined the annual rate of change. Each obtained result was subjected to statistical graphing for relevant analyses.

The findings and conclusions of this study provide relevant information about changes in land use and vegetation cover in the study area during the three-year analyzed period. These results hold significant importance for decision-making in environmental planning and management in the region, serving as a strong foundation for future research related to monitoring and conserving the natural environment.

Keywords: Land use change, vegetation cover, satellite images, image correction, supervised classifications, annual gross deforestation, ArcGIS Pro.

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	8
2	MARCO TEÓRICO	11
2.1	SUELO URBANO:	11
2.1.1	Suelo Urbano Consolidado:	12
2.1.2	Suelo Urbano No Consolidado:	12
2.1.3	Suelo Urbano De Protección:.....	12
2.2	SUELO RURAL:	13
2.2.1	Suelo Rural De Producción:.....	13
2.2.2	Suelo Rural De Expansión Urbana:	13
2.2.3	Suelo Rural De Protección:.....	13
2.3	DEFORESTACIÓN.....	14
2.4	FRAGMENTACIÓN	15
2.5	DEGRADACIÓN.....	15
2.6	FUENTES PARA LA OBTENCION DE DATOS.....	16
2.6.1	Teledetección y sensores remotos.....	16
2.6.2	Imágenes Satelitales Landsat 7, 8, 9.	17
2.6.3	Imágenes multiespectrales	17
2.6.4	Obtención de imágenes.....	18
2.7	TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE USO DE SUELO	18
2.7.1	Sobreposición de fuentes cartográficas.....	18
2.7.2	Estadística: Tasa de cambio.....	19
2.7.3	Análisis multitemporal.....	20
2.7.4	Cadenas de Márkov y Autómata Celular	21
2.7.5	Clasificación Supervisada y No Supervisada	21
2.8	MATRIZ DE TRANSICIÓN	23
2.9	HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE USO DE SUELO	23
2.9.1	ArcGIS Pro:	24
2.9.2	QGis:.....	24
2.9.3	Dinámica EGO:.....	25
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1	Área de estudio.....	25
3.2	Obtención, Descarga y Tratamiento de Imágenes Satelitales.	27

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

3.2.1	Obtención de imágenes	27
3.2.2	Tratamiento de imágenes bandeadas en el Software QGis.	28
3.2.3	Corrección y tratamiento de imágenes con el software ArcGIS Pro	29
3.3	Clasificación Supervisada	30
3.4	Clasificación no supervisada.....	33
3.5	Creación de una matriz de transición.	34
3.6	Uso de la Herramienta Intersect para calcular y representar el cambio de uso de suelo	36
3.7	Estimación de la Tasa de Deforestación en Sucumbíos entre los periodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023	43
3.7.1	Deforestación bruta anual para un período determinado	43
3.7.2	Tasa de cambio anual	45
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1	Clasificación Supervisada para el año 2003:.....	48
4.2	Clasificación Supervisada para el año 2013:.....	49
4.3	Clasificación Supervisada para el año 2023:.....	50
4.4	Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2003-2013:.....	51
4.5	Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2013-2023:.....	52
4.6	Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2003-2023:.....	53
4.7	Deforestación anual bruta para los períodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023:	55
4.8	Tasa de cambio anual para los períodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023 en porcentaje:	57
5	Conclusiones.....	62
6	Bibliografía.....	64
 Tabla 1.- Imágenes satelitales usadas para la elaboración de mapas		28
 Tabla 2.- Simbología RGB por año		30
 Tabla 3.- Clasificaciones supervisadas		31
 Tabla 4.- Matriz de transición de cambio de uso de suelo en Sucumbíos.		35
 Tabla 5.- Valores Agregados en las Tablas de Atributos por año.....		36
 Tabla 6.- Mapas de Uso de Suelo		38
 Tabla 7.- Simbología y valores del uso de suelo del año 2003 al año 2013		40

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

Tabla 8.- Simbología y valores del uso de suelo del año 2013 al año 2023	41
Tabla 9.- Simbología y valores del uso de suelo del año 2003 al año 2023	42
Tabla 10.- Resultado 1 Clasificación Supervisada 2003.....	48
Tabla 11.- Resultado 2 Clasificación Supervisada 2013.....	49
Tabla 12.- Resultado 2 Clasificación Supervisada 2023.....	50
Tabla 13.- Uso De Suelo para el periodo 2003-2013.....	51
Tabla 14.- Uso De Suelo para el periodo 2013-2023.....	52
Tabla 15.- Uso De Suelo para el periodo 2003-2023.....	53
Tabla 16 Áreas para los diferentes periodos	55
Ilustración 1.- Comparativa del tamaño de píxel en un Mapa.....	18
Ilustración 2. – Mapa de la provincia de Sucumbíos	27
Ilustración 3.- Capa de puntos para el año 2003	32
Ilustración 4.- Capa de puntos para el año 2013	32
Ilustración 5.- Capa de puntos para el 2023	33
Ilustración 6.- Comparación de la clasificación no supervisada vs la clasificación supervisada.	34
Ilustración 7.- Gráfico de barras area (ha) VS cambio uso de suelo	54
Ilustración 8.- Gráfico de barras área (ha) VS periodo de estudio	56
Ilustración 9.- Tasa de cambio de uso de suelo anual	57
Ecuación 1.- Deforestación Bruta Anual	43
Ecuación 2.- Tasa De Cambio Anual.....	45

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

1 INTRODUCCIÓN

El suelo es el principal encargado de abarcar todos los sistemas del planeta, incluyendo procesos hidrológicos y geoquímicos, además que provee de varios servicios ecosistémicos (Pereira et al., 2018). Asimismo, el suelo es el encargado de proveer el 90% de los alimentos y la producción de fibra, además que provee materia prima para varias actividades humanas (Pereira et al., 2018). Es por ello, que el uso indiscriminado del suelo a resultado en la degradación de este. De acuerdo con *Paleari, (2017)* el 33% del suelo a nivel global esta degradado lo cual ha provocado: 1) erosión; 2) disminución de la materia orgánica; 3) contaminación del suelo; 4) disminución de la biodiversidad del suelo; 7) salinización; 8) inundaciones y 9) corrimientos de tierras. Estas amenazas son consecuencia de la urbanización y la agricultura intensiva. (Jónsson et al., 2016; Ferreira et al., 2018).

Por otro lado, evidenciar los cambios físicos del suelo por medio del uso de mapas ha permitido realizar inferencias sobre las razones económicas y sociales involucradas en zonas de interés. Una manera de evaluar los cambios en el uso del suelo es a partir de la medición de cambios tanto en la cobertura vegetal como la no vegetal (Pineda, 2011), además, nos permite analizar los efectos de esta práctica en diversos entornos naturales, así como desarrollar estrategias para mitigar y prevenir sus impactos negativos cómo la expansión de la agricultura, la urbanización, la minería, entre otras actividades humanas, que han provocado la transformación de áreas naturales en paisajes altamente modificados, es por ello que realizar un estudio con mayor profundidad en Sucumbíos ayuda a identificar a que riesgo ambiental o impacto negativo está vulnerable la provincia en caso de un uso incorrecto y excesivo de su suelo. (Guerrero, 2012)

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

De acuerdo con *Guerrero, R., (2012)* en el contexto actual de creciente urbanización y desarrollo económico, la necesidad de comprender los impactos ambientales del cambio de uso de suelo es más urgente que nunca, y más cuando nos geolocalizamos en áreas poco urbanizadas y que están en vías de desarrollo, así como los son la mayoría de parroquias dentro la provincia de Sucumbíos, que no solo por factores ambientales o políticos el uso de suelo puede ser afectado sino también por factores que en su mayoría son culturales, por lo que generar un análisis o proyección del uso de suelo en toda la provincia se convierte en un factor de importancia y de primera necesidad.

Jurado, M., (2021) detalla que para poder analizar el cambio de uso de suelo en la provincia de Sucumbíos es necesario utilizar herramientas precisas como ArcGIS Pro, QGIS y DINAMICA EGO, con la intención de identificar prácticas capaces de mitigar y prevenir sus consecuencias negativas. Para ello, se realizó un estudio comparativo de diferentes casos de estudio, incluyendo áreas de agricultura intensiva, ciudades en rápido crecimiento y zonas de explotación minera. Asimismo, se evaluaron los enfoques de planificación destinados a abordar los impactos ambientales del cambio de uso de suelo en las distintas zonas de la provincia seleccionada.

Generalmente, la medición de cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo se realiza con base en información previamente generada a partir de fotografías aéreas e imágenes satelitales. (Pineda, 2011).

Dado el análisis exhaustivo del cambio de uso de suelos y cobertura vegetal en un período de tres años (2003, 2013 y 2023) utilizando imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, se hipotetiza que habrá una variación significativa en los patrones de uso de suelos y la cobertura

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

vegetal en el área de estudio. Además, se espera que la tasa de cambio anual y la deforestación bruta anual muestren tendencias distintas en cada uno de los períodos analizados (2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023), lo que proporcionará información crucial para la planificación y el manejo ambiental en la región.

Por lo tanto, el objetivo principal fue generar una proyección del uso de suelo del 2003 al 2023 en la provincia de Sucumbíos usando como referencias mapas del año 2003, 2013 y 2023. Los objetivos específicos fueron (1) desarrollar una clasificación supervisada y no supervisada en ArcGIS Pro y crear cuatro clases de uso de suelo para cada año con la intención de poder representar su cambio mediante el tiempo, (2) introducir la clasificación generada en el software ArcGIS Pro para poder sobreponer y comparar el uso de suelo a través de los años 2003, 2013 y 2023 y por último (3) simular valores cuantitativos para identificar la tasa de cambio de deforestación y la deforestación bruta entre el periodo 2003-2023.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2 MARCO TEÓRICO

El uso del suelo se refiere al resultado de actividades socioeconómicas que se desarrollan sobre un área determinada. (Sanchez & Reyes, 2018) Dichas actividades están relacionadas con la apropiación de recursos naturales con la intención de generar un crecimiento poblacional. Así mismo el uso de suelo es un practica que ha sido usada durante décadas, y ha sido responsable de la alteración de los ecosistemas naturales, la degradación de la biodiversidad y la pérdida de importantes factores ecosistémicos. (Sanchez & Reyes, 2018).

Para entender el concepto de cambio de suelo, es necesario interiorizar los tipos de suelo que pueden existir en un determinado territorio, por ende, es de mucha importancia distinguir a que se refiere cada uno de ellos. Actualmente están clasificados dentro del marco legal del Gobierno Municipal de Sucumbíos dos tipos de suelo. Suelo Urbano y Suelo Rural; sin embargo, los dos tipos de suelo (urbano y rural) poseen diferentes subclasificaciones.

2.1 SUELO URBANO:

En el marco de esta investigación, el término "suelo urbano" se refiere a aquellos terrenos que han sido ocupados por comunidades humanas densamente pobladas y que cuentan con servicios públicos e infraestructuras básicas, conformando un sistema interconectado de espacios públicos y privados. Estos asentamientos pueden variar en escala y alcance, y pueden incluir núcleos urbanos en zonas originalmente rurales. En el caso específico de Sucumbíos, se han identificado varias subcategorías de suelo urbano y rural que se presentan a continuación: (GADSucumbios, 2019)

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2.1.1 Suelo Urbano Consolidado:

El término "suelo urbano consolidado" se refiere a aquellos terrenos que ya han sido objeto de urbanización y que cuentan con la totalidad de los servicios, equipamientos e infraestructuras necesarios para satisfacer las necesidades básicas de la población. En términos generales, estos terrenos se caracterizan por estar mayoritariamente ocupados por edificaciones, lo que indica un alto grado de densificación y ocupación del espacio. Además, la consolidación del suelo urbano contribuye a reducir la expansión de la ciudad hacia áreas naturales y rurales.

En otras palabras, el suelo urbano consolidado abarca una categoría de terrenos urbanos que han sido objeto de una intensa urbanización y que cuentan con todas las infraestructuras y servicios necesarios para satisfacer las necesidades básicas de la población. (GADSucumbios, 2019).

2.1.2 Suelo Urbano No Consolidado:

Cuando nos referimos "suelo urbano no consolidado" se mencionan todos los terrenos ubicados en áreas urbanas que aún no han sido objeto de una urbanización completa y que, por lo tanto, carecen de la totalidad de los servicios, infraestructuras y equipamientos necesarios para satisfacer las necesidades básicas de la población. Estos terrenos pueden estar en diferentes fases de desarrollo, desde aquellos que apenas han iniciado el proceso de urbanización hasta aquellos que ya cuentan con algunos servicios básicos pero que aún necesitan ser completados o mejorados. (GADSucumbios, 2019)

2.1.3 Suelo Urbano De Protección:

Este tipo de suelo se refiere a aquellos terrenos urbanos que presentan características biofísicas, culturales, sociales o paisajísticas especiales que los hacen merecedores de protección.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Asimismo, estos terrenos pueden representar un riesgo para los asentamientos humanos, por lo que su ocupación es restringida de acuerdo con la legislación nacional y local. (GADSucumbios, 2019)

2.2 SUELO RURAL:

El "suelo rural" se refiere a aquellos terrenos que se destinan principalmente a actividades agro-productivas, extractivas o forestales. También puede referirse a terrenos que, por sus especiales características biofísicas o geográficas, deben ser protegidos o reservados para futuros usos urbanos, de manera similar al suelo urbano, para este tipo de suelo tenemos las diferentes subclasificaciones. (GADSucumbios, 2019)

2.2.1 Suelo Rural De Producción:

Se define como aquel terreno destinado a actividades agro-productivas, acuícolas, ganaderas, forestales y de aprovechamiento turístico que sean respetuosas del medio ambiente donde se garantiza la protección de los recursos naturales y el equilibrio ecológico en la zona rural. (GADSucumbios, 2019)

2.2.2 Suelo Rural De Expansión Urbana:

Este tipo de suelo rural puede ser habilitado para ser utilizado como suelo urbano en cumplimiento con el plan de uso y gestión de suelo. No obstante, el suelo rural de expansión urbana siempre debe estar adyacente al suelo urbano del cantón o distrito metropolitano, salvo casos especiales definidos por la normativa secundaria. (GADSucumbios, 2019)

2.2.3 Suelo Rural De Protección:

Este tipo de suelo es aquel que, debido a sus características ambientales, paisajísticas, culturales o a la presencia de factores de riesgo, requiere medidas especiales de protección por parte de las autoridades competentes. Está prohibida la realización de actividades que puedan alterar su condición de suelo de protección, por lo que se restringe tanto la construcción como el

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

fraccionamiento en estas áreas. Para la declaratoria de suelo rural de protección, se aplicará la legislación nacional correspondiente, de acuerdo con *Yang, et al., (2019)*

2.3 DEFORESTACIÓN.

La deforestación es un proceso en el que se elimina la cubierta forestal y se transforma el uso del suelo para otros fines, como la agricultura y la infraestructura (*Amarnath, et al., 2017*). Según *Reydon, et al., (2019)*, la deforestación es más común en áreas cercanas a las zonas urbanas principales, donde la agricultura, la ganadería y las quemadas son más fáciles. Los autores identifican cuatro factores principales que impulsan la deforestación: en primer lugar, los beneficios económicos asociados con el uso del suelo, como el aumento de los precios de los productos agrícolas, los insumos y la madera, así como la reducción de los salarios rurales; en segundo lugar, la falta de políticas públicas adecuadas que incluyan incentivos ambientales; en tercer lugar, la construcción de carreteras y otras obras que facilitan el acceso a zonas de frontera; y en cuarto lugar, el rápido crecimiento poblacional y la evolución de las macroeconomías.

Para estudios de uso de suelo existen varios autores que han determinado varias fórmulas para calcular el valor de la deforestación bruta anual para cierto periodo de estudio, para ello *Puyravaud, J. P. (2003)*, presenta la siguiente ecuación:

$$R = \frac{A_1 - A_2}{T_2 - T_1}$$

Ecuación 1.- Deforestación Bruta Anual

Donde:

A1: son las áreas con cobertura boscosa en el T1.

A2: son las áreas con cobertura boscosa en el T2.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

T1: es el tiempo inicial del análisis.

T2: es el tiempo final del análisis.

2.4 FRAGMENTACIÓN

Hermosilla et al. (2019) y *Ren, Lv y Li (2017)* definen la fragmentación forestal como un proceso dinámico y multidireccional que resulta en la división gradual de parches continuos de bosque en fragmentos más pequeños y aislados. Esta dinámica tiene un impacto negativo en la diversidad de especies y destruye el equilibrio energético y el flujo de materiales en el ecosistema, lo que puede tener graves consecuencias biológicas. Los bosques fragmentados son especialmente vulnerables a sequías e incendios debido a los mayores efectos de borde que alteran el bosque (*Dwomoh et al., 2019*). La fragmentación es la principal causa de la pérdida de hábitat y conduce a cambios en la configuración espacial del bosque, lo que se puede cuantificar mediante métricas de patrones espaciales que informan sobre la cantidad y configuración de parches, la distribución de tamaños de parche y los efectos de borde (*Puttker et al., 2020*).

2.5 DEGRADACIÓN

Pang et al. (2019) definen la degradación de los recursos naturales como una problemática ambiental que reduce la capacidad de subsistencia de las especies. En zonas boscosas fragmentadas, se crea una diversidad de microclimas que comprometen la resiliencia forestal y, por lo tanto, puede resultar en la pérdida de bosques (*Dwomoh et al., 2019*). La salud de los bosques también se considera una forma de degradación, incluyendo la tala de bosques, la reducción de la diversidad de especies y los efectos de enfermedades e incendios forestales (*Mondal, McDermond y Qadir, 2020*).

Teniendo ya una idea más clara de varios conceptos importantes para un estudio de uso de suelo podemos pensar en cual es la verdadera problemática que involucra el cambio de uso del

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

suelo y como esta se puede mitigar. En la actualidad es de gran ayuda la tecnología y la programación, y más aún cuando se trata de ayudar a la humanidad. Con el tiempo se han desarrollado variedad de herramientas tecnológicas para brindar facilidad en la resolución de problemas que implican una simulación de eventos a futuro, pero muy pocos han tenido una fiabilidad en los resultados o han tenido un funcionamiento estable, aquí es donde se introduce los programas y técnicas que se usan para poder desarrollar un estudio de suelos y su uso de una manera realista al proyectar resultados o simular eventos más afines y con mínimo margen de error.

2.6 FUENTES PARA LA OBTENCION DE DATOS

2.6.1 Teledetección y sensores remotos

La teledetección es una técnica que utiliza una serie de instrumentos y técnicas para capturar información y datos de un objeto, sin tener contacto físico con el mismo, mediante la emisión y recepción de señales electromagnéticas. Esta técnica se aplica cada vez más en distintos campos, como la agricultura, la oceanografía, la gestión de desastres y las fuerzas armadas, entre otros.

En general, la teledetección espacial es una herramienta útil y versátil que permite la captura de datos e información de manera no invasiva, lo que la hace especialmente útil en áreas donde el acceso físico al objeto es limitado o peligroso. Además, la teledetección ofrece la posibilidad de capturar información en grandes áreas geográficas, lo que la convierte en una herramienta poderosa para la monitorización y el análisis de fenómenos ambientales a gran escala.

(EOS Data Analytics. 2021)

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2.6.2 Imágenes Satelitales Landsat 7, 8, 9.

En 1972, Estados Unidos lanzó su primer satélite de observación de la Tierra al espacio, lo que impulsó el uso de la tecnología de teledetección. Sin embargo, debido a su alto costo, esta tecnología fue utilizada con poca frecuencia en sus inicios. Actualmente, gracias a la disponibilidad de imágenes y al desarrollo de nuevas tecnologías, el uso de imágenes de teledetección se ha convertido en una herramienta cada vez más común en una amplia variedad de proyectos. *Pérez y Muñoz (2006)*.

Las imágenes Landsat son parte de la serie de satélites Landsat desarrollados por la NASA y el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) para la observación de la Tierra. Estos satélites llevan a cabo una misión de teledetección, capturando imágenes de la superficie terrestre en diferentes bandas espectrales. Estas imágenes son ampliamente utilizadas para diversas aplicaciones, como monitoreo ambiental, estudios agrícolas, gestión de recursos naturales y seguimiento de cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. *Loboda, T., et al. (2007)*.

2.6.3 Imágenes multiespectrales

En la actualidad, los satélites utilizan detectores fotoeléctricos para capturar imágenes de la superficie terrestre, transformando la radiancia en valores numéricos conocidos como niveles digitales. Cada pixel de la imagen corresponde a la intensidad de la radiancia del terreno, medida por dispositivos de conversión analógico-digital. *Según Pérez y Muñoz (2006)*, la formación de una imagen digital se realiza mediante la estructuración de matrices tridimensionales, en las que la cantidad representativa asignada a cada pixel está adecuadamente posicionada en función de la banda utilizada. Además, los valores de radiancia se organizan dentro de una columna y fila correspondiente, lo que permite obtener una imagen digital clara y precisa.

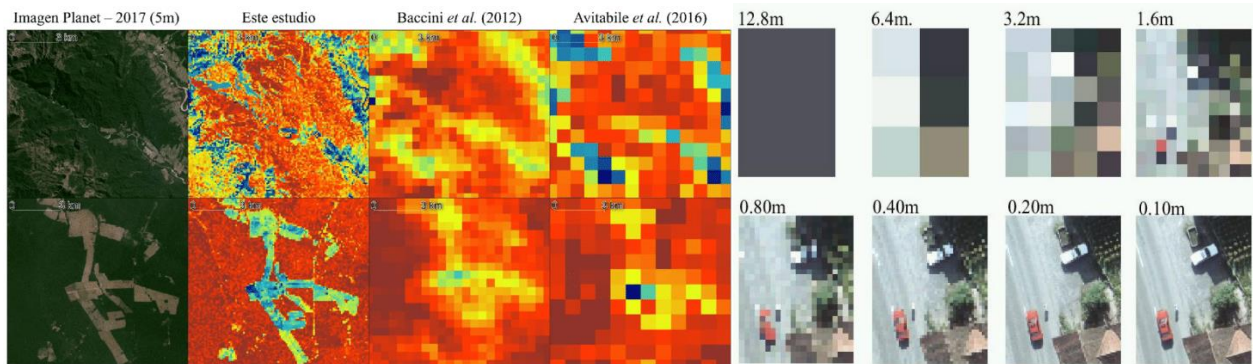
2.6.3.1 Resolución de sensores

El tamaño del píxel en una imagen determina la resolución espacial, donde cuanto más pequeño

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

sea el tamaño del píxel, mayor será la resolución. Esto significa que el sensor podrá detectar con mayor detalle los objetos presentes en la imagen. Según *Chuvienco (2010)*, la resolución espacial se refiere a la distancia que corresponde a la unidad más pequeña de información que se encuentra contenida en la imagen.

Ilustración 1.- Comparativa del tamaño de píxel en un Mapa.



Obtenida de: (EOS Data Analytics. 2021)

2.6.4 Obtención de imágenes

Existen varias fuentes para obtener imágenes satelitales como lo son Pegasus, Earth Engine y Earth Explorer, cada una de ellas brinda formatos diferentes para poder trabajar en diferentes softwares de GIS. Para efectos de este trabajo se utilizó la fuente Earth Explorer, la cual permitió acceder a las bases de datos más antiguas, en este caso, mapas del 2003 tomados como Landsat 7.

2.7 TÉCNICAS PARA EL ESTUDIO DE USO DE SUELO

2.7.1 Sobreposición de fuentes cartográficas

El procesamiento de imágenes satelitales es una técnica importante en el análisis y la interpretación de los datos obtenidos por sensores remotos. El preprocesamiento es una etapa clave en el procesamiento de imágenes y se utiliza para mejorar la calidad y la precisión de las imágenes, eliminando artefactos o ruido. El realce es una técnica de mejora de la calidad de la imagen que permite visualizar características que pueden ser difíciles de detectar en la imagen original. La

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

clasificación es una técnica de análisis de imágenes que se utiliza para identificar y categorizar diferentes objetos o características presentes en la imagen.

Según *González et al. (2016)*, el procesamiento de imágenes satelitales también incluye la georreferenciación, que es el proceso de asignar coordenadas geográficas a una imagen. Además, la fusión de imágenes de diferentes fuentes es una técnica común en el procesamiento de imágenes satelitales para obtener imágenes de alta resolución y calidad.

Por otro lado, de acuerdo con *Mather (2016)*, el procesamiento de imágenes satelitales también puede incluir técnicas de análisis espectral, que permiten identificar y caracterizar los materiales presentes en la imagen a partir de la información espectral contenida en las diferentes bandas de la imagen.

Finalmente, según *Lu et al. (2017)*, el procesamiento de imágenes satelitales también se puede utilizar para el monitoreo y la evaluación de los recursos naturales y el medio ambiente, así como para el seguimiento de cambios en la superficie terrestre a lo largo del tiempo.

2.7.2 Estadística: Tasa de cambio

La tasa de cambio de uso de suelo es una medida que indica la velocidad con la que se está produciendo la transformación del territorio, de un uso del suelo a otro, en un determinado período de tiempo. Esta medida es de gran importancia en la planificación ambiental y territorial, ya que permite cuantificar la magnitud del cambio de uso de suelo y su impacto en el ambiente. (*FAO, 2015*)

Para su cálculo *Puyravaud, J. P. (2003)* desarrolla la siguiente fórmula con el fin de calcular la tasa de cambio de uso de suelo anual es la siguiente, la cual arroja valores en porcentaje del cambio sucedido:

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

$$\text{Tasa de cambio } q = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{1/(T_2-T_1)} - 1$$

Ecuación 2.- Tasa De Cambio Anual

Donde:

A1: son las áreas con cobertura boscosa en el T1.

A2: son las áreas con cobertura boscosa en el T2.

T1: es el tiempo inicial del análisis.

T2: es el tiempo final del análisis.

Puyravaud, J. P.(2003).

2.7.3 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es una técnica valiosa en la evaluación de cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, que implica la comparación de dos o más imágenes satelitales de una misma área (*Farnum & Murillo, 2019*). Su objetivo es capturar datos numéricos y geográficos para crear una base de datos escalable que pueda ser utilizada para interpretar visualmente imágenes satelitales y delinear el territorio de interés mediante un polígono (*Navarro, 2019*).

Para llevar a cabo un análisis multitemporal, es necesario elaborar una leyenda temática que permita la comparación de las variaciones existentes en la cobertura vegetal y el uso del suelo entre los diferentes períodos de estudio. Esto permite la generación de una tabla multitemporal de cambios a través de matrices de transición (*Muñoz, Rodríguez, & Romero, 2017*).

De tal manera, el análisis multitemporal es indispensable para la evaluación de cambios en la cobertura del suelo a lo largo del tiempo, y su uso requiere la elaboración de una leyenda temática para los mapas comparativos y la aplicación de técnicas de interpretación visual de

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

imágenes satelitales y matrices de transición para generar una tabla multitemporal de cambios.

2.7.4 Cadenas de Márkov y Autómata Celular

Las cadenas de Márkov son una herramienta analítica utilizada en el campo ambiental para modelar y predecir el cambio de uso de suelo. Este enfoque se basa en un proceso aleatorio donde las transiciones entre diferentes categorías de uso de suelo se modelan como eventos que dependen únicamente del estado actual y no de eventos anteriores. *Li, X., et al. (2015)*.

En el contexto del cambio de uso de suelo, las cadenas de Márkov se aplican utilizando datos históricos de uso de la tierra para calcular las probabilidades de transición entre diferentes categorías de uso. Estas probabilidades son utilizadas para predecir futuros cambios en el paisaje y evaluar diferentes escenarios de planificación y políticas de desarrollo. *Boersma, W., et al (2008)*.

Por otra parte, los autómatas celulares son otro método ampliamente utilizado en el estudio del cambio de uso de suelo. Estos modelos se basan en la simulación de la evolución del paisaje mediante una serie de celdas discretas, donde cada celda representa una unidad de área con una categoría de uso específica. Las reglas predefinidas y la interacción con celdas vecinas determinan cómo las celdas cambian su estado con el tiempo. Este enfoque permite simular cómo los cambios locales pueden propagarse y afectar el uso del suelo en áreas vecinas. *Clarke, K. C., et al (1997)*.

2.7.5 Clasificación Supervisada y No Supervisada

El proceso de análisis de datos se realiza con el objetivo de obtener información cuantitativa de la imagen, lo que permite identificar patrones y características de la escena que no son fácilmente perceptibles a simple vista. Para ello, se aplican técnicas de análisis estadístico y de aprendizaje automático para identificar objetos, áreas y características específicas de la imagen,

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

como, por ejemplo, la clasificación de cultivos, la identificación de áreas urbanas, la detección de cuerpos de agua y la identificación de cambios en la superficie terrestre. (UNICEN, 2020).

2.7.5.1 Clasificación supervisada:

La clasificación supervisada es una técnica de teledetección utilizada en el estudio del uso de suelos que involucra la participación del analista. En este enfoque, el analista proporciona algoritmos clasificadores ejemplos representativos de diferentes categorías de uso de suelos, denominados "firmas espectrales". Estos ejemplos son áreas del paisaje que se encuentran correctamente etiquetadas con su categoría de uso de suelo correspondiente. *Cao, C., et al (2017)*

Una vez que el clasificador ha sido entrenado con estas firmas espectrales, se aplica a la totalidad de la imagen satelital o de teledetección. El algoritmo compara las firmas espectrales de las distintas celdas de la imagen con las firmas espectrales de entrenamiento y asigna cada celda a la categoría de uso de suelo que mejor se ajuste a su firma espectral. La clasificación supervisada proporciona resultados precisos y controlados, ya que el analista tiene un mayor control sobre la clasificación final. *Gong, P., et al (2015)*.

2.7.5.2 Clasificación no supervisada

En cambio, la clasificación no supervisada es un enfoque donde el algoritmo se encarga de agrupar automáticamente las celdas de la imagen en clases o categorías similares sin la intervención directa del analista. El clasificador utiliza patrones de similitud espectral y agrupa las celdas con firmas espectrales similares en clases distintas. *Pontius Jr, R. G., et al (2011)*.

Una vez completado el proceso, el analista debe interpretar y asignar un significado a cada clase generada por el algoritmo, etiquetándolas con las categorías de uso de suelos correspondientes. La clasificación no supervisada es útil cuando no se tiene una comprensión detallada previa del paisaje y se busca identificar patrones o áreas de interés de manera exploratoria. *Lu, D., y Weng, Q. (2007)*.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2.8 MATRIZ DE TRANSICIÓN

En la fase de comprobación de una imagen clasificada, se hace uso de una matriz de confusión que permite evaluar el desempeño del algoritmo de clasificación. Para generar esta matriz, se seleccionan puntos de verificación en los que se conoce la cobertura real del terreno, la cual se obtiene mediante validación en campo. Los valores de la matriz representan la relación entre las clases reales en las filas y las clases obtenidas mediante la clasificación en las columnas, y suelen estar expresados en píxeles. Según explican diversos autores (*Chuvieco E., 2010; Harris Geospatial Solutions, 2018; Sarria, 2006; Chóez, 2018*), la diagonal principal de la matriz muestra los puntos correctamente clasificados, mientras que los valores fuera de la diagonal indican puntos clasificados erróneamente, es decir, aquellos que perteneciendo a una fila se adjudicaron a una columna o viceversa. Convirtiendo a la matriz de confusión es una herramienta útil para evaluar la precisión de un algoritmo de clasificación en el análisis de imágenes satelitales y la validación de los resultados obtenido.

2.9 HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE USO DE SUELO

En la actualidad, existen varios métodos disponibles para la medición del cambio de uso de suelo. Estos métodos se basan en el uso de diferentes softwares, como ArcGIS, QGis, Dinámica EGO, entre otros, para el procesamiento de mapas obtenidos a partir de fuentes de información geográfica. Cada uno de estos softwares se utiliza de manera distinta, pero su objetivo es común: generar una matriz que muestre el cambio de uso de suelo en un sector determinado. (*Clark Lab, 2020*).

En este sentido, es importante destacar que la medición del cambio de uso de suelo es un proceso crucial en la evaluación y gestión ambiental, ya que permite conocer la evolución del territorio y los impactos que los cambios en el uso del suelo pueden tener sobre el medio ambiente.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Entre las diferentes técnicas disponibles, se puede destacar uno en particular que utiliza software como ArcGIS y Dinámica EGO para realizar mediciones de cambio de uso de suelo. En general, este método se lleva a cabo mediante la comparación de mapas de uso del suelo de diferentes momentos en el tiempo, y la posterior generación de una matriz que muestre los cambios en la cobertura del suelo, de esa manera la selección de la fuente de datos adecuada, la definición de los criterios de clasificación, la realización de una validación cruzada, y la interpretación de los resultados obtenidos, permite un análisis correcto de uso de suelos; los programas usados en el presente proyecto se mencionan a continuación. (*Geoinnova, 2021*).

2.9.1 ArcGIS Pro:

ArcGIS Pro es una herramienta de software de Sistema de Información Geográfica (SIG) que ofrece una gran cantidad de funcionalidades y herramientas para crear, manipular y analizar datos espaciales. Esta aplicación está diseñada para facilitar la visualización, análisis y compilación de información en un entorno tridimensional y bidimensional. Una de las características principales de ArcGIS Pro es que permite almacenar múltiples elementos, como mapas, diseños, tablas y gráficos, en un único proyecto. Otra ventaja importante de ArcGIS Pro es que cuenta con una interfaz gráfica de usuario intuitiva, lo que lo hace fácil de usar incluso para aquellos que no tienen experiencia previa en SIG o modelado ambiental. Además, ArcGIS Pro está diseñado para trabajar con una variedad de formatos de datos, lo que le permite integrarse fácilmente con otros sistemas y aplicaciones. (*ArcGis Pro, s.f.*)

2.9.2 QGis:

Es un software de código abierto y descarga gratuita, además, proporciona una amplia gama de capacidades a través de sus funciones básicas y sus complementos. Por otro lado, permite visualizar, gestionar, analizar datos y diseñar mapas más sencillos. Las funciones de análisis

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

espacial en QGIS abarcan opciones básicas para análisis visual, la creación de modelos matemáticos y operaciones geoestadísticas más complejas. Estas últimas se pueden aplicar para un análisis cuantitativo de fenómenos sociales, siempre que se considere la dimensión espacial en su ocurrencia.

(Escobar, 2017)

2.9.3 Dinámica EGO:

Dinámica EGO es una herramienta avanzada y gratuita de modelado ambiental que ofrece una amplia gama de opciones para diseñar modelos, desde simples modelos espaciales hasta modelos dinámicos complejos que pueden involucrar múltiples enfoques, procesos de decisión y algoritmos espaciales para el análisis y la simulación de fenómenos espaciotemporales. Dinámica EGO es una plataforma no comercial, sofisticada y altamente potente que ofrece soluciones para el modelado ambiental en diversos escenarios y aplicaciones.

(*Dinámica EGO, 2022*)

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.

Para el presente trabajo se tomó como referencia la provincia de Sucumbíos. Es una provincia ubicada en la región amazónica al nor-orienté del Ecuador la cual cuenta con una superficie de 18.084 km² y una densidad población de 12,75 hab/km². Desde el punto ambiental esta región es de gran importancia debido a su diversidad biológica, recursos naturales y la presencia de ecosistemas únicos.

3.1.1 Biodiversidad. - Sucumbíos alberga una gran diversidad biológica, tanto en flora como en fauna. La región cuenta con aproximadamente 110 hectáreas de bosques tropicales, incluyendo parte de la Reserva de Biosfera del Yasuní. Estos ecosistemas son

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

hogar de especies emblemáticas, como el jaguar, el tapir y el oso hormiguero, además de una variedad de aves, reptiles y anfibios. (MTOPI, 2016)

3.1.2 Recursos hídricos. - Sucumbíos es atravesado por importantes ríos, como el Napo y el Putumayo, que desempeñan un papel vital en el abastecimiento de agua para la región amazónica y su comunidad. Estos ríos también son importantes corredores de transporte fluvial y poseen una gran riqueza de especies acuáticas como la piraña, la anaconda, el caimán, entre otros. (MTOPI, 2016)

3.1.3 Actividades petroleras. - Sucumbíos es conocido por su importancia en la industria petrolera ecuatoriana. La provincia cuenta con un total de 438 (53%) yacimientos de petróleo y ha experimentado una intensa actividad de extracción. El desarrollo de la industria petrolera ha tenido un impacto significativo en el medio ambiente, con desafíos relacionados a la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas, así como la deforestación. Los impactos directamente relacionados a la actividad petrolera son las aguas de formación que se convierten en el principal indicador de contaminación directa. (Fontaine, 2003)

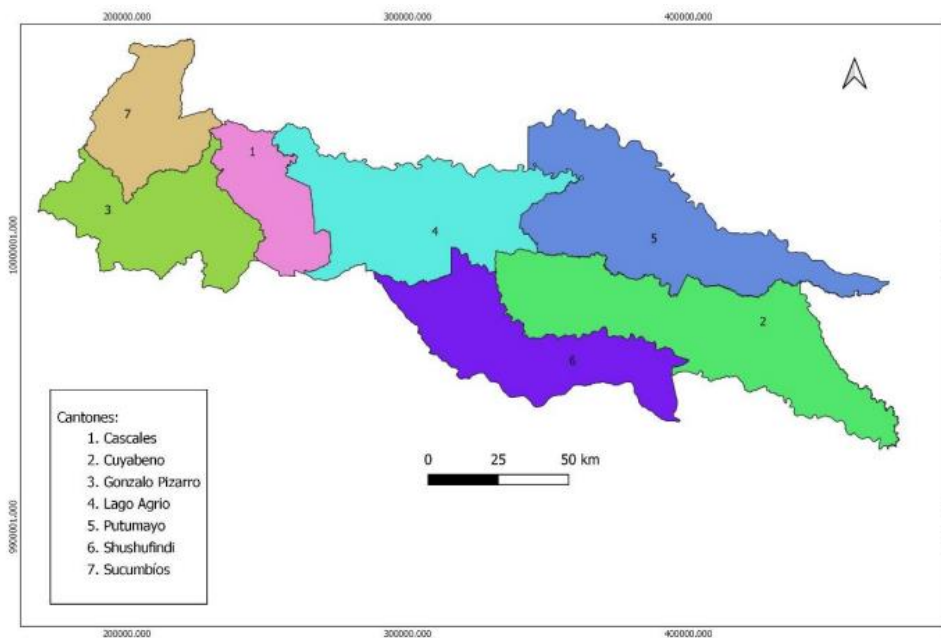
3.1.4 Pueblos indígenas. - En Sucumbíos, habitan varias comunidades indígenas, como los kichwas, cofanes, secoyas y waoranis, entre otros. Estos grupos tienen una relación simbiótica con la naturaleza y dependen de los recursos naturales para su subsistencia. (Jurado, 2021)

3.1.5 Conservación y turismo. - Dada su riqueza natural, Sucumbíos también ha despertado interés en la conservación y el turismo sostenible. Áreas como el Parque Nacional Yasuní, la Cueva de los Tayos y el Parque Nacional Sumaco Napo-Galeras atraen a visitantes interesados en explorar la biodiversidad y la cultura local. (MTOPI, 2016)

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

El estudio de esta región ofrece oportunidades para abordar desafíos ambientales, promover la conservación y buscar un desarrollo equilibrado que tenga en cuenta tanto la protección de los ecosistemas como el bienestar de las comunidades locales. Por dichas razones, en el presente trabajo lo que se quiso identificar fueron las zonas boscosas, cuerpos de agua, zonas deforestadas y zonas de construcción dentro de este espacio con la intención de evidenciar su cambio. (Pineda, 2011).

Ilustración 2. – Mapa de la provincia de Sucumbíos



Obtenido de: (Jurado, 2021)

3.2 Obtención, Descarga y Tratamiento de Imágenes Satelitales.

3.2.1 Obtención de imágenes

El servicio Geológico de estados unidos (*USGS, s.f.*) es una agencia de investigación independiente que recopila, estudia, analiza y provee información científica sobre las condiciones y problemas de interés científico de los recursos naturales, tales como el agua, los minerales, el carbón, el petróleo, el gas y los suelos.

Es por ello, que la adquisición de las imágenes satelitales se obtuvo de la página

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

USGS en los formatos Lansat 7 y 8 y Oli TIRS como se evidencia en la (Tabla 1).

Tabla 1.- Imágenes satelitales usadas para la elaboración de mapas

Territorio de muestreo	Año de toma de fotos	Tipo de foto	Bandas multiespectrales	Conjunto de datos
Sucumbíos, Putumayo	2003	Landsat 7	7 bandas	Collection 2 - Level 2
Sucumbíos, Putumayo	2013	Landsat 7	7 bandas	Collection 2 - Level 2
Sucumbíos, Putumayo, Imbabura	2023	Landsat 8, Oli TIRS	7 bandas	Collection 2 - Level 2

Elaborado por: El autor (2023)

Los parámetros usados para la obtención de imágenes fueron:

- Cobertura de nubes: Rango de 0% a 10%
- Fecha de obtención de las imágenes para el año 2003: 31/12/2002 – 31/12/2003
- Fecha de obtención de las imágenes para el año 2013: 31/12/2012 – 31/12/2013
- Fecha de obtención de las imágenes para el año 2023: 31/12/2022 – 31/12/2023

3.2.2 Tratamiento de imágenes bandeadas en el Software QGis.

De acuerdo con Rojas, (2018), el bandeado es un fenómeno causado por una mala calibración entre detectores y resulta visible especialmente en zonas con baja radiación como por ejemplo zonas marinas. El resultado es la aparición de bandas más claras u oscuras que las demás. Para corregir el bandeado se asume que los detectores serian similares entre sí y similares a la imagen de referencia.

Sin embargo, en el presente trabajo se presentó una falla de calibración del satélite para los mapas del 2003 y del 2013 por lo que fue necesario recurrir al software QGis y usar su herramienta “rellenar sin datos” lo cual permitió dar más información a los espacios que no contenían pixeles de manera automatizada, esto se trabajó en cada una de las bandas para luego ser exportadas al software ArcGIS Pro.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Los parámetros usados en el software QGis fueron predeterminados, como, por ejemplo:

- Numero de bandas: 1
- Numero de interacciones: 0

Mientras que otras fueron generadas de manera manual, como, por ejemplo:

- Distancia máxima (pixeles) para el año 2003:13 pixeles
- Distancia máxima (pixeles) para el año 2013: 10 pixeles

Por último, cabe recalcar que la herramienta de “Mascara de validación” fue el parámetro más importante de esta etapa ya que al descargar el paquete de mapas Lansat 7 C2-L2 para los años 2003 y 2013 permitió la corrección adecuada para los bandeamientos que presentaban las imágenes, ya que dentro del paquete C2-L2 para todos los mapas descargados tenía contenida una capa de correcciones denominada “Mask”, lo cual generó que el programa procese la información automáticamente rellenando cada espacio que no contenía información.

3.2.3 Corrección y tratamiento de imágenes con el software ArcGIS Pro


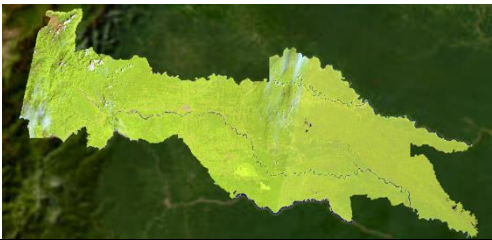

Una vez exportadas las imágenes de software QGis al software ArcGIS, se procedió con la corrección de estas ya que a pesar de haber sido previamente corregidos los bandeamientos, las siete imágenes (2 imágenes para 2003, 2 imágenes para 2013 y 3 imágenes para 2023) seguían presentando fallas tales como nubosidad, excedente de área que sobrepasaba la provincia de Sucumbíos y por último cada año presentaba 7 bandas por separado.

Para tratar estos errores, se realizó como primer paso la unión de las 7 diferentes bandas, de esta manera, se obtuvo un mapa en el cual ya se podía cambiar la simbología en base a su RGB. Una vez obtenidas las bandas, se procedió a usar la herramienta “*Mosaic to New Raster*”, la cual nos permitió unir los diferentes mapas en uno solo, el cual representó a Sucumbíos en los tres

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

diferentes años, sin embargo, los mapas excedían los límites del área seleccionada, por ello, se aplicó la herramienta “Clip” la cual permitió establecer un mapa únicamente proporcional al área de la provincia de Sucumbíos, como se evidencia en la (Tabla 2).

Tabla 2.- Simbología RGB por año

Año	Simbología	Ejemplo
2003	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; background-color: #f9f9f9;"> <input checked="" type="checkbox"/> Sucumbios2003 RGB Red: Band_5 Green: Band_4 Blue: Band_1 </div>	
2013	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; background-color: #f9f9f9;"> <input checked="" type="checkbox"/> Sucumbios2013 RGB Red: Band_5 Green: Band_4 Blue: Band_1 </div>	
2023	<div style="border: 1px solid #ccc; padding: 5px; background-color: #f9f9f9;"> <input checked="" type="checkbox"/> Sucumbios2023 RGB Red: sr_band5 Green: sr_band6 Blue: sr_band5 </div>	

Elaborado por: El autor (2023)

3.3 Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada fue considerado el proceso más importante del trabajo, debido a que en esta parte de la metodología se crearon 4 clasificaciones como se visualiza en (Tabla 3).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Tabla 3.- Clasificaciones supervisadas

Clasificación	Valor del punto	Simbología (Color)	Ejemplo
Cuerpos de Agua	1	Azul Oscuro	
Superficies Boscosas	2	Verde Oscuro	
Zonas deforestadas	3	Verde Claro	
Construcciones, vías, etc.	4	Gris	

Elaborado por: El Autor (2023)

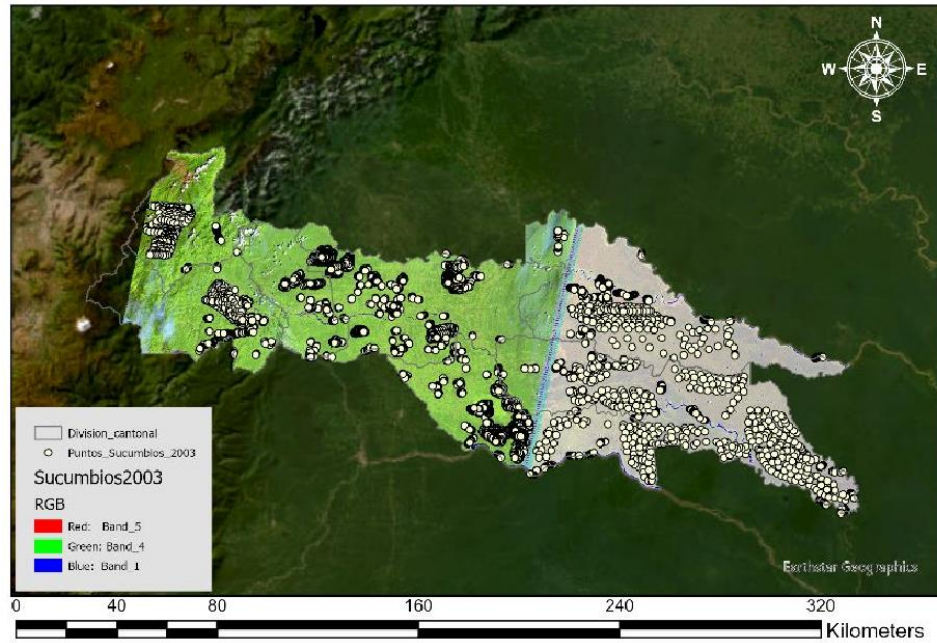
Este proceso fue realizado de manera visual y la aplicación de puntos fue generado con criterio propio.

Por último, utilizando la herramienta de “Create Feature Class” se crearon diferentes capas para generar puntos en los mapas del año 2003, 2013 y 2023 con el objetivo de clasificar visualmente cada una de las características del terreno.

Es importante mencionar que se trató de poner la mayor cantidad de puntos para cada clase ya que a una mayor cantidad de puntos, hay una mayor cantidad de información de píxeles.

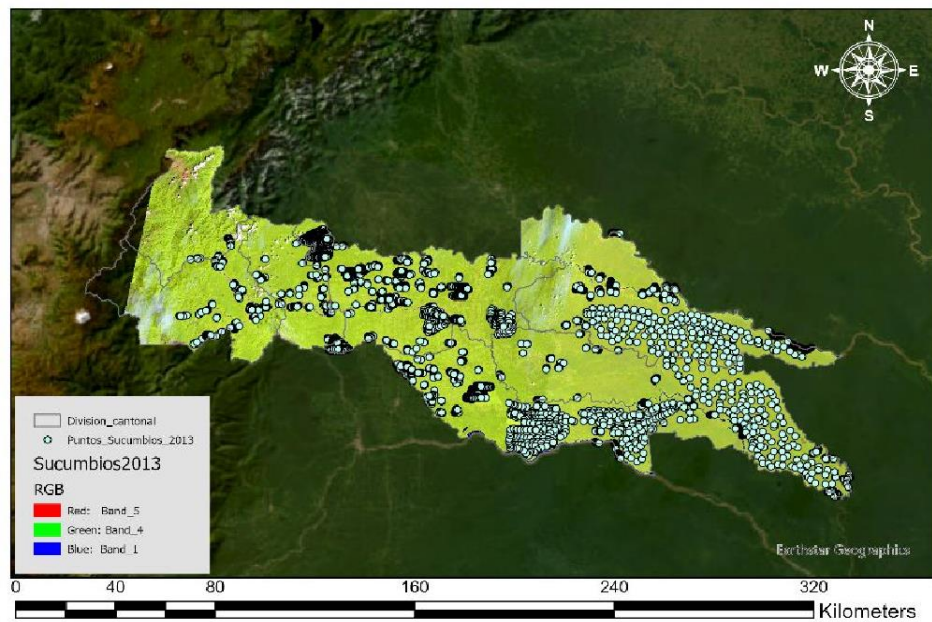
CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Ilustración 3.- Capa de puntos para el año 2003



Elaborado por: El Autor (2023)

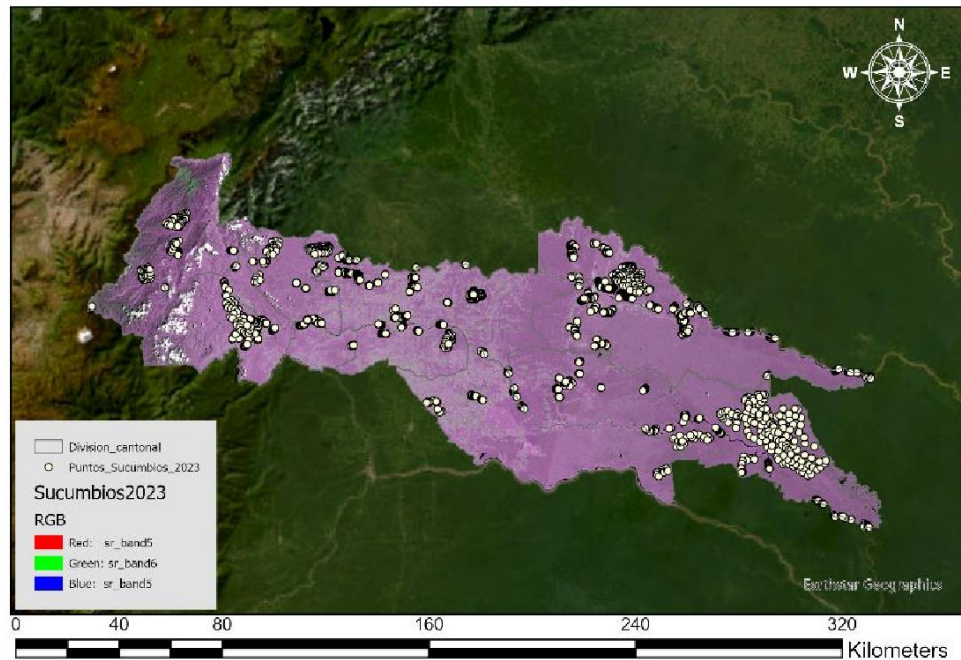
Ilustración 4.- Capa de puntos para el año 2013



Elaborado por: El Autor (2023)

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Ilustración 5.- Capa de puntos para el 2023



Elaborado por: El Autor (2023)

3.4 Clasificación no supervisada

La clasificación no supervisada es una forma de clasificación basada en píxeles y se caracteriza por ser netamente automatizada por computadora, en donde se especifica el número de clases y las clases espectrales se crean únicamente en función de la información numérica de los datos.

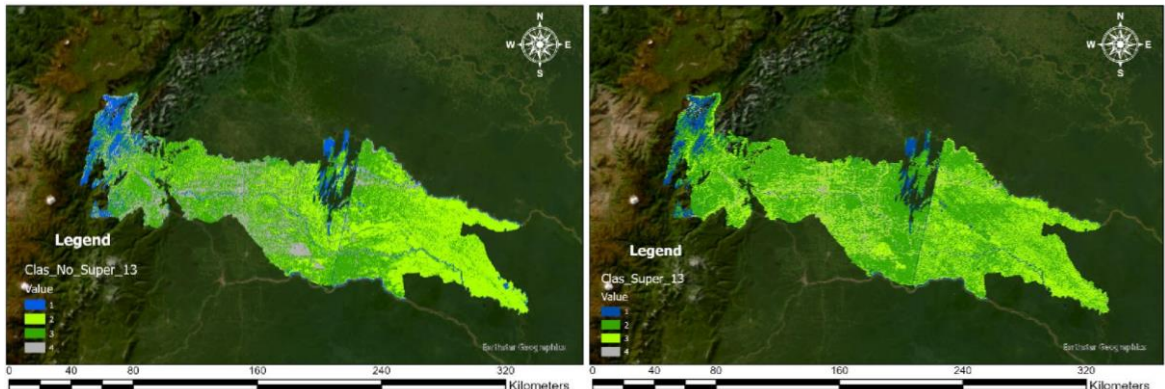
La principal ventaja de usar este método es que es bastante rápida y fácil de ejecutar, sin embargo, una de las principales desventajas es que las clases se crean basándose en información espectral, por lo que no son tan subjetivas como la interpretación visual manual, además, que no siempre corresponden a clases informativas. (Toribio, 2020)

Es por ello, que para efectos de este trabajo se usó la herramienta llamada “Iso Cluster Unsupervised Classification” para comparar cuál de los dos análisis era el más

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

cercano a la realidad, sin embargo, esta clasificación al ser automatizada no contaba con un análisis más a fondo como lo es comparado con el análisis supervisado ya que tomaba datos incorrectos dentro del mapa y aportaba información errónea en cuanto a las clasificaciones.

Ilustración 6.- Comparación de la clasificación no supervisada vs la clasificación supervisada.



Elaborado por: El Autor (2023)

Al identificar una gran cantidad de espacios nubosos en los tres diferentes shapefiles de cada año se necesitó de otra herramienta para corregir o eliminar estos pixeles sin información válida, para esto los shapefiles se transformaron a un nuevo ráster por cada uno, tomando en cuenta un parámetro en especial, el cual fue realizar una selección manual de las áreas nubosas para que al crearse los rasters no fuesen tomadas estas áreas en cuenta.

A pesar de haber realizado esta selección y posteriormente su enmascarado, las imágenes presentaron vacíos de pixeles en las zonas que presentaban nubes anteriormente, por lo tanto, se procedió a aplicar la herramienta “Dissolve”, la cual permitió que cada uno de los rasters se descompusieran en polígonos editables, y luego, junto a la herramienta de edición “Continue Feature” se fue rellanando manualmente los espacios y otorgándole valores de pixeles.

3.5 Creación de una matriz de transición.

Los datos utilizados para generar la matriz de transición fueron asignados de acuerdo con Velásquez, E., et al. (2012). Obteniendo los siguientes valores para cada año. Visualizar la (Tabla

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

4).

Tabla 4.- Matriz de transición de cambio de uso de suelo en Sucumbíos.

MATRIZ TRANSICIONAL DE CAMBIO DE USO DE SUELO EN SUCUMBÍOS						
AÑO Y CLASIFICACION		2013				
		DEFORESTADO	CUERPOS AGUA	BOSCOSO	URBANO	
2003	DEFORESTADO	5	6	7	8	9
	CUERPOS AGUA	10	11	12	13	14
	BOSCOSO	15	16	17	18	19
	URBANO	20	21	22	23	24

AÑO Y CLASIFICACION		2023				
		DEFORESTADO	CUERPOS AGUA	BOSCOSO	URBANO	
2013	DEFORESTADO	10	11	12	13	14
	CUERPOS AGUA	15	16	17	18	19
	BOSCOSO	20	21	22	23	24
	URBANO	25	26	27	28	29

AÑO Y CLASIFICACION		2023				
		DEFORESTADO	CUERPOS AGUA	BOSCOSO	URBANO	
2003	DEFORESTADO	10	11	12	13	14
	CUERPOS AGUA	20	21	22	23	24
	BOSCOSO	30	31	32	33	34
	URBANO	40	41	42	43	44

Elaborado por: El autor (2023)

Como se pudo visualizar en las tablas, estas comparaban dos años por cada tabla.

El primer ejemplo muestra como la matriz interrelaciona valores de los años 2003 con 2013, siendo este la base numérica para las siguientes matrices. En el año 2003 y 2013 se tomó 4 clasificaciones: deforestado, cuerpos de agua, boscoso y urbano, al año 2003 se le otorgaron valores en intervalos de 5 el cual representa la tasa de cambio, por otro lado, para el año 2013 y 2023 se le otorgaron valores únicos del 1 al 4 como tasa de cambio.

En la segunda matriz se representa la conexión entre el cambio dado entre los años 2013 y

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2023, dándole una base numérica de cambio 5 unidades más altas que la matriz anterior del año 2013, mientras que los valores del 2023 se mantuvieron constantes, por último, la matriz que compara el año 2003 al 2023 cuenta con una base de comparación de 20 años, por ende, los datos iniciales para 2003 intercalan de 10 en 10 unidades en la tasa de cambio y dejan al año 2023 con valores constantes al igual que en las otras matrices.

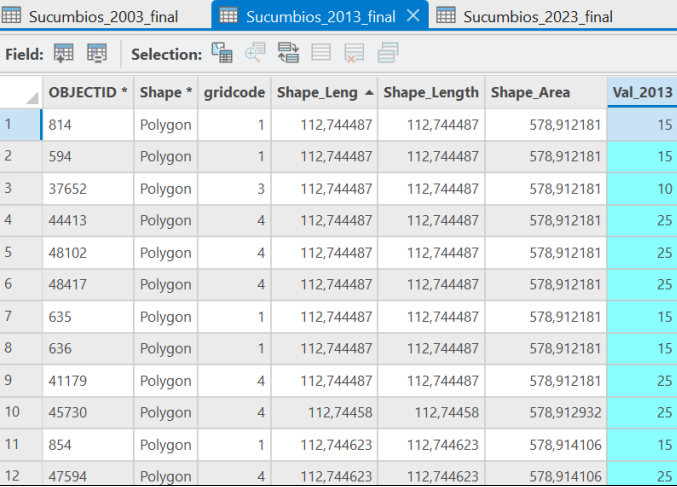
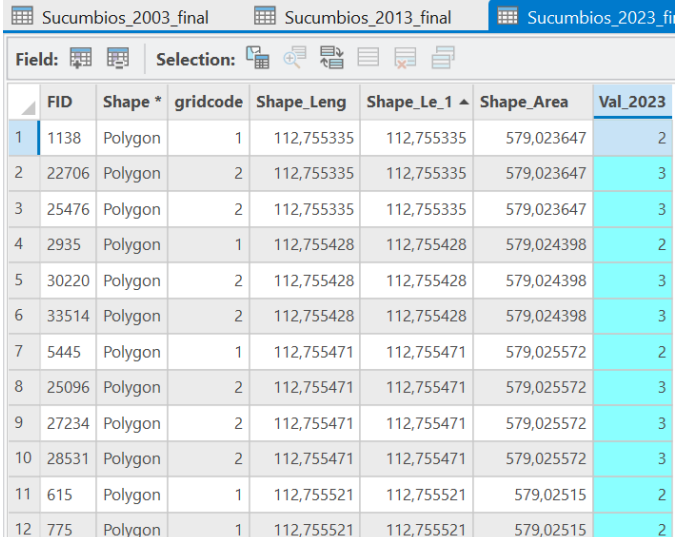
3.6 Uso de la Herramienta Intersect para calcular y representar el cambio de uso de suelo

Una vez reparadas las imágenes satelitales, haber creado un mapa por cada año y haber designado una matriz de cambio de uso de suelo, se procedió a la ejecución de la herramienta de análisis espacial llamada “Intersect” la cual tiene como objetivo unir los datos de dos diferentes mapas en uno solo, por ello, la importancia de la matriz de transición. Como se pudo analizar en la (Tabla 4) se otorgaron valores para cada clasificación de uso de suelo y estos valores fueron añadidos en las tablas de atributo de cada mapa. Lo dicho anteriormente se puede visualizar en la (Tabla 5).

Tabla 5.- Valores Agregados en las Tablas de Atributos por año

Año	Valores Matriz de Transición en Tabla de Atributos																																																																																										
2003	 <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>FID</th> <th>Shape *</th> <th>gridcode</th> <th>Shape_Leng</th> <th>Shape_Area</th> <th>Val_2003</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12</td><td>39976</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>545146,352817</td><td>50954973,8506</td><td>20</td></tr> <tr><td>13</td><td>14199</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>544158,920181</td><td>42945768,1592</td><td>15</td></tr> <tr><td>14</td><td>22301</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>381439,619043</td><td>46117469,227</td><td>5</td></tr> <tr><td>15</td><td>9350</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>344748,383733</td><td>42348277,8641</td><td>15</td></tr> <tr><td>16</td><td>27325</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>338692,574089</td><td>25436529,3558</td><td>5</td></tr> <tr><td>17</td><td>27178</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>325907,377479</td><td>25876807,1896</td><td>5</td></tr> <tr><td>18</td><td>20968</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>292645,941055</td><td>25854766,31</td><td>5</td></tr> <tr><td>19</td><td>38410</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>272613,226214</td><td>21467956,9864</td><td>20</td></tr> <tr><td>20</td><td>9841</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>269593,933989</td><td>28720445,1525</td><td>15</td></tr> <tr><td>21</td><td>11247</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>267626,261022</td><td>43458348,1812</td><td>15</td></tr> <tr><td>22</td><td>10153</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>265357,627397</td><td>29550077,8377</td><td>15</td></tr> <tr><td>23</td><td>21665</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>265163,893515</td><td>27033923,791</td><td>5</td></tr> </tbody> </table>	FID	Shape *	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area	Val_2003	12	39976	Polygon	4	545146,352817	50954973,8506	20	13	14199	Polygon	2	544158,920181	42945768,1592	15	14	22301	Polygon	3	381439,619043	46117469,227	5	15	9350	Polygon	2	344748,383733	42348277,8641	15	16	27325	Polygon	3	338692,574089	25436529,3558	5	17	27178	Polygon	3	325907,377479	25876807,1896	5	18	20968	Polygon	3	292645,941055	25854766,31	5	19	38410	Polygon	4	272613,226214	21467956,9864	20	20	9841	Polygon	2	269593,933989	28720445,1525	15	21	11247	Polygon	2	267626,261022	43458348,1812	15	22	10153	Polygon	2	265357,627397	29550077,8377	15	23	21665	Polygon	3	265163,893515	27033923,791	5
FID	Shape *	gridcode	Shape_Leng	Shape_Area	Val_2003																																																																																						
12	39976	Polygon	4	545146,352817	50954973,8506	20																																																																																					
13	14199	Polygon	2	544158,920181	42945768,1592	15																																																																																					
14	22301	Polygon	3	381439,619043	46117469,227	5																																																																																					
15	9350	Polygon	2	344748,383733	42348277,8641	15																																																																																					
16	27325	Polygon	3	338692,574089	25436529,3558	5																																																																																					
17	27178	Polygon	3	325907,377479	25876807,1896	5																																																																																					
18	20968	Polygon	3	292645,941055	25854766,31	5																																																																																					
19	38410	Polygon	4	272613,226214	21467956,9864	20																																																																																					
20	9841	Polygon	2	269593,933989	28720445,1525	15																																																																																					
21	11247	Polygon	2	267626,261022	43458348,1812	15																																																																																					
22	10153	Polygon	2	265357,627397	29550077,8377	15																																																																																					
23	21665	Polygon	3	265163,893515	27033923,791	5																																																																																					

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

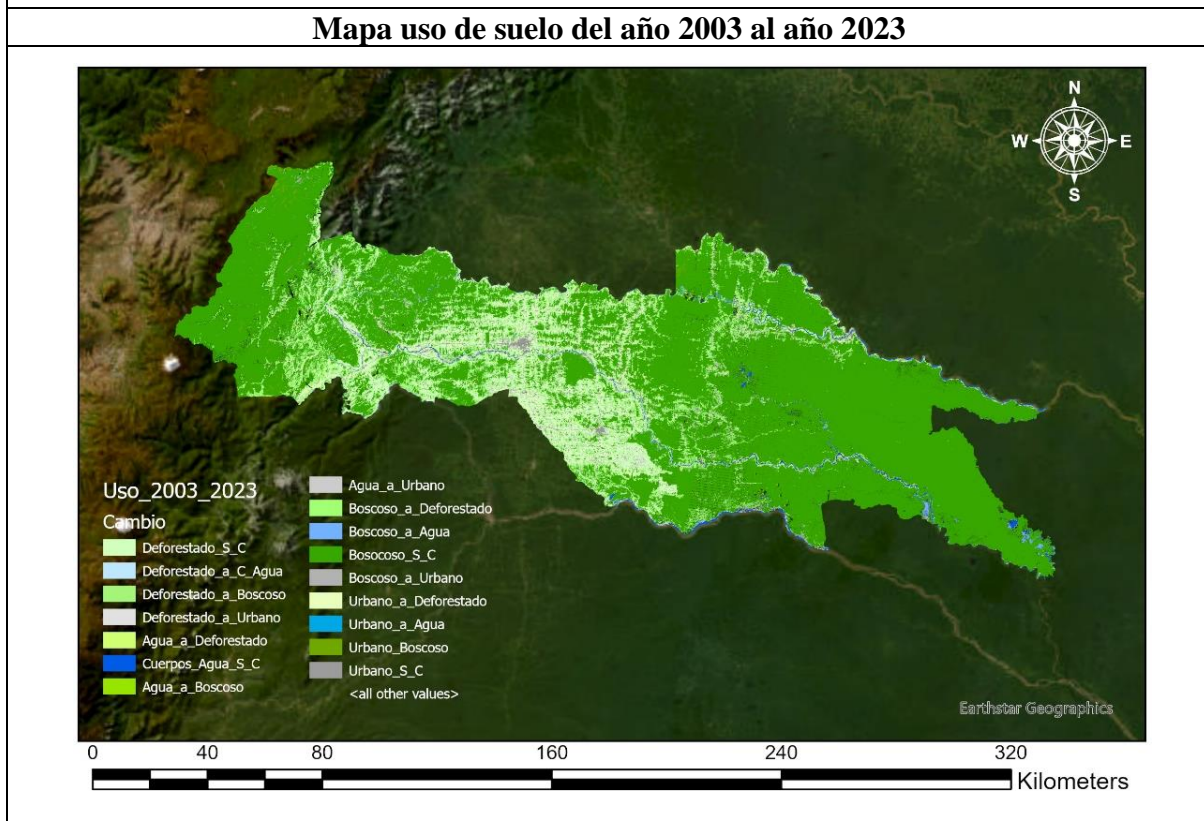
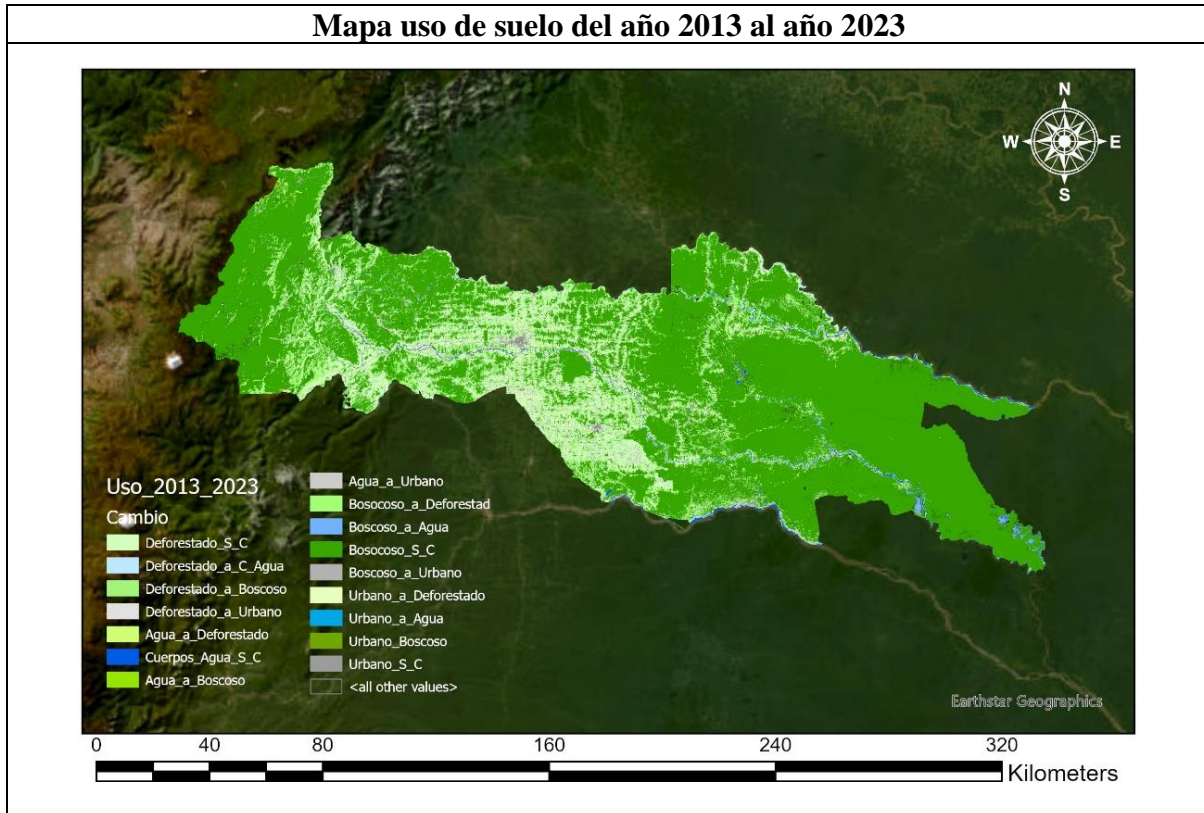
Año	Valores Matriz de Transición en Tabla de Atributos																																																																																																							
2013	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>OBJECTID</th> <th>Shape</th> <th>gridcode</th> <th>Shape_Leng</th> <th>Shape_Length</th> <th>Shape_Area</th> <th>Val_2013</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>814</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>15</td></tr> <tr><td>2</td><td>594</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>15</td></tr> <tr><td>3</td><td>37652</td><td>Polygon</td><td>3</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>10</td></tr> <tr><td>4</td><td>44413</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>25</td></tr> <tr><td>5</td><td>48102</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>25</td></tr> <tr><td>6</td><td>48417</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>25</td></tr> <tr><td>7</td><td>635</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>15</td></tr> <tr><td>8</td><td>636</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>15</td></tr> <tr><td>9</td><td>41179</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,744487</td><td>112,744487</td><td>578,912181</td><td>25</td></tr> <tr><td>10</td><td>45730</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,74458</td><td>112,74458</td><td>578,912932</td><td>25</td></tr> <tr><td>11</td><td>854</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,744623</td><td>112,744623</td><td>578,914106</td><td>15</td></tr> <tr><td>12</td><td>47594</td><td>Polygon</td><td>4</td><td>112,744623</td><td>112,744623</td><td>578,914106</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>	OBJECTID	Shape	gridcode	Shape_Leng	Shape_Length	Shape_Area	Val_2013	1	814	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15	2	594	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15	3	37652	Polygon	3	112,744487	112,744487	578,912181	10	4	44413	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25	5	48102	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25	6	48417	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25	7	635	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15	8	636	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15	9	41179	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25	10	45730	Polygon	4	112,74458	112,74458	578,912932	25	11	854	Polygon	1	112,744623	112,744623	578,914106	15	12	47594	Polygon	4	112,744623	112,744623	578,914106	25
OBJECTID	Shape	gridcode	Shape_Leng	Shape_Length	Shape_Area	Val_2013																																																																																																		
1	814	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15																																																																																																	
2	594	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15																																																																																																	
3	37652	Polygon	3	112,744487	112,744487	578,912181	10																																																																																																	
4	44413	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25																																																																																																	
5	48102	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25																																																																																																	
6	48417	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25																																																																																																	
7	635	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15																																																																																																	
8	636	Polygon	1	112,744487	112,744487	578,912181	15																																																																																																	
9	41179	Polygon	4	112,744487	112,744487	578,912181	25																																																																																																	
10	45730	Polygon	4	112,74458	112,74458	578,912932	25																																																																																																	
11	854	Polygon	1	112,744623	112,744623	578,914106	15																																																																																																	
12	47594	Polygon	4	112,744623	112,744623	578,914106	25																																																																																																	
2023	 <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr> <th>FID</th> <th>Shape</th> <th>gridcode</th> <th>Shape_Leng</th> <th>Shape_Le_1</th> <th>Shape_Area</th> <th>Val_2023</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1138</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,755335</td><td>112,755335</td><td>579,023647</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>22706</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755335</td><td>112,755335</td><td>579,023647</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>25476</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755335</td><td>112,755335</td><td>579,023647</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>2935</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,755428</td><td>112,755428</td><td>579,024398</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>30220</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755428</td><td>112,755428</td><td>579,024398</td><td>3</td></tr> <tr><td>6</td><td>33514</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755428</td><td>112,755428</td><td>579,024398</td><td>3</td></tr> <tr><td>7</td><td>5445</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,755471</td><td>112,755471</td><td>579,025572</td><td>2</td></tr> <tr><td>8</td><td>25096</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755471</td><td>112,755471</td><td>579,025572</td><td>3</td></tr> <tr><td>9</td><td>27234</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755471</td><td>112,755471</td><td>579,025572</td><td>3</td></tr> <tr><td>10</td><td>28531</td><td>Polygon</td><td>2</td><td>112,755471</td><td>112,755471</td><td>579,025572</td><td>3</td></tr> <tr><td>11</td><td>615</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,755521</td><td>112,755521</td><td>579,025515</td><td>2</td></tr> <tr><td>12</td><td>775</td><td>Polygon</td><td>1</td><td>112,755521</td><td>112,755521</td><td>579,025515</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	FID	Shape	gridcode	Shape_Leng	Shape_Le_1	Shape_Area	Val_2023	1	1138	Polygon	1	112,755335	112,755335	579,023647	2	2	22706	Polygon	2	112,755335	112,755335	579,023647	3	3	25476	Polygon	2	112,755335	112,755335	579,023647	3	4	2935	Polygon	1	112,755428	112,755428	579,024398	2	5	30220	Polygon	2	112,755428	112,755428	579,024398	3	6	33514	Polygon	2	112,755428	112,755428	579,024398	3	7	5445	Polygon	1	112,755471	112,755471	579,025572	2	8	25096	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3	9	27234	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3	10	28531	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3	11	615	Polygon	1	112,755521	112,755521	579,025515	2	12	775	Polygon	1	112,755521	112,755521	579,025515	2
FID	Shape	gridcode	Shape_Leng	Shape_Le_1	Shape_Area	Val_2023																																																																																																		
1	1138	Polygon	1	112,755335	112,755335	579,023647	2																																																																																																	
2	22706	Polygon	2	112,755335	112,755335	579,023647	3																																																																																																	
3	25476	Polygon	2	112,755335	112,755335	579,023647	3																																																																																																	
4	2935	Polygon	1	112,755428	112,755428	579,024398	2																																																																																																	
5	30220	Polygon	2	112,755428	112,755428	579,024398	3																																																																																																	
6	33514	Polygon	2	112,755428	112,755428	579,024398	3																																																																																																	
7	5445	Polygon	1	112,755471	112,755471	579,025572	2																																																																																																	
8	25096	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3																																																																																																	
9	27234	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3																																																																																																	
10	28531	Polygon	2	112,755471	112,755471	579,025572	3																																																																																																	
11	615	Polygon	1	112,755521	112,755521	579,025515	2																																																																																																	
12	775	Polygon	1	112,755521	112,755521	579,025515	2																																																																																																	

Elaborado por. – El autor (2023).

Una vez otorgados estos valores, se aplicó la herramienta “Intersect”, para relacionar los diferentes mapas entre sí. El primer análisis realizado fue la interacción entre el mapa del año 2003 con el mapa del año 2013, el segundo análisis fue la ejecución de la herramienta para intersecar los mapas del año 2013 con el mapa del año 2023 y para finalizar se aplicó “Intersect” para la evaluación de cambio entre los años 2003 con el año 2023.

Después de la aplicación de esta herramienta obtuvimos tres mapas de análisis diferentes, sin embargo, para poder visualizar el verdadero cambio de uso de suelo fue necesario que a la tabla

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**



















Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Las 16 diferentes gamas de color que se pueden apreciar en los anteriores mapas se explican de una manera más detallada en las siguientes tablas (Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9)

Tabla 7.- Simbología y valores del uso de suelo del año 2003 al año 2013

Mapa uso de suelo del año 2003 al año 2013			
Color	Tipo de cambio	Valor Sumatoria Matriz	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	6	123 777
	Deforestado a Cuerpos de Agua	7	1 276
	Deforestado a Boscoso	8	42 775
	Deforestado a Urbano	9	14 345
	Agua a Deforestado	11	1 669
	Cuerpos Agua Sin Cambio	12	14 771
	Agua a Boscoso	13	1 997
	Agua a Urbano	14	2 303
	Boscoso a Deforestado	16	162 620
	Boscoso a Cuerpos de Agua	17	7 048
	Boscoso Sin Cambio	18	1 277 850
	Boscoso a Urbano	19	17 112
	Urbano a Deforestado	21	40 729
	Urbano a Cuerpos de Agua	22	1 835
	Urbano a Boscoso	23	13 760
	Urbano Sin Cambio	24	15 288

Elaborado por. – El autor (2023).

















Como se puede observar se designaron 16 diferentes gamas de colores que pueden distinguirse entre ellos para un análisis visual, además de ello tenemos el campo de “Área En Hectáreas” que en este caso representa las áreas dentro de la provincia de Sucumbíos que han sido modificadas o a su vez no han sido parte de algún cambio en el uso de suelo en el pasar de los 10 años.

Así sucesivamente se fueron aplicando los colores y el cálculo de áreas para los análisis de los años restantes, en la (Tabla 8) se muestra la simbología y valores del uso de suelo del año 2013 al año 2023 y en la (Tabla 9) se refleja la simbología y valores del uso de suelo del año 2003 al

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

año 2023.

Tabla 8.- Simbología y valores del uso de suelo del año 2013 al año 2023

Mapa uso de suelo del año 2013 al año 2023			
Color	Tipo de cambio	Valor Sumatoria Matriz	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	11	150 591
	Deforestado a Cuerpos de Agua	12	450,84
	Deforestado a Boscoso	13	27 240,5
	Deforestado a Urbano	14	5 449,65
	Agua a Deforestado	16	1 605,69
	Cuerpos Agua Sin Cambio	17	1 3926,8
	Agua a Boscoso	18	3 803,03
	Agua a Urbano	19	1 080,45
	Boscoso a Deforestado	21	78 223,3
	Boscoso a Cuerpos de Agua	22	1 689,61
	Boscoso Sin Cambio	23	1 391 110
	Boscoso a Urbano	24	11 033
	Urbano a Deforestado	26	18 240
	Urbano a Cuerpos de Agua	27	1 473,43
	Urbano a Boscoso	28	1 1403,4
	Urbano Sin Cambio	29	40 890,8

















Elaborado por. – El autor (2023).

Algo que cabe mencionar para los valores de áreas que han sido transformadas y cambiadas con el paso de 10 años desde 2013 al año 2023 es que al haber rellenado espacios sin información de pixeles el software ArcGIS Pro automáticamente tomo como si las diversas zonas hubiesen tenido un cambio significativamente grande en hectáreas a lo largo de la provincia de Sucumbíos.

En la siguiente tabla (Tabla 9) se muestran valores de cambio que van del año 2003 al año 2023, en los valores de las áreas para esta proyección regresan a valores más acercados a la realidad ya que entre el mapa de 2003 y el año 2023 no hubo mayor corrección entre sí, es decir no hubo áreas para rellenar con otras herramientas ni tampoco existió espacios cubiertos por nubosidades.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Tabla 9 Simbología y valores del uso de suelo del año 2003 al año 2023

Mapa uso de suelo del año 2003 al año 2023			
Color	Tipo de cambio	Valor Sumatoria Matriz	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	11	1 448 680
	Deforestado a Cuerpos de Agua	12	265 891
	Deforestado a Boscoso	13	831 549
	Deforestado a Urbano	14	175 199
	Agua a Deforestado	21	150 544
	Cuerpos Agua Sin Cambio	22	146 903
	Agua a Boscoso	23	145 496
	Agua a Urbano	24	266 879
	Boscoso a Deforestado	31	1 537 610
	Boscoso a Cuerpos de Agua	32	823 457
	Boscoso Sin Cambio	33	125 248
	Boscoso a Urbano	34	152 141
	Urbano a Deforestado	41	339 937
	Urbano a Cuerpos de Agua	42	190 441
	Urbano a Boscoso	43	850 302
	Urbano Sin Cambio	44	143 026

Elaborado por. – El autor (2023).

En las tres tablas anteriores (Tabla 7, Tabla 8 y Tabla 9) está incluido el campo denominado “Área en Hectáreas”, este campo fue realizado con el cálculo automatizado de la herramienta de ArcGIS Pro llamada “Calculate Geometry”, en esta herramienta se tomaron como parámetros los siguientes:

- Propiedad: Área
- Unidad De Calculo: Hectáreas
- Sistema de Coordenadas: WGS_1984_UTM_Zone_17S

De esta manera por cada tasa de cambio se obtuvo el valor de hectáreas que han cambiado para el análisis del año 2003 al año 2013 en un plazo de 10 años, como también el cambio de 10 años para el análisis del año 2013 al año 2023, mencionando de importancia de los 20 años de

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

cambio de uso de suelo para el análisis del año 2003 al año 2023.

3.7 Estimación de la Tasa de Deforestación en Sucumbíos entre los periodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023

Una vez realizadas las diferentes clasificaciones supervisadas para los periodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023 y haber obtenido valores de cambio en cuanto aspectos de deforestación, se procedió a realizar las siguientes estimaciones para la obtención de un valor representativo en cuanto al cambio al que se ha suscitado en la provincia de Sucumbíos.

3.7.1 Deforestación bruta anual para un período determinado

$$R = \frac{A_1 - A_2}{T_2 - T_1}$$

Ecuación 3.- Deforestación Bruta Anual

Donde:

A_1 : son las áreas con cobertura boscosa en el T_1 .

A_2 : son las áreas con cobertura boscosa en el T_2 .

T_1 : es el tiempo inicial del análisis.

T_2 : es el tiempo final del análisis.

Puyravaud, J. P. (2003).

3.7.1.1 Deforestación bruta anual para el período 2003-2013

A_1 : áreas con cobertura boscosa 2003.

A_2 : áreas con cobertura boscosa 2013.

T_1 : 2003.

T_2 : 2013.

$$R = \frac{1491850 - 1455760}{2013 - 2003}$$

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

$$R = \frac{36090}{10} = 3609 \text{ ha}$$

3.7.1.2 Deforestación bruta anual para el período 2013-2023

A_1 : áreas con cobertura boscosa en 2013.

A_2 : áreas con cobertura boscosa en el 2023.

T_1 : 2013.

T_2 : 2023.

$$R = \frac{1455760 - 1352860}{2023 - 2013}$$

$$R = \frac{102900}{10} = 10290 \text{ ha}$$

3.7.1.3 Deforestación bruta anual para el período 2003-2023

A_1 : áreas con cobertura boscosa en el 2003.

A_2 : áreas con cobertura boscosa en el 2023.

T_1 : 2003.

T_2 : 2023.

$$R = \frac{1491850 - 1352860}{2023 - 2003}$$

$$R = \frac{138990}{20} = 6949,5 \text{ ha}$$

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

3.7.2 Tasa de cambio anual

Anteriormente se obtuvieron valores asociados a la deforestación bruta que se ha presentado en la provincia de Sucumbíos en los diferentes periodos de estudio, sin embargo, fue de importancia también calcular la tasa de cambio de uso de suelo anual para los tres periodos de estudio, como se mencionó anteriormente y según *Puyravaud, J. P.(2003)* la siguiente ecuación dio como resultado tres diferentes valores en porcentaje de la tasa en la que el suelo ha cambiado su uso en el trayecto de 20 años. Usándose así la siguiente ecuación:

$$q = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{1/(T_2-T_1)} - 1$$

Ecuación 4.- Tasa De Cambio Anual

Donde:

A_1 : son las áreas con cobertura boscosa en el T_1 .

A_2 : son las áreas con cobertura boscosa en el T_2 .

T_1 : es el tiempo inicial del análisis.

T_2 : es el tiempo final del análisis.

Puyravaud, J. P.(2003).

3.7.2.1 Tasa de cambio anual para el período 2003-2013

A_1 : áreas con cobertura boscosa en el 2003.

A_2 : áreas con cobertura boscosa en el 2013.

T_1 : 2003.

T_2 : 2013.

$$q = \left(\frac{1455760}{1491850}\right)^{1/(2013-2003)} - 1$$

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

$$q = (0,97581)^{1/10} - 1 = -2,4457 \times 10^{-3}$$

3.7.2.2 Tasa de cambio anual para el período 2013-2023

A_1 : áreas con cobertura boscosa en 2013.

A_2 : áreas con cobertura boscosa en el 2023.

T_1 : 2013.

T_2 : 2023.

$$q = \left(\frac{1352860}{1455760} \right)^{1/(2023-2013)} - 1$$

$$q = (0,92931)^{1/10} - 1 = -7,3045 \times 10^{-3}$$

3.7.2.3 Tasa de cambio anual para el período 2003-2023

A_1 : áreas con cobertura boscosa en el 2003.

A_2 : áreas con cobertura boscosa en el 2023.

T_1 : 2003.

T_2 : 2023.

$$q = \left(\frac{1352860}{1491850} \right)^{1/(2023-2003)} - 1$$

$$q = (0,90683)^{1/20} - 1 = -4,8781 \times 10^{-3}$$

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

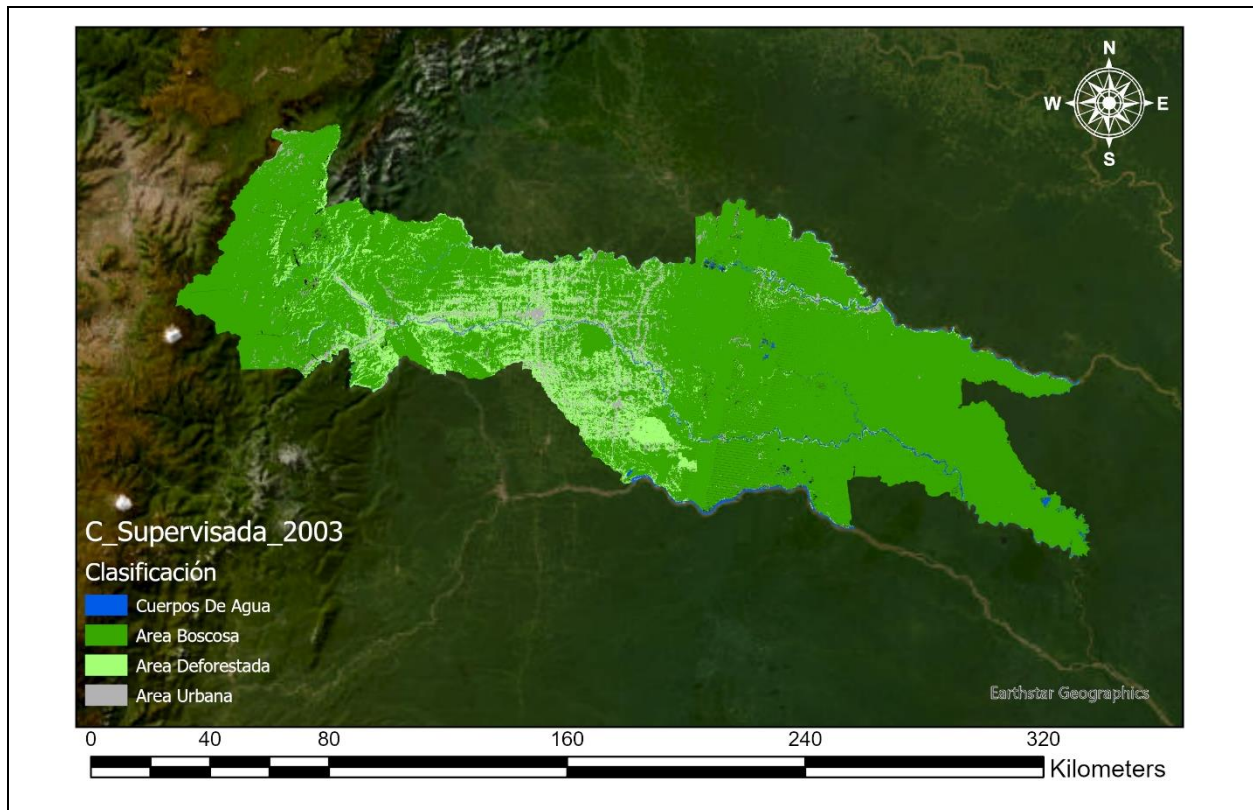
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados para el cambio de uso de suelo en la provincia de Sucumbíos. Principalmente se representan los valores obtenidos en la “Clasificación Supervisada” para los tres diferentes años de estudio (2003, 2013 y 2023), adjuntando las áreas y la simbología establecida para cada una de las cuatro clasificaciones (cuerpos de agua, áreas boscosas, áreas deforestadas y áreas urbanas), algo a tomar en cuenta para los resultados obtenidos en las diferentes clasificaciones supervisadas son las zonas de entrenamiento (áreas de interés para el estudio) que para este análisis son las áreas urbanas, áreas deforestadas y áreas boscosas; ya que al compararse entre ellas se determina aspectos que han influenciado en el desarrollo del suelo en la provincia de Sucumbíos.

Posterior a la clasificación supervisada se presentan los resultados del “Cambio De Uso Del Suelo” en tres diferentes periodos, que fueron 2003 a 2013, 2013 a 2023 y 2003 a 2023, incluyendo cada área que tuvo cambio dentro del análisis, para cada periodo se otorgaron 16 clasificaciones que corresponden a la transición del suelo y su uso que se han dado en los diferentes periodos de tiempo simulados. Para finalizar se presentan los resultados de dos diferentes cálculos realizados correspondientes a la “Deforestación Anual Bruta” en los tres periodos y la “Tasa De Cambio Anual” (expresada en porcentaje).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.1 Clasificación Supervisada para el año 2003:

Tabla 10.- Resultado 1 Clasificación Supervisada 2003



CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA EL PERIODO 2003	
<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>HECTAREAS</i>
Cuerpos De Agua	22973,8
Area Boscosa	1491850
Area Deforestada	185189
Area Urbana	73453,7

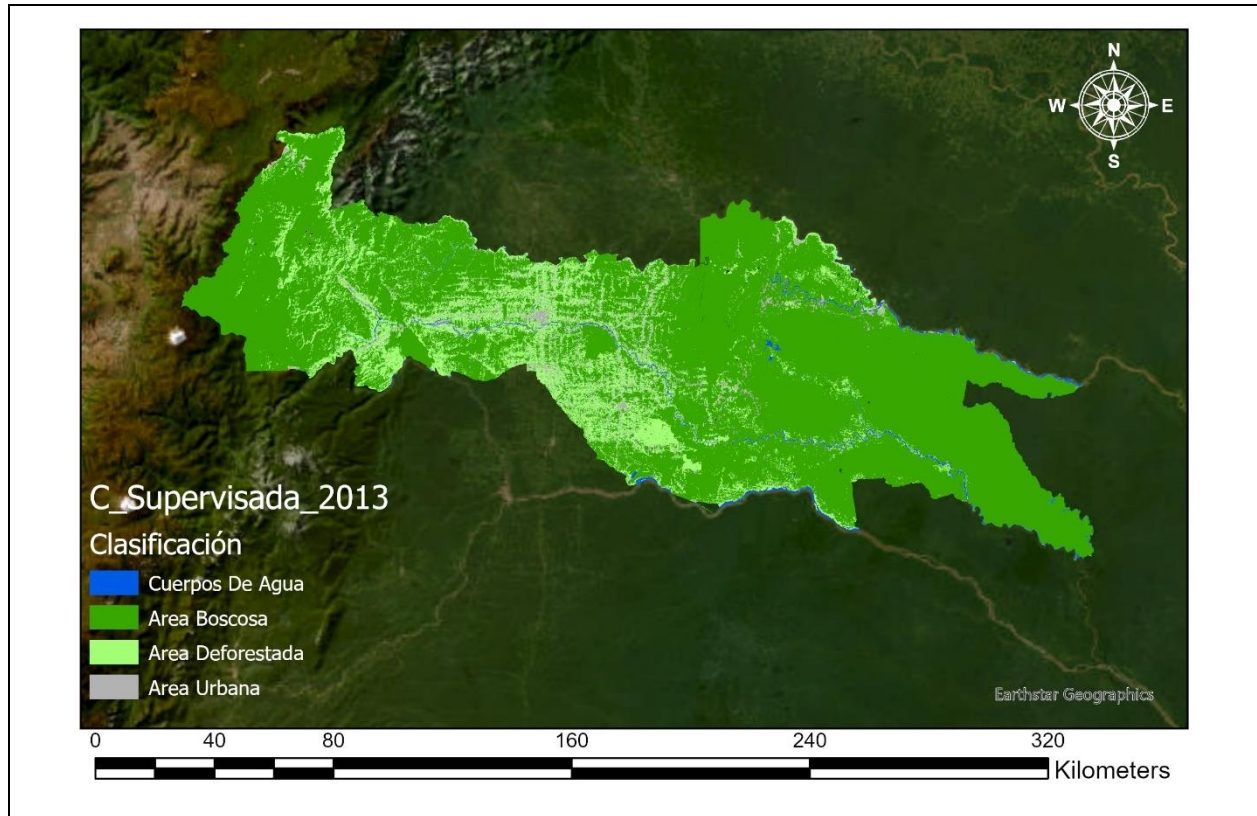
Como se puede observar para este año se han obtenido diferentes clasificaciones y cada una de ellas tiene su color correspondiente, es de importancia entender las áreas de entrenamiento con mayor importancia para este trabajo fueron las áreas con cobertura vegetal y las áreas que no contemplan bosques, como lo son las áreas urbanas y deforestadas, despreciando de cierta manera los cuerpos de agua para el análisis. Sabiendo sobre las áreas de entrenamiento se obtuvo tres diferentes valores representativos en hectáreas de las diferentes zonas en cambio, así fueron 149185 ha para las áreas boscosas, 185189 ha áreas deforestadas y 73453,4 ha áreas urbanas.

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.2 Clasificación Supervisada para el año 2013:

Tabla 11.- Resultado 2 Clasificación Supervisada 2013



CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA EL PERIODO 2013	
<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>HECTAREAS</i>
Cuerpos De Agua	21848,3
Area Boscosa	1455760
Area Deforestada	252944
Area Urbana	60353,3

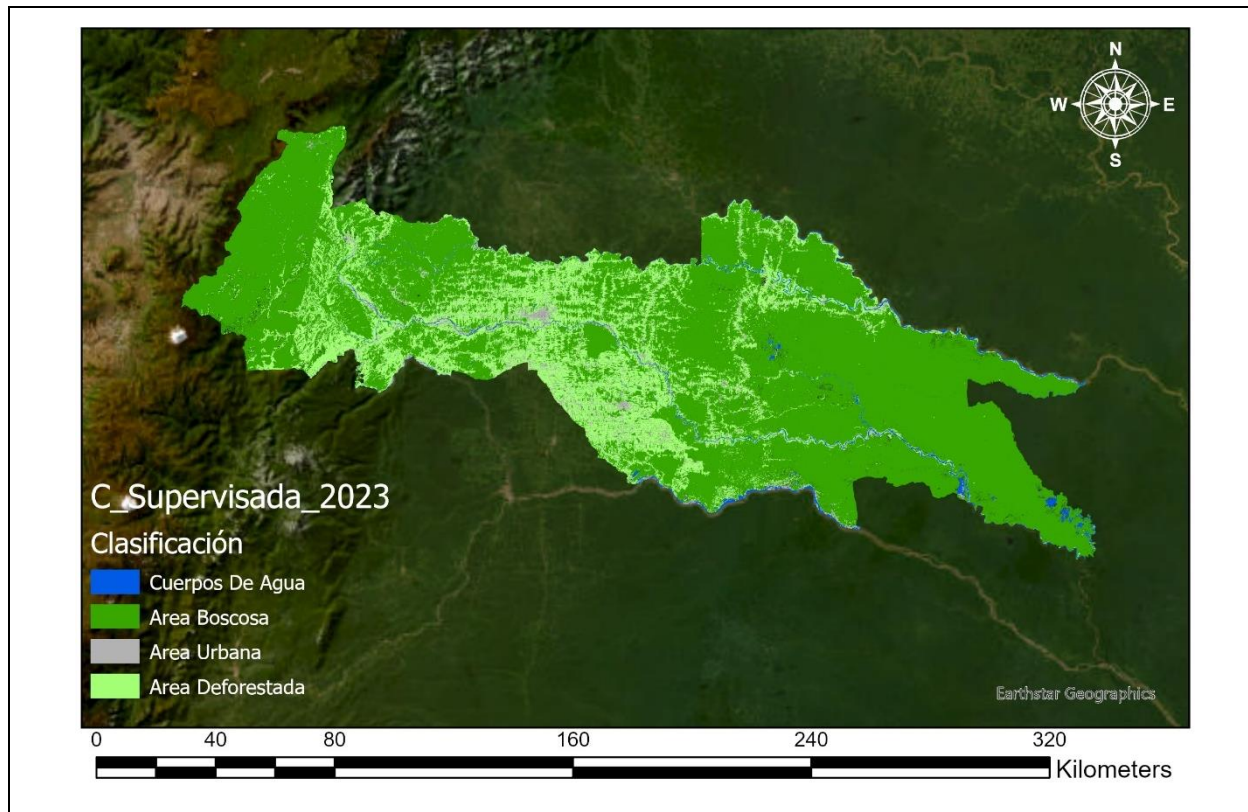
Como se mencionó antes, tenemos de igual manera las tres diferentes zonas de entrenamiento, para este año visualmente se divide un cambio en las zonas urbanas, se puede ver un crecimiento en cuanto a carreteras e infraestructuras a lo largo del mapa, como también es notable la transición de que ha tenido el área con cobertura vegetal a ser una zona totalmente deforestada o preparada para realizarse nuevos asentamientos, para este año de los cambios relevantes e puede denotar en cuanto al área en hectáreas para espacios boscosos que disminuyo a 1455760 ha, lo cual numéricamente puede representarse en el incremento de áreas deforestadas para el año 2013 que resultó con 252944 ha, siendo 67755 ha de diferencia con el año 2003.

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.3 Clasificación Supervisada para el año 2023:

Tabla 12.- Resultado 2 Clasificación Supervisada 2023



CLASIFICACIÓN SUPERVISADA PARA EL PERIODO 2023	
<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>HECTAREAS</i>
Cuerpos De Agua	30430,9
Area Boscosa	1352860
Area Deforestada	337180
Area Urbana	51661,2

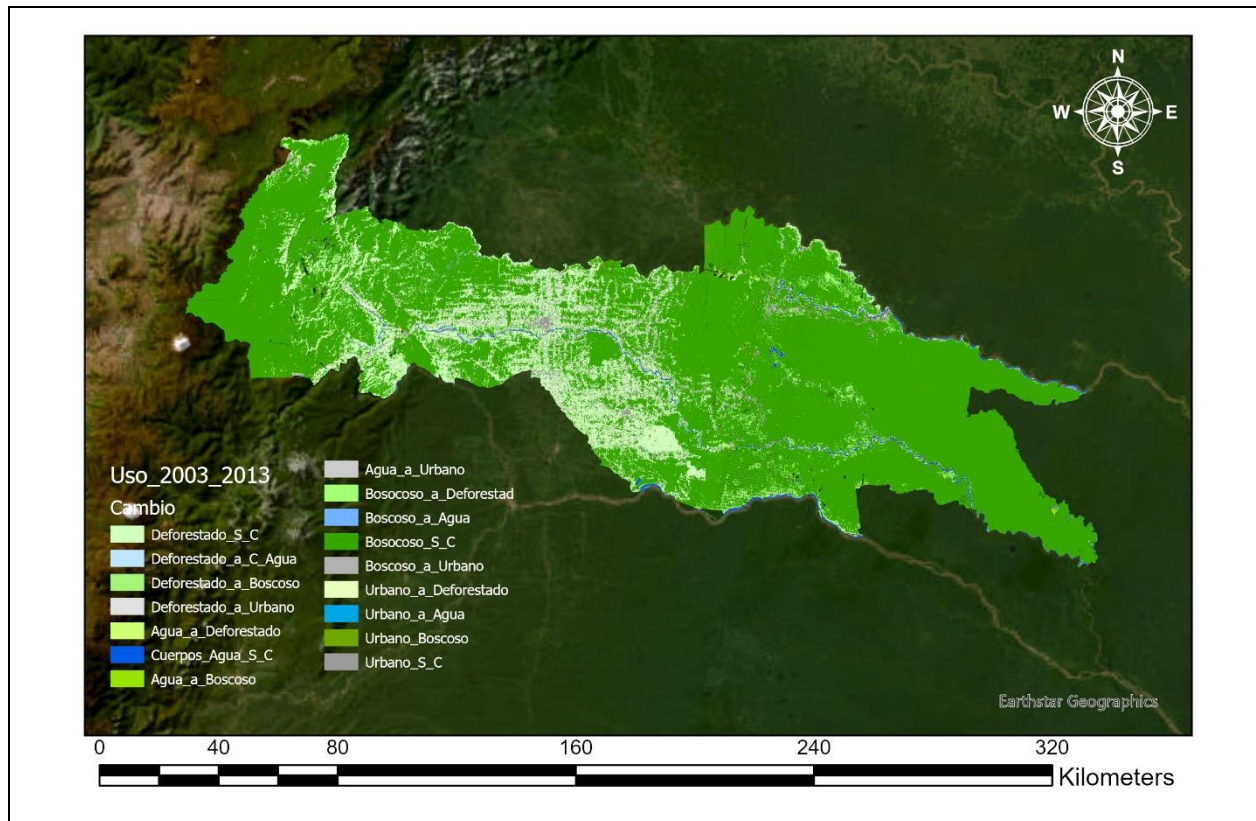
Desde el punto de análisis numérico se obtuvo un aumento de las áreas deforestadas en 337180 ha desde el año 2003 al año 2023, de esta manera también se ve una disminución significativa en cuanto a los espacios de cobertura vegetal, siendo un valor de 1352860 hectáreas a las que se han disminuido desde el año de análisis inicial (2003), entendiéndose que en el trayecto de 20 años el uso de suelo en toda la provincia ha estado direccionado más a la deforestación de áreas boscosas, lo cual es respuesta a las diferentes actividades antropogénicas que se llevan a cabo en Sucumbíos, también pueden existir otros factores que influenciaron esta transición, como migración, explotación minera, cambio climático, entre otros

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.4 Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2003-2013:

Tabla 13.- Uso De Suelo para el periodo 2003-2013



Para el periodo de cambio de uso de suelo de 2003 a 2013 se obtuvieron 7 valores de importancia, desde el punto de vista ambiental, que las áreas de cobertura vegetal se preserven es de mayor importancia antes que otros cambios, por ello de color verde se resaltaron las áreas que de cierta manera representan un valor positivo son 4 clasificaciones en las cuales 123 777 ha fueron de zonas deforestadas que se mantuvieron sin cambio en el transcurso de 10 años, 42 775 ha de zonas que se regeneraron, 1 277 850 ha de cobertura vegetal que no fue afectada en diez años y 13 760 ha de zonas urbanas que pasaron a ser áreas con cobertura vegetal. En cuanto a los valores negativos existen tres cambios resaltados en amarillo, 162 620 ha de cobertura vegetal que paso a ser deforestado, 17 112 ha que pasaron a ser construcciones y 40 729 ha que de áreas urbanas pasaron a ser zonas deforestadas.

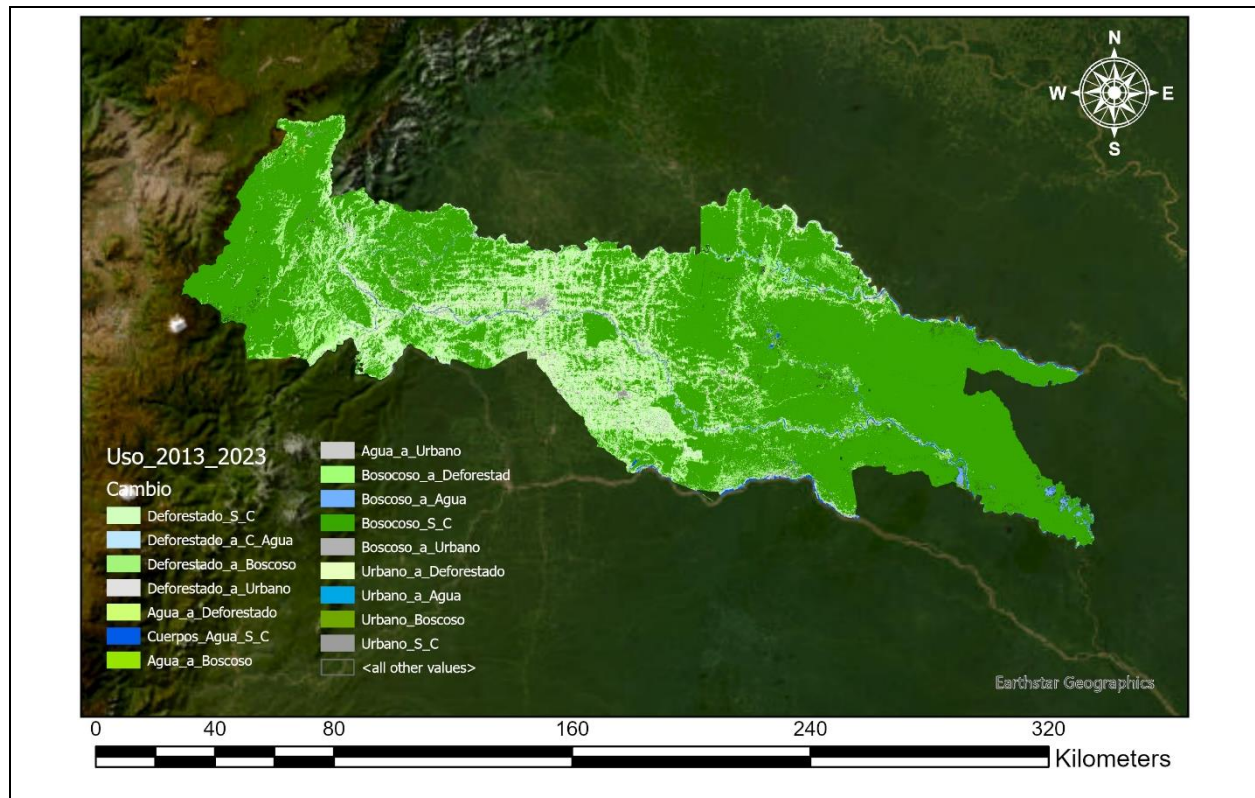
Mapa uso de suelo del año 2003 al año 2013		
Color	Tipo de cambio	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	123 777
	Deforestado a Cuerpos de Agua	1 276
	Deforestado a Boscoso	42 775
	Deforestado a Urbano	14 345
	Agua a Deforestado	1 669
	Cuerpos Agua Sin Cambio	14 771
	Agua a Boscoso	1 997
	Agua a Urbano	2 303
	Boscoso a Deforestado	162 620
	Boscoso a Cuerpos de Agua	7 048
	Boscoso Sin Cambio	1 277 850
	Boscoso a Urbano	17 112
	Urbano a Deforestado	40 729
	Urbano a Cuerpos de Agua	1 835
	Urbano a Boscoso	13 760
	Urbano Sin Cambio	15 288

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.5 Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2013-2023:

Tabla 14.- Uso De Suelo para el periodo 2013-2023



En el periodo 2013-2023 se han encontrado nuevamente 7 cambios de suelo que son necesarios de analizar, para este periodo de diez años la cobertura vegetal alcanzo un valor de 78 223, 3 ha deforestadas, 18 240 ha del suelo de Sucumbíos pasaron de una etapa de construcción a una etapa de deforestación y el último de los cambios negativos fueron la transición de áreas con cobertura vegetal a suelos urbanizados con un área de 11 033 ha. Sin embargo, existen otros cambios a mencionar que también tiene representatividad como lo son las áreas deforestadas que no tuvieron ninguna variación, el total analizado de áreas deforestadas sin cambio fue de 150 591 ha, posterior se encuentran las áreas urbanas que tuvieron un cambio de 1 1403,4 ha a zonas boscosas y por último un total de 1 391 110 ha de cobertura vegetal que permaneció sin ningún cambio.

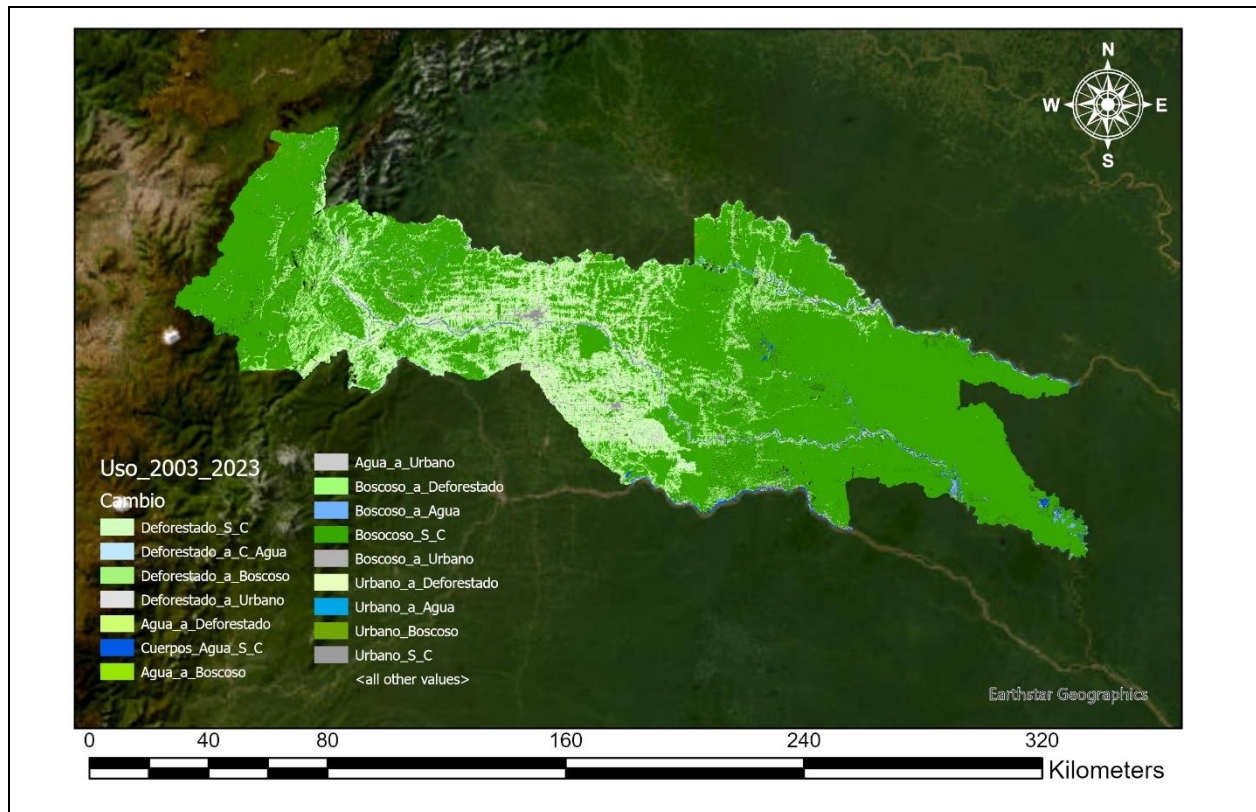
Mapa uso de suelo del año 2013 al año 2023		
Color	Tipo de cambio	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	150 591
	Deforestado a Cuerpos de Agua	450,84
	Deforestado a Boscoso	27 240,5
	Deforestado a Urbano	5 449,65
	Agua a Deforestado	1 605,69
	Cuerpos Agua Sin Cambio	1 3926,8
	Agua a Boscoso	3 803,03
	Agua a Urbano	1 080,45
	Boscoso a Deforestado	78 223,3
	Boscoso a Cuerpos de Agua	1 689,61
	Boscoso Sin Cambio	1 391 110
	Boscoso a Urbano	11 033
	Urbano a Deforestado	18 240
	Urbano a Cuerpos de Agua	1 473,43
	Urbano a Boscoso	1 1403,4
	Urbano Sin Cambio	40 890,8

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

4.6 Cambio De Uso De Suelo para el periodo 2003-2023:

Tabla 15.- Uso De Suelo para el periodo 2003-2023



Visualmente este es el mapa que mayor representatividad en cuanto a cambio de uso de suelo tiene a comparación a los anteriores dos periodos de años analizados y pues esto se debe a que es una base de cálculo de 20 años la que esta implementada en el intersepto de los dos años de estudio, entre 2003 al 2023. En cuanto al análisis numérico tenemos tres categorías negativas y cuatro que pueden tomarse como positivas o neutras, dentro de los cambios negativos hablando desde un punto de protección del ambiente encontramos que 1 537 610 ha han sido deforestadas, 339 937 ha de suelo urbano pasaron a ser deforestadas y 152 141 suelos con cobertura vegetal pasaron a ser suelo urbanizado, sin embargo 1 448 680 ha deforestadas no incrementaron en ningún valor, 831 549 ha fueron reforestadas y 125 248 ha con cobertura vegetal siguieron iguales.

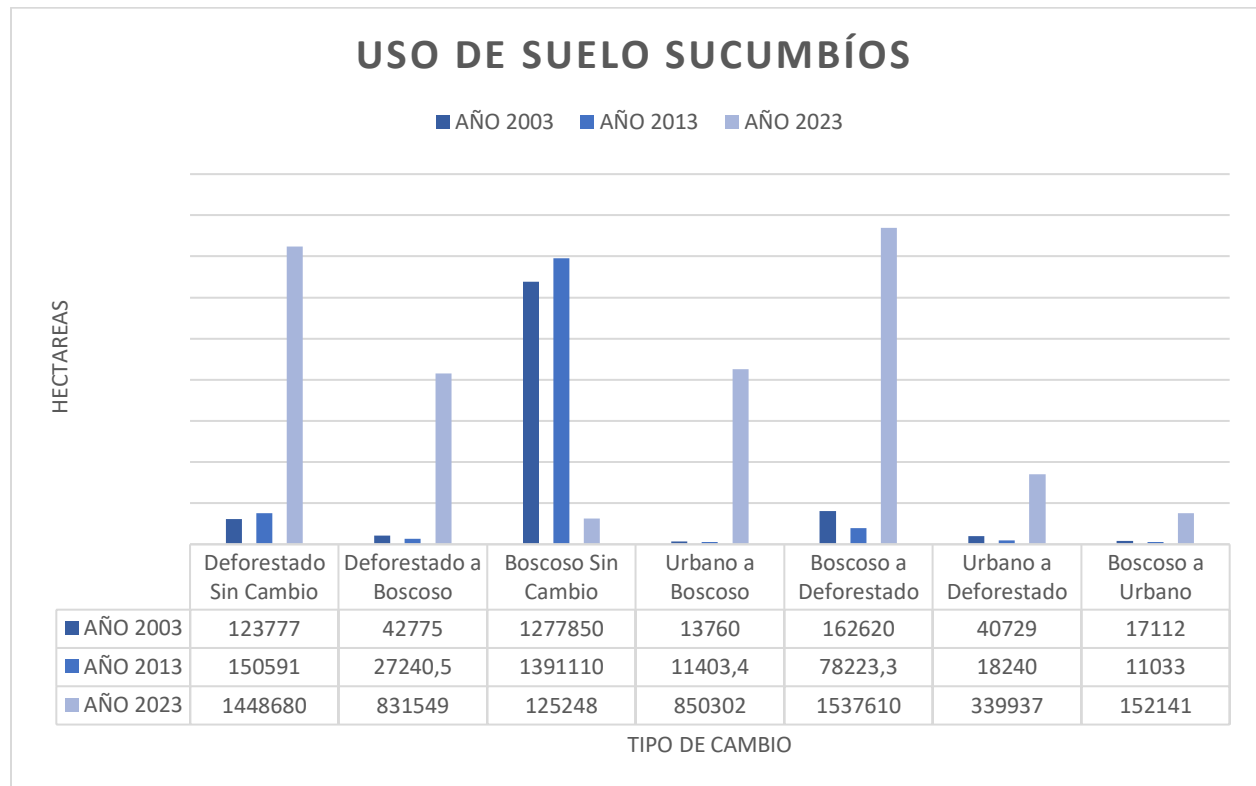
Mapa uso de suelo del año 2003 al año 2023		
Color	Tipo de cambio	Área en Hectáreas
	Deforestado Sin Cambio	1 448 680
	Deforestado a Cuerpos de Agua	265 891
	Deforestado a Boscoso	831 549
	Deforestado a Urbano	175 199
	Agua a Deforestado	150 544
	Cuerpos Agua Sin Cambio	146 903
	Agua a Boscoso	145 496
	Agua a Urbano	266 879
	Boscoso a Deforestado	1 537 610
	Boscoso a Cuerpos de Agua	823 457
	Boscoso Sin Cambio	125 248
	Boscoso a Urbano	152 141
	Urbano a Deforestado	339 937
	Urbano a Cuerpos de Agua	190 441
	Urbano a Boscoso	850 302
	Urbano Sin Cambio	143 026

Elaborado por. – El autor (2023).

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

A continuación, se adjunta el gráfico de barras correspondiente a la variación en los cambios de uso de suelo en la provincia de Sucumbíos.

Ilustración 7.- Gráfico de barras area (ha) VS cambio uso de suelo



Elaborado por. – El autor (2023).

En el anterior gráfico están expresados los valores mencionados en las tablas 13, 14 y 15, desde otra perspectiva se puede analizar que el año que mayor efectos de cambio en cuanto al uso de suelo ha sido para el periodo 2003-2023, en 20 años un gran área de cobertura vegetal ha sido afectada y ha pasado a ser una zona deforestada al igual que gran parte de las zonas deforestadas se han mantenido sin cambio, llevando estos resultados a una problemática ambiental; en el sentido que en el transcurso de 20 años la provincia de Sucumbíos no ha podido preservar el ecosistema y ha permitido que actividades antropogénicas deterioren las áreas de cobertura vegetal.

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

4.7 Deforestación anual bruta para los períodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023:

A parte del análisis elaborado en el software ArcGIS y la matriz de transición, los valores de deforestación simulados fueron usados para el cálculo de la deforestación anual bruta, esta fórmula tomo de referentes los valores de áreas calculadas en las clasificaciones supervisadas más no en los intersechos, por ende, la variación de rangos a comparación a la ilustración anterior (ilustración 7). Los valores obtenidos para los diferentes periodos de años se muestran a continuación.

- En el periodo 2003 al 2013 se calculó una deforestación bruta de 3609 hectáreas.
- En el periodo 2013 al 2023 se calculó una deforestación bruta de 10290 hectáreas.
- En el periodo 2003 al 2023 se calculó una deforestación bruta de 6949,5 hectáreas.

Tabla 16 Áreas para los diferentes periodos

ÁREAS PERIODO 2003-2013			
<i>FID</i>	<i>SHAPE</i>	<i>GRIDCODE</i>	<i>AREA</i>
0	POLYGON	1	22973,8
1	POLYGON	2	1491850
2	POLYGON	3	185189
3	POLYGON	4	73453,7

ÁREAS PERIODO 2013-2023			
<i>FID</i>	<i>SHAPE</i>	<i>GRIDCODE</i>	<i>AREA</i>
0	POLYGON	1	21848,3
1	POLYGON	2	1455760
2	POLYGON	3	252944
3	POLYGON	4	60353,3

ÁREAS PERIODO 2003-2023			
<i>FID</i>	<i>SHAPE</i>	<i>GRIDCODE</i>	<i>AREA</i>
0	POLYGON	1	30430,9
1	POLYGON	2	1352860
2	POLYGON	3	337180
3	POLYGON	4	51661,2

Elaborado por. – El autor (2023).

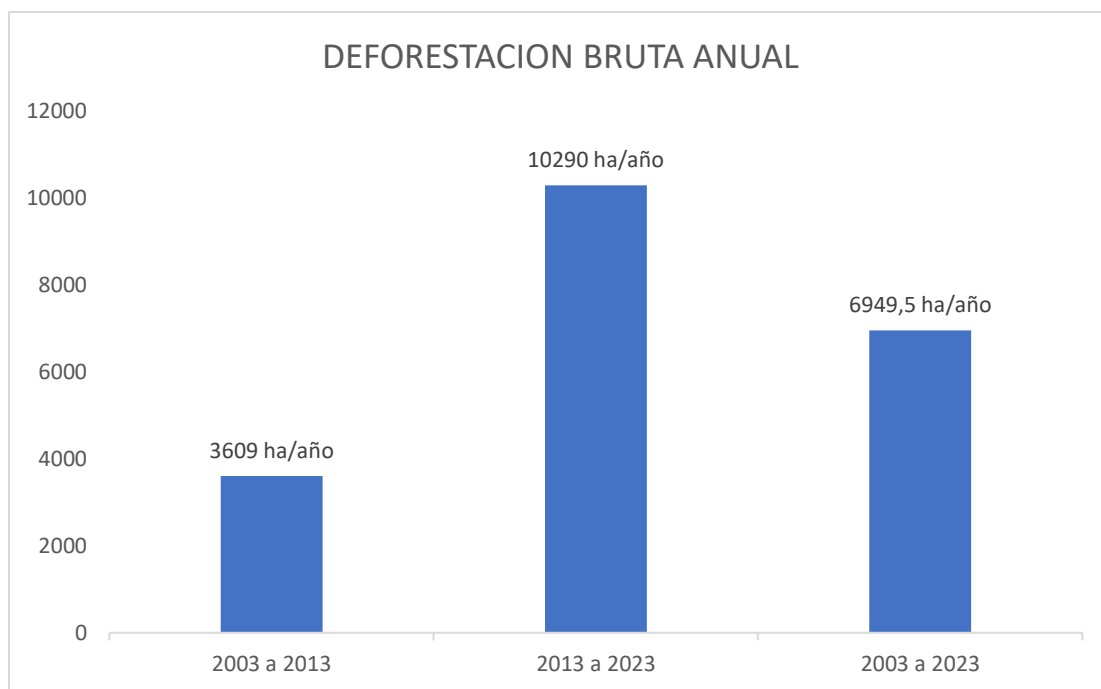
En esta tabla hay que tener en cuenta que para los periodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

2023 el “gridcode” numerado 2 es el valor en hectáreas con el que se trabajó para realizar el cálculo de la ecuación 1 y ecuación 2. De esta manera los resultados obtenidos fueron transformados en el gráfico de barras (Deforestación Bruta) que se presenta a continuación, donde se tiene periodo de años versus hectáreas.

Para estos resultados se elaboró un gráfico en el cual se pueden comparar los tres diferentes periodos y las áreas que componen su deforestación bruta.

Ilustración 8.- Gráfico de barras deforestación por año



Elaborado por. – El autor (2023).

En cuanto a la deforestación bruta, se puede observar que en el periodo de estudio entre 2013-2023 este valor fue más el representativo a comparación de los otros dos periodos, sin embargo, la deforestación bruta puede estar elevada en este periodo más que en los otros, por el hecho de que el mapa del año de 2013 fue el que mayoritariamente necesito de rellenos de pixeles en diversas zonas que se catalogaron como deforestadas. Despreciando que hayan o no sido rellenas diferentes áreas dentro de los mapas el periodo de estudio de 2003 a 2013 presenta una deforestación bruta de 3609 hectáreas, para el periodo de 2013 a 2023 existe un valor de 10290

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

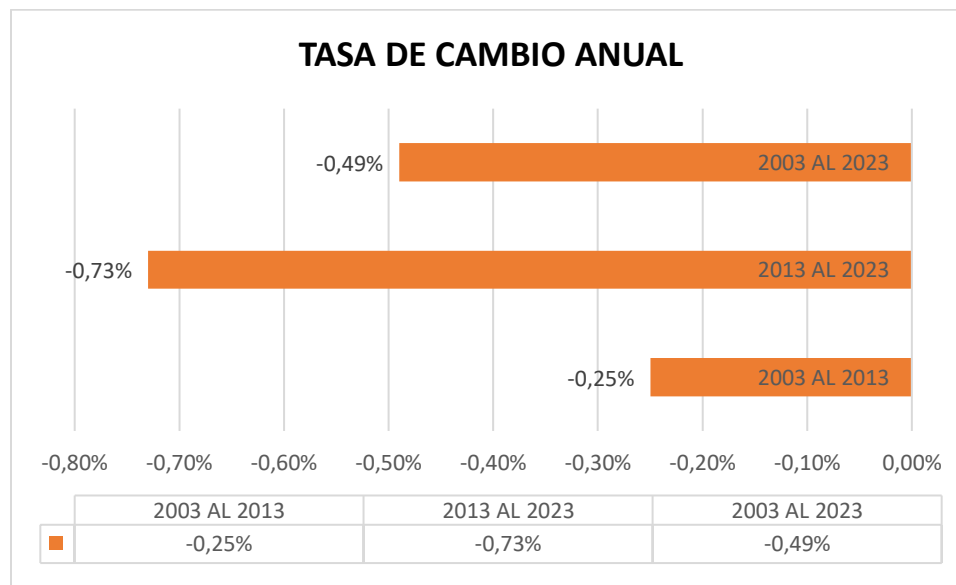
hectáreas y por último el análisis del periodo 2003 al año 2023 con una deforestación bruta de 6949,5 hectáreas.

4.8 Tasa de cambio anual para los períodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023 en porcentaje:

La fórmula empleada para calcular la tasa de cambio anual no presentaba un resultado en porcentaje sin embargo en la misma referencia hace mención que al multiplicarlo por cien, se obtiene de manera inmediata el valor en porcentaje de la tasa de cambio anual. Al igual que la deforestación anual bruta se usaron los datos de la tabla 16, de esta manera se obtuvieron 3 diferentes valores.

- En el periodo 2003 al 2013 se calculó una tasa de cambio de $(-2,4457 \times 10^{-3}) \times 100 = -0,25\%$
- En el periodo 2013 al 2023 se calculó una tasa de cambio de $(-7,3045 \times 10^{-3}) \times 100 = -0,73\%$
- En el periodo 2003 al 2023 se calculó una tasa de cambio de $(-4,8781 \times 10^{-3}) \times 100 = -0,49\%$

Ilustración 9.- Tasa de cambio de uso de suelo anual



Elaborado por. – El autor (2023).

En el periodo 2003 al 2013 se calculó una tasa de cambio de -0,25%, indicando que en el periodo de 10 años comprendido entre 2003 y 2013, hubo una disminución en el valor de cobertura

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

vegetal, esto quiere decir que de las hectáreas iniciales se les restó el 0,25%, mientras que para el periodo de 2013 al 2023 se calculó una tasa de cambio de -0,73% en el transcurso de 10 años también, hubo una disminución en el valor de cobertura vegetal equivalente a un 0,73%. Para finalizar en el periodo de 2003 al 2023 se calculó una tasa de cambio de -0,49%, en este caso, se analizó el periodo completo de 20 años, desde 2003 hasta 2023, calculándose una disminución del valor de áreas boscosas en un 0,49%.

Después de haber investigado diferentes estudios relacionados al uso de suelo y las técnicas que son empleadas para tener un análisis efectivo y más acercado a la realidad, se presentaron los diferentes resultados obtenidos mediante diferentes metodologías. Principalmente se pudo evidenciar el cambio que se ha tenido el uso del suelo en la provincia de Sucumbíos a lo largo de un análisis de 20 años, los cuales se dividieron en tres etapas. La etapa principal en años para el estudio fue desde el año 2003 al año 2013 donde 185189 hectáreas fueron clasificadas como de zonas deforestadas, la segunda etapa o temporada de análisis fue del año 2013 al año 2023 en la cual aumento a 252944 hectáreas deforestadas con respecto a los diez años de análisis anteriores, sin embargo, el numero alarmante es el del periodo 2003-2023 donde el área de suelo deforestado incremento a 337180 hectáreas lo cual dividiéndose para cada uno de los 20 años nos da un valor de 16859 hectáreas que fueron deforestándose desde el año 2003, este análisis se realizó en base al estudio realizado por Choi, H.U. (2022) en "Degradación física forestal basada en teledetección y métricas del paisaje: Evaluación de dos décadas en el Corredor Biológico Gishwati-Mukura en Ruanda, África Oriental-Central" en el cual una vez obtenidas las imágenes satelitales para los diferentes años de estudio, se procedieron a utilizar dos herramientas fundamentales como lo fueron QGis (se repararon las imágenes bandeadas) y ArcGIS Pro (clasificación supervisada y transecto de mapas), solo así se pudo obtener resultados visuales y a su vez estadísticos de las

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

diferentes zonas que han sido modificadas en base a su uso a lo largo de 20 años.

En cuanto a la clasificación supervisada que se realizó con el software ArcGIS Pro (tabla 10, tabla 11 y tabla 12) se pudo representar en sí cuatro clasificaciones de suelo para los años 2003, 2013 y 2023, visualmente el cambio que ha tenido el suelo en cada uno de los mapas es notable; no obstante, los valores estadísticos tuvieron cierta variación debido a que las imágenes para los años 2003 y 2013 contenían muchos errores y falta de información debido a los satélites que capturaron las fotos en los respectivos años, al presentarse el bandeamiento en los diferentes mapas fue de mucha necesidad el uso de herramientas de corrección, las cuales simulaban o rellenaban los espacios a criterio de la sistematización del programa QGis, haciendo que espacios que contenían alguna estructura sean catalogados como áreas deforestadas o a su vez áreas boscosas inclusive como cuerpos de agua, por esa razón el año 2013 tiene valores más altos en cuanto a las áreas de cobertura vegetal, áreas deforestadas y áreas urbanas. Sin embargo, para efectos del presente estudio, si fueron de utilidad en su mayoría los valores arrojados por las clasificaciones supervisadas para cada año.

Aunque ya se habían obtenido las diferentes clasificaciones para los tres años de estudio fue necesario intersecar los mapas en periodos distintos, con las clasificaciones realizadas anteriormente se desarrolló una matriz de transición en la cual se comparaban valores para los periodos 2003 a 2013, otra matriz para el periodo 2013 a 2023 y una última para comparar los años 2003 a 2023. La herramienta “Intersect” se encargó de cruzar los valores de las diferentes matrices para generar tres diferentes mapas que tanto estadística como visual mostraban el cambio de uso de suelo, la manera en la que se representó el cambio de uso de suelo fue mediante 16 clasificaciones (*Deforestado Sin Cambio, Deforestado a Cuerpos de Agua, Deforestado a Boscoso, Deforestado a Urbano, Agua a Deforestado, Cuerpos Agua Sin Cambio, Agua a*

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Boscoso, Agua a Urbano, Boscoso a Deforestado, Boscoso a Cuerpos de Agua, Boscoso Sin Cambio, Boscoso a Urbano, Urbano a Deforestado, Urbano a Cuerpos de Agua, Urbano a Boscoso y Urbano Sin Cambio), como se muestra en las tablas 13, 14 y 15 el programa simuló diferentes áreas en hectáreas para cada clasificación, 16 clasificaciones involucran muchos valores de analizar, por ello y para cumplir con los objetivos de este estudio únicamente se analizaron los valores que desde un punto ambiental representarían un impacto positivo como negativo, por esta razón especialmente se hizo énfasis en las 7 categorías (Deforestado Sin Cambio, Deforestado a Boscoso, Boscoso a Deforestado, Boscoso Sin Cambio, Boscoso a Urbano, Urbano a Deforestado y Urbano a Boscoso), su gráfico se encuentra en la (Ilustración 7) donde se puede observar que el tipo de cambio que mayor hectáreas ha comprendido ha sido la transición de cobertura vegetal a una zona deforestada abarcando un total de 1537610 hectáreas.

Por último, en este estudio se calcularon dos valores finales, el primero fue la deforestación bruta anual para los tres diferentes años, donde el periodo con mayor deforestación fue entre 2013 a 2023, aquí es donde la reparación de imágenes tuvo un poco de interferencia en cuanto a demostrar resultados acercados a la realidad, ya que en el periodo de 2003 a 2023, un trayecto de 20 años presenta un valor menor de tan solo 6949,5 hectáreas en cuanto a deforestación bruta a comparación del periodo 2013-2023 (10 años) que obtuvo un valor de 10290 hectáreas de deforestación bruta, en resumen este valor puede depender de dos factores; la corrección de los mismos mapas creo estimaciones de datos elevadas para el periodo 2013-2023 o bien entidades y planes de control ambiental tuvieron éxito en su planeamiento territorial protegiendo y regenerando diferentes espacios deforestados.

Los datos presentados en este estudio están basados en imágenes obtenidas de portales legales y con propósitos de búsqueda, indagación, estudio y análisis sistemático de información,

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBÍOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

de igual manera se han usado programas con licencia de desarrollador vigente, añadiendo que los parámetros usados fueron referentes a estudios en zonas parecidas a las de la provincia de Sucumbíos, sin embargo la variación de resultados está ligada a la calidad de imagen obtenida, ya que muchos espacios fueron simulados para obtener la mayor cantidad de datos.

Finalmente se puede decir que el cambio de uso de suelo en la provincia de Sucumbíos ha ido incrementando cada año que ha pasado desde el 2003, son muy pocas las zonas que han permanecido iguales que el año base de estudio, y es razonable pues por factores antropogénicos en especial industriales como minería y petroleras han hecho que tanto gente migre a la provincia en búsqueda de nuevas oportunidades como el apoderamiento de los diferentes recursos naturales.

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

5 CONCLUSIONES

- Mediante el uso de dos softwares (ArcGIS Pro y QGis) se logró obtener de una manera visual y estadística el cambio de uso de suelo que se ha dado en el transcurso de 20 años en la provincia de Sucumbíos.
- Se aplicaron herramientas SIG para la corrección y preparación de mapas que venían con fallas y vacíos informáticos por efecto de satélites mal calibrados en los años 2003 y 2013.
- Se generó la proyección de uso de suelo en tres diferentes periodos comprendidos entre 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2023, basándose en imágenes Landsat 7, 8, OLI/TIRS de los años 2003, 2013 y 2023.
- Se desarrolló dos diferentes tipos de clasificaciones para los tres años de estudio, la primera clasificación fue la no supervisada y la segunda la supervisada, por resultados más acercados a la realidad se optó por basarse únicamente en la clasificación supervisada, creando para ella 4 diferentes clasificaciones, que demostraron cual fue el cambio con respecto a los 20 años de estudio.
- Se diseñó una matriz de transición para poder intersecar los mapas en tres periodos diferentes, de tal manera que el uso de suelo para los periodos 2003-2013, 2013-2023 y 2003-2013 fue visible y cuantificable.
- Se aplicaron ecuaciones estadísticas (Deforestación Bruta Anual y Tasa De Cambio Anual) para identificar la tasa de cambio de deforestación y la deforestación bruta entre el periodo 2003-2023.
- Mediante la comparación grafica de resultados se logró comparar dos metodologías (Mapa Uso De Suelo y Aplicación De Ecuaciones Estadísticas) para el cambio de uso de suelo

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

en la provincia de Sucumbíos.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda para este tipo de estudios que son basados en imágenes satelitales y que de ellas dependerá un cálculo de píxeles, obtener las imágenes con mayor calidad posible, tomando en cuenta reducir porcentaje de nubosidad, que las imágenes no estén bandeadas y que la escala sea la adecuada para el proyecto escogido.
- Cuando se va a realizar un análisis supervisado mediante ArcGIS Pro se recomienda seleccionar áreas de entrenamiento en las cuales específicamente se va a colocar los puntos para el análisis, de tal manera, el mismo programa se encarga de tomar los datos de pixel y simularlos lo mas real posible.
- Al momento de trabajar con diferentes imágenes satelitales es importante tener en cuenta el numero de bandas y los bits en los que cada imagen está trabajando, para que al momento de hacer una unión entre imágenes no se presente ningún error de compatibilidad entre ambas imágenes.

7 BIBLIOGRAFÍA

ArcGis Pro (s.f). Introduccion a ArcGIs Pro. Obtenido de: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/get-started/introducing-arcgis-pro.htm#:~:text=ArcGIS%20Pro%20es%20una%20aplicaci3n%20basada%20en%20cintas.,acoplables%29%20que%20se%20pueden%20abrir%20cuando%20se%20necesitan.>

Bovolo, F., & Bruzzone, L. (2007). A novel approach for change detection based on the fusion of multitemporal and multiscale data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(7), 2032-2042. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.894286>

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. (2004). Review article digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9), 1565-1596. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/238553395_Digital_Change_Detection_Methods_in_Ecosystem_Monitoring_A_Review/link/09e4150cefe5a1d95c000000/download

Dinámica EGO. (2022). What is Dinamica EGO. Obtenido de: <https://csr.ufmg.br/dinamica/>

Escobar, J. (2017). Breve Introduccion a Quantum GIS.

EOSData (2021). Teledeteccion satelital: Tipos, usos y aplicaciones. Obtenido de: <https://eos.com/es/blog/teledeteccion/>

FAO. (2023). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Obtenido de: <https://www.fao.org/home/es>

Farnum, R. L., & Murillo, M. V. (2019). Identifying changes in land cover using multitemporal satellite imagery. In L. A. Kapustka (Ed.), *Environmental risk assessment of soil contamination* (pp. 277-298). CRC Press. Obtenido de: <https://isprs-annals.copernicus.org/articles/VI-3-W1-2020/83/2020/isprs-annals-VI-3-W1-2020-83-2020.pdf>

Fernández-gallego, J. A., & García-Ferrer, A. (2004). Imágenes Panorámicas: Una herramienta para el análisis de los cambios del uso del suelo. *Investigaciones Geográficas*, (35), 63-81. <https://doi.org/10.14198/INGEO2004.35.05>

Fontaine, G. (2003). Petróleo y desarrollo sostenible en Ecuador. *RISPERGRAF*.

GADSucumbios. (2019). Actualizacion del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno autonomo descentralizado provincial de sucumbios. Obtenido de <https://www.sucumbios.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/PDOT-GADPS-2019-2023-final.pdf>

González, F. J., Torres, M. A., & Alonso, M. C. (2016). Procesamiento de imágenes de teledetección: Métodos y aplicaciones. Univ Santiago de Compostela. Obtenido de: https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf

Guerrero, R. (2012). Aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la Zonificación Agroecológica Económica como herramienta para el Ordenamiento Territorial: caso de aplicación en la provincia de Sucumbíos.

Guevara Rúales, E. R. (2021). Proyección del cambio de uso del suelo en la cuenca del río mira: Una visión a los años 2037 y 2100 [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Recuperado de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10828>

Gevaert, C. M., & Canters, F. (2016). Accuracy assessment of a new generation of high-resolution satellites in urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 184, 271-286. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.06.013>

CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003 A 2023

Jensen, J. R. (2005). Remote sensing of the environment: An earth resource perspective. Pearson Education. Obtenido de: <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA68540517&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=15230406&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon%7E8c6964c3&aty=open-web-entry>

Jurado, M. A. (Octubre de 2021). Impacto de la inversión pública en las dinámicas de la deforestación en la provincia de Sucumbíos (2007-2019). Obtenido de <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/17992/2/TFLACSO-2021MAJM.pdf>

Liu, Y., He, Y., & Xiao, P. (2019). Research on the fusion of multi-source remote sensing images based on deep learning. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 279(1), 012089. doi: 10.1088/1755-1315/279/1/012089. Obtenida de: <http://sendimage.whu.edu.cn/en/wp-content/uploads/2021/03/2020-Deep-learning-in-environmental-remote-sensing-Achievements-and-challenges.pdf>

Lu, D., Li, G., Moran, E., & Hetrick, S. (2017). Remote sensing and GIS for ecological studies. Springer. Obtenido de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-022-00315-z>

MTOP. (2016). Amazonia un destino turístico. Obtenido de: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/RE_MTOP_300116_amazonia_un_destino_eco_turistico.pdf

Muñoz, F., Rodríguez, P., & Romero, A. (2017). La cartografía temática en el análisis multitemporal de cambios. Revista Geográfica de Valparaíso, (48), 101-115. Obtenido de: https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/wpcontent/uploads/filebase/articulos_técnicos/cartografia-tematica.pdf

Navarro, J. A. (2019). Análisis multitemporal de la cobertura del suelo. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Obtenido de: https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/9291/Analisis_multitemporal_del_uso_cobertura.pdf?sequence=4&isAllowed=y.

Pineda, O. (Septiembre de 2011). ANÁLISIS DE CAMBIO DE USO DE SUELO MEDIANTE PERCEPCIÓN REMOTA EN EL MUNICIPIO DE VALLE DE SANTIAGO. Obtenido de

<https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/41/1/21-2011-Tesis-Pineda%20Pastrana%2C%20Oliva-Maestra%20en%20Geom%C3%A1tica.pdf>

Puyravaud, J. P. (2003). Standardizing the calculation of the annual rate of deforestation. *Forest ecology and management*, 177(1-3), 593-596. Obtenido de: [https://sci-hub.hkvisa.net/10.1016/s0378-1127\(02\)00335-3](https://sci-hub.hkvisa.net/10.1016/s0378-1127(02)00335-3)

Richards, J. A., & Jia, X. (2006). Remote sensing digital image analysis: An introduction. Springer Science & Business Media. Obtenido de: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-30062-2>

Rojas, C. (2018). Uso De Imágenes Proporcionadas Por Los Satélites Sentinel-2 Y Landsat 8 Para La Generación De Cartografía Temática En La Prevención Del Riesgo De Incendio Forestal Teniendo En Cuenta La Vegetación Y Temperatura En El Municipio De Cota Cundinamarca.

Sanchez, J., & Reyes, H. (2018). Impact of land use cover change on protected natural areas in central region of Sierra Madre Oriental, Mexico. Scielo.

Toribio, G. (2020). Cursos teledeteccion . Obtenido de Clasificación no supervisada

**CAMBIO DE USO DE SUELO EN LA PROVINCIA DE SUCUMBIOS ENTRE LOS AÑOS 2003
A 2023**

en QGIS 3: <https://www.cursosteledeteccion.com/clasificacion-no-supervisada-en-qgis-3/>
USGS, (s.f.). Servicio Geológico de estados unidos. Obtenido de: <https://www.usgs.gov>