



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DE COBERTURA DE USO DE SUELO MEDIANTE LOS DATOS  
SATELITALES DE IMÁGENES LANDSAT 7 Y 8 PARA LA REGIÓN  
AMAZÓNICA DEL ECUADOR ENTRE LOS AÑOS 2000 AL 2022**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del  
Título de Ingenieros Ambientales

**AUTORES: WESTER STEVE CHUMAÑA CABASCANGO  
CRISTIAN EFRAÍN QUINAUCHO LEÓN**

**TUTOR: CÉSAR IVÁN ÁLVAREZ MENDOZA**

Quito - Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Wester Steve Chumaña Cabascango con documento de identificación N° 1724912546 y Cristian Efraín Quinaucho León con documento de identificación N° 1725166381 manifestamos que:

Somos autores responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 17 de agosto del año 2023

Atentamente,



---

Cristian Efraín Quinaucho León  
1725166381



---

Wester Steve Chumaña Cabascango  
1724912546

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Wester Steve Chumaña Cabascango con documento de identificación No. 1724912546 y Cristian Efraín Quinaucho León con documento de identificación No. 1725166381, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Análisis de cobertura de uso de suelo mediante los datos satelitales de imágenes Landsat 7 y 8 para la región amazónica del Ecuador entre los años 2000 al 2022”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de agosto del año 2023

Atentamente,



---

Cristian Efraín Quinaucho León  
1725166381



---


Wester Steve Chumaña Cabascango  
1724912546

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, César Iván Álvarez Mendoza con documento de identificación N° 1720100922, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE COBERTURA DE USO DE SUELO MEDIANTE LOS DATOS SATELITALES DE IMÁGENES LANDSAT 7 Y 8 PARA LA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR ENTRE LOS AÑOS 2000 AL 2022, realizado por Wester Steve Chumaña Cabascango con documento de identificación N° 1724912546 y Cristian Efraín Quinaucho León con documento de identificación N° 1725166381, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de agosto del año 2022

Atentamente,



Ing. César Iván Álvarez Mendoza MSc.

1720100922

## DEDICATORIA

*Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Efraín y Mónica que siempre han estado a mi lado ayudándome y apoyándome para lograr mis metas, dándome su amor infinito, y su ejemplo a seguir, de igual manera a mis hermanas Patricia y Fernanda, ellas han estado dando su apoyo y me han enseñado que las metas que se tienen en la vida se pueden lograr, a toda mi familia les dedico todo el esfuerzo y mi trabajo.*

*Cristian Quinaucho*

*A mi querida mamá Carmen, mi hermano Byron y mi fiel compañera Lula:*

*Hoy, con profunda gratitud, quiero expresar mi sincero agradecimiento a ustedes por el apoyo incondicional que me han brindado durante todo este emocionante camino académico. Cada uno de ustedes ha sido una fuente inagotable de amor, aliento y motivación. Mamá, tu amor inquebrantable y tus palabras de aliento han sido mi faro en los momentos más oscuros. Tus sacrificios y dedicación han sido la chispa que ha impulsado mi determinación para llegar hasta aquí. Byron, hermano querido, tus palabras sabias y tu presencia siempre alentadora me han recordado que siempre puedo superar cualquier obstáculo. Tu confianza en mí ha sido un motor para alcanzar cada meta. Lula, mi leal compañera, tus lamidas de cariño y miradas tiernas han iluminado incluso mis días más estresantes. Tu amor incondicional ha sido un bálsamo en los momentos de agotamiento.*

*A mis amigos: Pamela, Gabriel, Cristian, Marjorie & Flor por las inolvidables anécdotas de vida, por ser quienes estuvieron presentes en la mayor parte de mi camino universitario alentándome en cada paso, por su apoyo y sus enseñanzas, los llevo en el corazón.*

*Hoy, esta tesis lleva el sello de cada uno de ustedes. Cada página escrita ha sido moldeada por sus consejos, comprensión y apoyo. Esta victoria también es suya, y con humildad, la dedico a cada uno de ustedes.*

*Gracias por ser mi pilar, mi familia, mis amigos y mi inspiración. Los amo con todo mi corazón.*

*Con cariño,*

*Wester Chumaña*

## **AGRADECIMIENTO**

*Damos gracias a Dios por permitirnos culminar una meta más en nuestras vidas  
Agradecemos a los Docentes que con sus conocimientos y pasión por su profesión nos  
han guiado para ser unos buenos profesionales y hacer un mundo mejor, agradecemos  
especialmente al Ingeniero Cesar Iván Álvarez Mendoza, por ser un excelente docente y saber  
guiarnos en este proceso académico y apoyarnos en el trabajo.  
Gracias a nuestras familias y amigos que han sabido animarnos en todo este proceso y  
ser un ejemplo a seguir  
Cristian & Wester.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>XVII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3 DEMARCACIÓN .....	3
1.3.1 <i>Demarcación Temporal</i> .....	3
1.3.2 <i>Demarcación Espacial</i> .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 <i>Objetivo General</i> .....	5
1.4.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
1.5 LÍNEA BASE .....	5
1.5.1 <i>Extensión</i> .....	5
1.5.2 <i>Limites</i> .....	6
1.5.3 <i>Población</i> .....	7
1.5.4 <i>Relieve</i> .....	7
1.5.5 <i>Clima</i> .....	8
<b>2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	9
2.1.1 <i>Significado fundamental del suelo</i> .....	9
2.1.2 <i>Uso de Suelo</i> .....	9
2.1.3 <i>Minería</i> .....	10
2.1.3.1 <i>Minería Artesanal</i> .....	11
2.1.3.2 <i>Pequeña Minería</i> .....	12
2.1.4 <i>Hidrocarburíferas</i> .....	12
2.1.4.1 <i>La Construcción De Vías De Acceso y la Deforestación</i> .....	13
2.1.4.2 <i>La Urbanización</i> .....	14
2.1.4.3 <i>Impactos Antrópicos en la región Amazonía</i> .....	14
2.2 TELEDETECCIÓN .....	15
2.2.1 <i>Sensores Remotos y Sistemas Satelitales</i> .....	16
2.2.2 <i>Resolución Espacial</i> .....	17
2.2.3 <i>Resolución Espectral</i> .....	17
2.2.4 <i>Resolución Temporal</i> .....	18
2.3 IMÁGENES SATELITALES .....	18
2.4 LANDSAT 7 .....	19
2.4.1 <i>Combinación de Bandas para el satélite Landsat 7</i> .....	20
2.5 LANDSAT 8 .....	21
2.5.1 <i>Combinación de Bandas para el satélite Landsat 8</i> .....	23
2.6 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES .....	23
2.6.1 <i>Errores en las Imágenes Satelitales</i> .....	24
2.6.2 <i>Corrección de Imágenes Satelitales</i> .....	24

2.6.2.1	Corrección Radiométrica.....	24
2.6.2.2	Corrección Geométrica.....	25
2.6.2.3	Calibración por Bandedo.....	25
2.6.2.4	Corrección Atmosférica.....	25
2.7	PROCESAMIENTO DE IMÁGENES SATELITALES.....	26
2.7.1	<i>Google Earth Engine</i> .....	26
2.7.2	<i>Análisis de Datos</i> .....	26
2.8	ANÁLISIS MULTITEMPORAL.....	26
2.9	CASO DE ESTUDIO DE MAPBIOMAS.....	27
2.10	ÍNDICE KAPPA.....	28
2.11	MATRIZ DE VALIDACIÓN.....	29
2.12	RANDOM FOREST.....	31
2.13	ÍNDICE DE DEFORESTACIÓN.....	31
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	MATERIALES.....	33
3.2	METODOLOGÍA.....	34
3.2.1	<i>Demarcación de la Zona de Estudio</i> .....	37
3.2.2	<i>Procesamiento de Datos Digitales</i> .....	37
3.2.2.1	Rectificación de imágenes satelitales.....	38
3.2.2.1.1	Imagen Compuesta.....	38
3.2.2.1.2	Corrección atmosférica.....	39
3.2.3	<i>Creación de Diccionarios</i> .....	39
3.2.4	<i>Elaboración de Diccionario de Objetos</i> .....	40
3.2.5	<i>Desarrollo de Panel De Bandas</i> .....	40
3.2.5.1	Tipos de categorías.....	40
3.2.5.1.1	Bosque.....	40
3.2.5.1.2	Cultivo.....	41
3.2.5.1.3	Minería.....	41
3.2.5.1.4	Infraestructura Urbana y Petróleos.....	42
3.2.5.1.5	Ríos.....	42
3.2.6	<i>Creación de Botón de Aplicar</i> .....	42
3.2.7	<i>Comando IF</i> .....	42
3.2.8	<i>Aplicación de Imagen Compuesta</i> .....	43
3.2.9	<i>Clasificación Supervisada</i> .....	43
3.2.10	<i>Cálculo del Área</i> .....	45
3.2.11	<i>Código de pieChart o Gráfico De Pastel</i> .....	46
3.2.12	<i>Matrices de Validación</i> .....	46
3.2.13	<i>VARIABLES A EVALUAR EN LA INVESTIGACIÓN</i> .....	47
3.2.13.1	VARIABLES INDEPENDIENTES.....	47
3.2.13.2	VARIABLES DEPENDIENTES.....	48
3.2.14	<i>Tasa de pérdida de cobertura de bosques</i> .....	48
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>52</b>
4.1	ESTANDARIZACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN.....	53



4.1.1	<i>Recopilación de información</i>	53
4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIABLE DE RESULTADOS DEL ÍNDICE KAPPA Y MATRIZ DE CONFUSIÓN	54
4.2.1	<i>Matriz de confusión para el año 2000</i>	55
4.2.2	<i>Matriz de confusión para el año 2005</i>	65
4.2.3	<i>Matriz de confusión para el año 2010</i>	73
4.2.4	<i>Matriz de confusión para el año 2016</i>	82
4.2.5	<i>Matriz de confusión para el año 2022</i>	90
4.3	EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE COBERTURA DE USO DE SUELO	98
4.3.1	<i>Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2000-2005</i>	98
4.3.2	<i>Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2005-2010</i>	104
4.3.3	<i>Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2010-2016</i>	109
4.3.4	<i>Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2016-2022</i>	115
4.3.5	<i>Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2000-2022</i>	121
4.4	ÍNDICE DE PÉRDIDA DE COBERTURA FORESTAL	127
4.4.1	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal Calculada en la Zona de Estudio</i>	127
4.4.1.1	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Sucumbíos en el Período 2000 – 2022.</i>	128
4.4.1.2	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Napo en el Período 2000 – 2022.</i>	130
4.4.1.3	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Orellana en el Período 2000 – 2022.</i>	131
4.4.1.4	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Pastaza en el Período 2000 – 2022.</i>	133
4.4.1.5	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Morona Santiago en el Período 2000 – 2022.</i>	134
4.4.1.6	<i>Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Zamora Chinchipe en el Período 2000 – 2022</i>	136
4.5	TASA MEDIA ANUAL DE DEFORESTACIÓN	137
4.5.1	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de Análisis 2000 - 2022</i>	137
4.5.1.1	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Sucumbíos en el Período 2000 – 2022.</i>	138
4.5.1.2	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Napo en el Período 2000 – 2022.</i>	139
4.5.1.3	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Orellana en el período 2000 – 2022.</i>	141
4.5.1.4	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Pastaza en el período 2000 – 2022.</i>	142
4.5.1.5	<i>Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Morona Santiago en el período 2000 – 2022.</i>	143

4.5.1.6 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2000 – 2022.....	145
4.6 DISCUSIÓN .....	147
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>151</b>
<b>6. BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>162</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	4
<b>Tabla 2</b> .....	19
<b>Tabla 3</b> .....	22
<b>Tabla 4</b> .....	30
<b>Tabla 5</b> .....	48
<b>Tabla 6</b> .....	49
<b>Tabla 7</b> .....	50
<b>Tabla 8</b> .....	50
<b>Tabla 9</b> .....	51
<b>Tabla 10</b> .....	51
<b>Tabla 11</b> .....	52
<b>Tabla 12</b> .....	55
<b>Tabla 13</b> .....	56
<b>Tabla 14</b> .....	65
<b>Tabla 15</b> .....	66
<b>Tabla 16</b> .....	73
<b>Tabla 17</b> .....	74
<b>Tabla 18</b> .....	82
<b>Tabla 19</b> .....	83
<b>Tabla 20</b> .....	90
<b>Tabla 21</b> .....	91
<b>Tabla 22</b> .....	99
<b>Tabla 23</b> .....	104
<b>Tabla 24</b> .....	109
<b>Tabla 25</b> .....	115
<b>Tabla 26</b> .....	121
<b>Tabla 27</b> .....	127
<b>Tabla 28</b> .....	129
<b>Tabla 29</b> .....	131
<b>Tabla 30</b> .....	132
<b>Tabla 31</b> .....	133
<b>Tabla 32</b> .....	135
<b>Tabla 33</b> .....	136
<b>Tabla 34</b> .....	137
<b>Tabla 35</b> .....	138
<b>Tabla 36</b> .....	140
<b>Tabla 37</b> .....	141
<b>Tabla 38</b> .....	142
<b>Tabla 39</b> .....	144
<b>Tabla 40</b> .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> .....	4
<i>Figura 2</i> .....	6
<i>Figura 3</i> .....	28
<i>Figura 4</i> .....	31
<i>Figura 5</i> .....	33
<i>Figura 6</i> .....	38
<i>Figura 7</i> .....	44
<i>Figura 8</i> .....	57
<i>Figura 9</i> .....	58
<i>Figura 10</i> .....	59
<i>Figura 11</i> .....	60
<i>Figura 12</i> .....	61
<i>Figura 13</i> .....	62
<i>Figura 14</i> .....	63
<i>Figura 15</i> .....	64
<i>Figura 16</i> .....	67
<i>Figura 17</i> .....	68
<i>Figura 18</i> .....	69
<i>Figura 19</i> .....	70
<i>Figura 20</i> .....	71
<i>Figura 21</i> .....	72
<i>Figura 22</i> .....	72
<i>Figura 23</i> .....	73
<i>Figura 24</i> .....	75
<i>Figura 25</i> .....	76
<i>Figura 26</i> .....	77
<i>Figura 27</i> .....	78
<i>Figura 28</i> .....	79
<i>Figura 29</i> .....	79
<i>Figura 30</i> .....	80
<i>Figura 31</i> .....	81
<i>Figura 32</i> .....	84
<i>Figura 33</i> .....	85
<i>Figura 34</i> .....	86
<i>Figura 35</i> .....	86
<i>Figura 36</i> .....	87
<i>Figura 37</i> .....	88
<i>Figura 38</i> .....	89
<i>Figura 39</i> .....	89
<i>Figura 40</i> .....	92
<i>Figura 41</i> .....	93
<i>Figura 42</i> .....	93

<i>Figura 43</i> .....	94
<i>Figura 44</i> .....	95
<i>Figura 45</i> .....	96
<i>Figura 46</i> .....	96
<i>Figura 47</i> .....	97
<i>Figura 48</i> .....	99
<i>Figura 49</i> .....	100
<i>Figura 50</i> .....	101
<i>Figura 51</i> .....	102
<i>Figura 52</i> .....	102
<i>Figura 53</i> .....	103
<i>Figura 54</i> .....	103
<i>Figura 55</i> .....	105
<i>Figura 56</i> .....	105
<i>Figura 57</i> .....	106
<i>Figura 58</i> .....	106
<i>Figura 59</i> .....	107
<i>Figura 60</i> .....	107
<i>Figura 61</i> .....	108
<i>Figura 62</i> .....	110
<i>Figura 63</i> .....	110
<i>Figura 64</i> .....	111
<i>Figura 65</i> .....	111
<i>Figura 66</i> .....	112
<i>Figura 67</i> .....	113
<i>Figura 68</i> .....	114
<i>Figura 69</i> .....	116
<i>Figura 70</i> .....	116
<i>Figura 71</i> .....	117
<i>Figura 72</i> .....	117
<i>Figura 73</i> .....	118
<i>Figura 74</i> .....	119
<i>Figura 75</i> .....	120
<i>Figura 76</i> .....	122
<i>Figura 77</i> .....	122
<i>Figura 78</i> .....	123
<i>Figura 79</i> .....	123
<i>Figura 80</i> .....	124
<i>Figura 81</i> .....	125
<i>Figura 82</i> .....	126
<i>Figura 83</i> .....	128
<i>Figura 84</i> .....	130
<i>Figura 85</i> .....	131
<i>Figura 86</i> .....	132
<i>Figura 87</i> .....	134

<i>Figura 88</i> .....	135
<i>Figura 89</i> .....	137
<i>Figura 90</i> .....	138
<i>Figura 91</i> .....	139
<i>Figura 92</i> .....	140
<i>Figura 93</i> .....	141
<i>Figura 94</i> .....	143
<i>Figura 95</i> .....	144
<i>Figura 96</i> .....	146

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> .....	162
<b>Anexo 2</b> .....	163
<b>Anexo 3</b> .....	163
<b>Anexo 4</b> .....	164
<b>Anexo 5</b> .....	164
<b>Anexo 6</b> .....	164
<b>Anexo 7</b> .....	164
<b>Anexo 8</b> .....	165
<b>Anexo 9</b> .....	165
<b>Anexo 10</b> .....	166
<b>Anexo 11</b> .....	167
<b>Anexo 12</b> .....	167
<b>Anexo 13</b> .....	168
<b>Anexo 14</b> .....	170
<b>Anexo 15</b> .....	170
<b>Anexo 16</b> .....	171
<b>Anexo 17</b> .....	171
<b>Anexo 18</b> .....	172
<b>Anexo 19:</b> .....	173
<b>Anexo 20:</b> .....	188

## **RESUMEN**

Este trabajo se basó en el análisis multitemporal de la cobertura y uso de suelo de la región amazónica del Ecuador, ya que esta región es parte de uno de los más megadiversos en Latinoamérica, y tendría que ser de suma prioridad ya que estas provincias poseen grandes hectáreas de biodiversidad en flora y fauna, con una extensión de 12000000 ha. El objetivo fue generar un análisis de cobertura vegetal en la región amazónica del Ecuador entre los años 2000 al 2022 para identificar las afectaciones por actividades hidrocarburíferas y mineras. En lo que respecta a la metodología, se dio comienzo al procesamiento de las imágenes satelitales en Google Earth Engine, mientras que para la clasificación de coberturas de uso de suelo que se planteó en nuestro trabajo, se comprobó su validez por medio de la matriz de confusión y el índice Kappa obteniendo un alto coeficiente en el año 2000 con un resultado de 0,945 y índice kappa más bajo en el año 2016 con un resultado de 0.915. Basándonos en los datos resultantes del análisis multitemporal se realizó el cálculo de la tasa de deforestación, consiguiendo así resultados del período 2000 al 2005 con la tasa de cambio del -0,099, mientras en el período 2005 al 2010 se obtuvo un valor de -0,001, mientras el período 2010 al 2016 obteniendo valor de 15,36 y por último el período 2016 al 2022 se obtuvo un valor de -15,48. De acuerdo a la información obtenida se comprobó el crecimiento de cultivos, crecimiento urbano, actividades mineras y petroleras que resultan ser las principales fuentes de disminución de cobertura vegetal.

**Palabras claves:** Google Earth Engine, Análisis multitemporal, cobertura y uso de suelo, uso de suelo, análisis de cobertura vegetal.

## **ABSTRACT**

This work was based on the multi-temporal analysis of land cover and land use in the Amazon region of Ecuador. This region is part of one of the most biodiverse areas in Latin America and should be of utmost priority, given that these provinces possess vast hectares of biodiversity in flora and fauna, covering an area of 12,000,000 hectares. The objective was to conduct an analysis of vegetation cover in the Amazon region of Ecuador from 2000 to 2022 to identify the impacts of hydrocarbon and mining activities. Regarding the methodology, the processing of satellite images in Google Earth Engine was initiated. For the classification of land use cover as proposed in our study, its validity was verified using the confusion matrix and the Kappa index, yielding a high coefficient in the year 2000 with a result of 0.945, and a lower Kappa index in the year 2016 with a result of 0.915. Based on the data resulting from the multi-temporal analysis, the deforestation rate was calculated. The results showed a rate of change of -0.099 for the period from 2000 to 2005, a value of -0.001 for the period from 2005 to 2010, a value of 15.36 for the period from 2010 to 2016, and finally, a value of -15.48 for the period from 2016 to 2022. According to the information gathered, the growth of crops, urban expansion, mining, and oil-related activities were confirmed as the main sources of vegetation cover decrease.

**Keywords:** Google Earth Engine, Multi-temporal analysis, land cover and land use, land use, vegetation cover analysis.



# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes

Este trabajo está dedicado al análisis multitemporal de las imágenes satelitales para la determinación del estado de cobertura vegetal de la región amazónica ecuatoriana para el período 2000-2022, ya que esta región presenta la mayor superficie vegetal. Este análisis se realizó sobre imágenes satelitales Landsat 7 y 8 con preprocesamiento, tratamiento, clasificación del uso de suelo y vegetación, por medio de la plataforma Google Earth Engine se realizaron mapeos (Alvarado & Espinoza, 2018).

La Amazonía ecuatoriana se encuentra entre las regiones más diversas de flora y fauna del planeta, ubicada en la región Noroeste de la Amazonía, toda la región lleva el nombre de Piamonte del Napo (Galeas et al., 2012). Los últimos años los ecosistemas forestales han sufrido cambios rápidos como resultado de diversas actividades humanas, hidrocarburíferas y mineras, dejando vulnerables los servicios ecosistémicos y las comunidades bióticas. La república del Ecuador desarrolla un límite territorial específico al que se le aplicará una planificación integral que incorpore los aspectos tanto sociales, como económicos, ambientales y culturales, mediante una planificación de un ordenamiento territorial que asegure la conservación y protección de los ecosistemas (SOT.2018), por lo que son innegables las ventajas que la humanidad adquiere de los recursos naturales., y principalmente de los ecosistemas forestales, como la regulación del clima, la captura de CO<sub>2</sub>, la recreación y más. El cambio de los ecosistemas afecta a muchos de estos servicios, provocando cambios drásticos en las dinámicas que actúan como reguladores tanto a nivel regional como global, con eventos relacionados, como el reemplazo de plantas nativas por

los cultivos, cambios en las situaciones relacionadas con el agua y los ciclos biogeoquímicos, la estructura atmosférica, que conducen a pérdida de muchas tareas y funciones de los ecosistemas (Días et al., 2018). Con esto el territorio de la Amazonía protegerá la biodiversidad de los ecosistemas de la Amazonia Ecuatoriana y los gobiernos autónomos descentralizados, adoptará una política de desarrollo sostenible para compensar aún más desigualdades en el desarrollo (Odsterritorioecuador.2016). La mayor diversidad de grupos étnicos nativos habita en las provincias de Morona Santiago, Sucumbíos, Orellana y Pastaza. Alrededor del 45% de la deforestación del país ocurrió entre 2005 y 2016 debido a una serie de actividades como la exploración petrolera, la construcción de carreteras, el acceso a mercados y la reforma agraria que están vinculadas a conflictos territoriales y patrones ancestrales cambiantes (Ospina et al., 2017).

## **1.2 Justificación**

La Amazonía del Ecuador es un territorio extenso y rico en flora y fauna silvestre, la pérdida de cobertura vegetal es una problemática que al paso de los años se ha ido aumentando y no solo debido a la misma naturaleza que ha perdido volumen en su cobertura, además, en la actualidad existen innumerables problemas ambientales nacidos de las exigencias fundamentales de los seres humanos y el progreso tecnológico es una necesidad en la actualidad y el advenimiento de estas tecnologías ambientales permiten planear resolver mejor el problema. Una de estas herramientas es la teledetección y SIG, que permiten estudiar los problemas de los sistemas ecológicos a escala espacial y temporal para obtener información y pronósticos factibles (Flores et al., 2017).

En general, a nivel global, las investigaciones semidetalladas de cambios en la cobertura de uso de suelo y cambios en la cobertura del suelo a escala regional no serán suficientes. El campo de estudio a menudo depende del interés común de científicos, sociedades y gobiernos (Ayad, 2005).

Por esta razón, este proyecto se considera muy importante ya que brindará información y datos para saber si hay un cambio en la cobertura vegetal en la región amazónica, debido a actividades humanas, como es la deforestación, agricultura, minería, incendios forestales y el cambio climático.

### **1.3 Demarcación**

#### ***1.3.1 Demarcación Temporal***

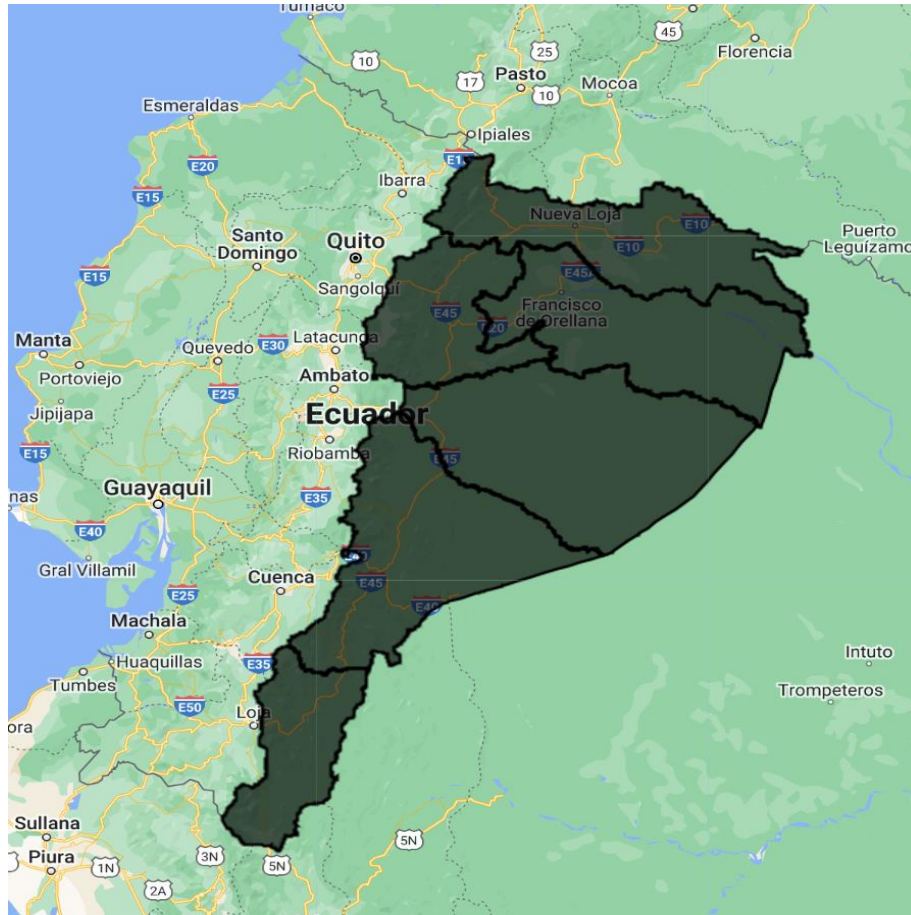
El análisis multitemporal de la región amazónica de nuestro estudio se llevó a cabo mediante imágenes obtenidas por los satélites Landsat 7 y 8 correspondientes a los años 2000, 2005, 2010, 2016, 2022.

#### ***1.3.2 Demarcación Espacial***

Las provincias de Napo, Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe, las cuales conforman un conjunto que ocupan el 45,47% del territorio del Ecuador. La concentración de la unificación de entidades político-administrativas en la provincia (cantones y parroquias urbanas o rurales) se focaliza en las regiones previamente coloniales (Morona y Zamora) y en la subregión con actividad petrolera (Sucumbíos y Orellana) (L. & Janette Ulloa, 2013).

*Figura 1*

*Mapa de demarcación espacial de las provincias de estudio*



Nota: Demarcación espacial de las provincias Fuente: Autores

**Tabla 1**

*Coordenadas correspondientes a la zona de estudio*

Provincias	Coordenadas del área de Estudio	
	Coordenadas	
Napo	0°40'00"S 77°56'00"O	
Sucumbíos	0°03'S 76°42'O	
Orellana	0°48'S 76°24'O	
Pastaza	1°42'S 76°54'O	

---

Morona Santiago	2°27'00"S 77°59'00"O
Zamora Chinchipe	4°10'00"S 78°53'00"O

---

Nota: Coordenadas zona de estudio Fuente: Autores

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Generar un análisis de cobertura vegetal en la zona de la región amazónica en el Ecuador entre los años 2000 al 2022 para identificar las afectaciones por actividades hidrocarburíferas y mineras.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar las coberturas de uso de suelo existentes en el Ecuador basado en los datos del satélite Landsat 7 y 8 para identificar las afectaciones del área de estudio.
- ✓ Desarrollar una aplicación interactiva que contenga los datos de la cobertura de uso de suelo en la región amazónica en Ecuador mediante la plataforma Google Earth Engine.
- ✓ Estimar la pérdida de la cobertura vegetal en la región Amazónica entre los años 2000 al 2022.

## **1.5 Línea Base**

### **1.5.1 Extensión**

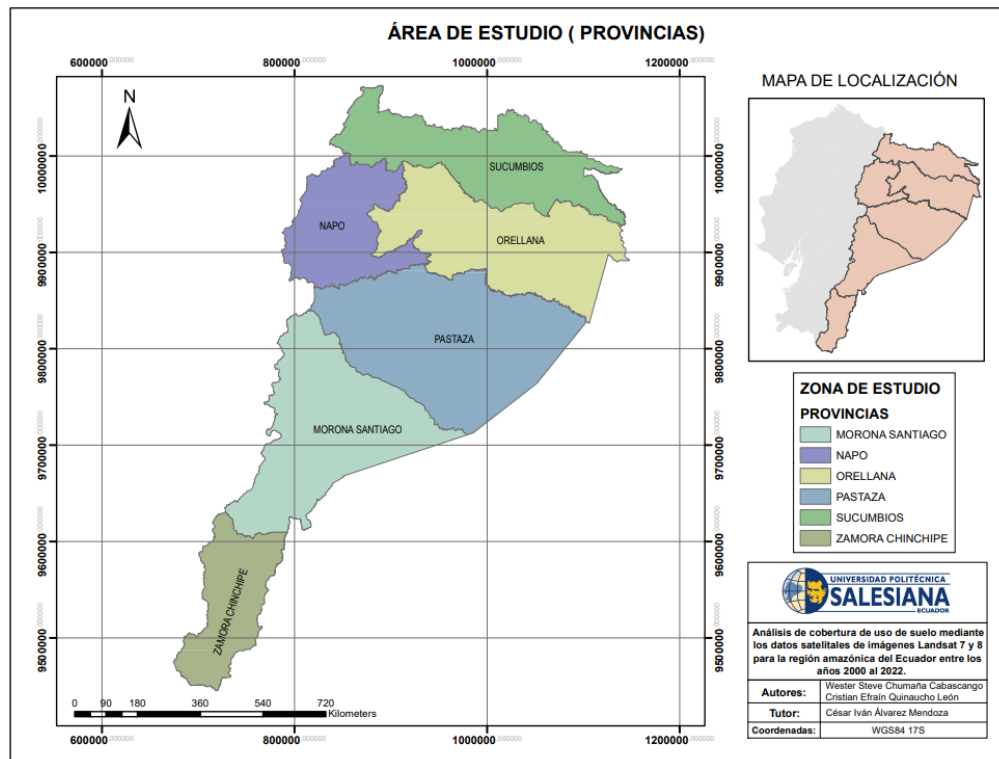
La Amazonía ecuatoriana cubre una superficie de 120.000 kilómetros cuadrados, lo que representa casi el 45% del territorio del país. Debido a la abundancia de bosques naturales y extraordinaria biodiversidad, es un ecosistema de gran interés tanto a nivel local como mundial (Martín & Pérez, 2009).

### 1.5.2 Límites

La Amazonía, tiene una extensión desde la cadena montañosa de los Andes en el lado occidental hasta los límites fronterizos con Colombia y Perú en el lado oriental, abarcando un espacio de 120.000kilómetros cuadrados (L. & Janette Ulloa, 2013).

Figura 2

Ubicación geográfica de la Región Amazónica del Ecuador



Nota: Ubicación de zonas de estudio en la Región Amazónica Fuente Autores

### **1.5.3 Población**

La población en la Amazonía ecuatoriana en el año 2000 era 548.419 habitantes (Villacís B. & Carrillo D., 2012), mientras tanto que en el año 2022 la población de la Amazonía ecuatoriana alcanza las 956.699 habitantes, con esto se puede observar que tiene un gran aumento de la densidad poblacional (Villacís B. & Carrillo D., 2012)

Las áreas geográficas de mayor concentración de habitantes incluyen Sucumbíos (con una densidad de 17,22 hab/km<sup>2</sup>) y Zamora Chinchipe (con 15,37 hab/km<sup>2</sup>). En específico, Sucumbíos ostenta la tasa más alta de densidad poblacional, representando el 24% del total; mientras que, en contraste, Pastaza figura como la jurisdicción menos poblada, con un 12%. (CITE-FLACSO, 2016, pág. 22).

### **1.5.4 Relieve**

El relieve de la región amazónica del Ecuador es especial por presentar zonas poco pronunciadas (Rodríguez, 2019).

En general, el Amazonas se clasifica como una extensión gigante de líneas horizontales donde pueden ocurrir inundaciones debido a la cantidad de ríos que lo atraviesan. Además, existen fuertes pendientes en el área posiblemente en el lado este del territorio (Rodríguez, 2019).

La altitud más alta registrada en esta zona es de unos 350 metros y la más baja de 100 metros. En algunos casos, debido al caudal del río, aparecen afloramientos rocosos en las orillas (Rodríguez, 2019).

### ***1.5.5 Clima***

Tiene un clima tropical húmedo durante todo el año, en virtud de la humedad retenida por los extensos bosques amazónicos. Las precipitaciones en esta región permanecen constantes y las temperaturas exhiben poca variación, presentando medias mensuales muy similares debido al desplazamiento de la franja de convergencia intertropical. Las tormentas eléctricas son frecuentes en esta área. La mayor acumulación de lluvia en todo el país se ha registrado en Mera y Puyo, ubicadas en la provincia de Pastaza. La temperatura promedio oscila entre 24 y 25°C, con ligeras fluctuaciones; mientras que la temperatura máxima alcanza los 40°C en el mes de mayo (Domínguez & C. A., 1975).



## **2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **2.1 Marco Teórico**

#### ***2.1.1 Significado fundamental del suelo***

De acuerdo con la (FAO, 2015), el suelo constituye el elemento central de los recursos terrestres, sirviendo como fundamento para el desarrollo agrícola y la sostenibilidad medioambiental. La tierra forma la base para generar alimentos, forrajes, energía y materias primas, así como para proporcionar diversos servicios ecológicos esenciales. El suelo se configura como un sistema vivo, dinámico y complejo, cuyo valor varía según la ubicación. La extensión de tierra disponible para la producción se encuentra limitada y enfrenta una creciente presión debido a la intensificación y la competencia en el uso de cultivos, bosques y pastizales, así como para satisfacer la creciente demanda poblacional de productos agrícolas, alimentación, energía y recursos básicos.

También se pueden encontrar una extensa variedad de tipos de suelos, explicada por la combinación que sucede entre los insumos y el clima. En el cual podemos encontrar suelo de origen volcánico, aquí se forman sedimentos de cenizas y escombros de material volcánico.

#### ***2.1.2 Uso de Suelo***

Las actividades petroleras y mineras son la causa de la deforestación en la Amazonía, causando pérdida de biodiversidad, deforestación masiva (50.000 ha) y degradación de la tierra por falta de protección (Salati & E, 1990).

La pérdida de suelo en el país varía entre zonas de estribaciones con pendientes superiores al 25%. En áreas con pendientes de 12 a 25%, la degradación del suelo conduce a una pérdida irreversible del área útil, disminución de la productividad de la tierra, aumento de la vulnerabilidad a la erosión, degradación del suelo y aumento de los costos de producción,

reduciendo la eficiencia económica con aumento de costos de la tierra, reduciendo los ingresos de los productores y aumentando la migración del campo a la ciudad (Salati & E, 1990).

### **2.1.3 Minería**

La minería puede ser caracterizada como una actividad económica esencial que implica la extracción y aprovechamiento selectivo de minerales y otros recursos del suelo y subsuelo en forma de depósitos. A través de esta actividad se obtienen beneficios económicos. Esta práctica presenta una clasificación que engloba tanto elementos metálicos como no metálicos y se posiciona como una actividad primordial en términos económicos (Pereyra Fausto & G, 2015).

La zona minera representa uno de los desafíos más significativos a los que se enfrenta el territorio amazónico. Su impacto en los territorios indígenas y los recursos hídricos tiene un impacto directo en la salud y el bienestar de los habitantes, así como en las leyes de la naturaleza. La minería ilegal se lleva a cabo desde hace varios años con total impunidad y sin ningún tipo de control. Asimismo, las concesiones mineras han sido otorgadas o enajenadas en territorios indígenas sin consulta y por tanto no respetan lo consagrado en la constitución, los tratados humanos, etc. Los derechos internacionales y la propia Corte Constitucional (Pereyra Fausto & G, 2015).

Para el año 2000, se contabilizó una participación en la minería en pequeña escala por parte de alrededor de 92.000 individuos, de los cuales 60.000 se dedicaban a la extracción de oro. Según fuentes oficiales, se reporta que un 80% de los ingresos derivados de esta actividad de minería aurífera a pequeña escala se reinvirtieron directamente en el país, abarcando aspectos como regalías, impuesto sobre la renta e impuesto al valor agregado. En contraste, el restante

20% se destinó a la adquisición de maquinaria, repuestos y materiales procedentes del mercado internacional. (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2020).

### **2.1.3.1 Minería Artesanal**

La minería artesanal es llevada a cabo con procesos de baja tecnología, condiciones de trabajo no estándar, falta de conocimiento técnico, baja eficiencia laboral y bajo grado de formalización en donde se involucran solamente personas o familias y se realiza en forma exclusivamente manual (International Institute for Environment and Development, 2002).

Ellos comparten varias características comunes, que incluyen la explotación de depósitos marginales o de pequeña escala, limitación de recursos financieros, enfoque laboral intensivo con tasas de recuperación bajas, acceso limitado a los mercados y servicios de respaldo, estándares de salud y seguridad en niveles reducidos, y una influencia sustancial sobre el medio ambiente.

La desventaja asociada a la minería manual radica en su carencia de impuestos, lo que resulta en la ausencia de ingresos para el estado y la incapacidad gubernamental para obtener provecho de este sector. Adicionalmente, esta actividad contribuye a la degradación ambiental que emerge de su proceso de extracción. En el año 2016, se emitieron en total 1.821 licencias para la minería metálica manual, con su mayor concentración en provincias meridionales como Zamora Chinchipe, Loja, El Oro, Morona Santiago y Azuay, así como en las regiones del norte oriente, como Napo y Sucumbíos. Estos datos indican que el área consagrada a la minería manual abarca 10.979 hectáreas, equivalente al 0,23% de la superficie terrestre del Ecuador, excluyendo las zonas de protección ambiental. Es importante destacar que la minería manual ostenta la mayor cantidad de unidades operativas en el país (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2020).

### **2.1.3.2 Pequeña Minería.**

La minería en escala reducida se destaca por generar una producción de tamaño limitado y un rendimiento moderadamente inferior, lo que resulta en costos de producción elevados.

Adicionalmente, este panorama se ve influenciado por el precio reducido del oro a nivel nacional.

La escasa productividad también se atribuye a la limitada disposición de tecnologías modernas y eficientes, la carencia de recursos financieros y capitales, y la falta de desarrollo de habilidades, como el empleo de tecnologías mineras y de procesamiento avanzadas (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2020). Que es más extensa y por lo general más mecanizada a escala bastante sofisticadas e industrializadas (International Institute for Environment and Development, 2002).

En el año 2016, se contabilizaban 852 regiones con concesiones en la minería de pequeña escala, lo cual equivale al 20,65% del total de las áreas de concesiones. Estas concesiones se encuentran predominantemente en provincias del sur del país como Azuay, El Oro, Loja, Zamora Chinchipe y Morona Santiago, y en menor proporción en lugares como Esmeraldas, Pichincha, Imbabura, Sucumbíos, Cotopaxi, Napo, Bolívar y Chimborazo. Las provincias que no cuentan con áreas de franquicias para la minería a pequeña escala son Santa Elena y Orellana (Ministerio de Minería de Ecuador, 2016).

### **2.1.4 Hidrocarburíferas**

Las operaciones relacionadas con los hidrocarburos, abarcando exploración, desarrollo y producción, almacenamiento, transporte, procesamiento industrial y venta de petróleo crudo, productos derivados, gas natural y otros similares, tienen el potencial de generar efectos ambientales en la región directamente afectada, la cual queda definida en cada ocasión por el correspondiente Estudio Ambiental (Ministerio de Energía y Recursos no Renovables, 2016).

#### **2.1.4.1 La Construcción De Vías De Acceso y la Deforestación.**

La infraestructura vial implantada en la región se ha diseñado con la finalidad de abastecer de servicios y comodidades a los campos, ductos y puntos de transformación, cubriendo así las demandas de la industria petrolera. No obstante, este desarrollo no ha tenido en cuenta el profundo impacto sobre el entorno geográfico, el cual, por sus características naturales, demanda un trato y una consideración específicos. La apertura de más de 500 kilómetros y la construcción, ya ejecutada o en proceso, de vías de acceso, ha facilitado la intensiva colonización y la deforestación indiscriminada. Las actividades como la minería a gran escala, la remoción de terrenos para la creación de carreteras y rutas de acceso (para el transporte de materiales y la explotación de minas y canteras), así como la prospección sísmica, la perforación de pozos y los estudios geológicos, empeoran el estado del medio ambiente, dando lugar a efectos devastadores, contaminantes y ecológicamente insostenibles (Chávez Salazar, 1999).

La cuestión relativa a la pérdida de bosques en la región amazónica ecuatoriana es de gran importancia en el contexto de América del Sur: “Se destruirán 340.000 hectáreas de bosque cada año y dentro de 40 años, toda la selva ecuatoriana desaparecerá. La relevancia de los bosques amazónicos reside en su capacidad para regular los patrones de viento y precipitación en diversas áreas del mundo. Su extinción, por tanto, provocaría cambios climáticos drásticos, reduciendo la alta especiación existente y dificultando la aplicación de los conocimientos ancestrales que los pueblos indígenas tenían sobre las especies vegetales, objetos diferentes no son posibles (Chávez Salazar, 1999).

#### **2.1.4.2 La Urbanización.**

El crecimiento urbano no planificado es otra consecuencia de la producción de petróleo en la región Amazonía. La influencia de la industria petrolera contribuyó al posicionamiento de nuevos pobladores y a la creación de ciudades que posteriormente fueron creciendo en población, con el impulso del gobierno, para convertirse en centros de actividades como comercio y servicios. Sin embargo, debido a la sobrepoblación, los servicios más básicos como electricidad, alcantarillado, agua potable son los más esenciales y tiene consecuencias típicas de la inseguridad y la pobreza. Además, otra consecuencia negativa de este fenómeno es la aparición de fuentes de degradación moral (burdeles, moteles, etc.) (Chávez Salazar, 1999).

#### **2.1.4.3 Impactos Antrópicos en la región Amazonía.**

Ecuador, situado en una región tropical, forma parte de una de las extensiones forestales más grandes del mundo en términos de clima. Este tipo de ecosistema ofrece significativas ventajas para la preservación de la vida, y de manera directa, dependemos de él. Este factor se convierte en un elemento fundamental para asegurar una calidad de vida adecuada no solo para las personas, sino también para la totalidad del ecosistema global. Conforme a un informe de las Naciones Unidas presentado en 2020, a pesar de la disminución en las tasas netas de deforestación, desde 1990 se ha perdido un total de 178 millones de hectáreas de bosque en todo el mundo (-2,6%). Únicamente África presenta una tasa de deforestación superior (-3,9%) (FAO, 2020). En el caso de Ecuador, se ha observado que los bosques amazónicos están fuertemente influenciados por procesos antropogénicos, incluida la extracción de petróleo, crecimiento demográfico, expansión agrícola y deforestación. En general, esta presión es apoyada por la política del estado central, que busca unir la región con el resto del territorio (Mejia, V. et al., 2021).

## 2.2 Teledetección

La teledetección representa una técnica que posibilita la obtención de datos sobre objetos a distancias considerables sin requerir contacto físico. Para que este procedimiento pueda tener lugar, se exige que exista algún tipo de interacción entre los objetos bajo observación, que pueden situarse en la superficie terrestre, marina o atmosférica, y un sensor alojado en una plataforma como un satélite o una aeronave (Sarría & F., 2006). Basándose en la utilización de mediciones de energía electromagnética reflejada o emitida.

El núcleo esencial de la teledetección radica en su capacidad para despertar un alto nivel de interés como una herramienta que concede la habilidad de llevar a cabo estudios con un alto grado de precisión. Las imágenes capturadas por satélites o desde altitudes aéreas otorgan a los profesionales la posibilidad de evaluar zonas de interés de manera rápida y decidir qué áreas requieren atención adicional, todo desde la comodidad de su propio entorno. La dimensión visual, como se explicará posteriormente, resulta sumamente accesible, ya que la tecnología para visualizar objetos a distancia está al alcance de todos. No obstante, es importante notar que el proceso de describir lo que percibimos y la toma de decisiones basadas en estas interpretaciones todavía presentan un grado significativo de complejidad (Bongiovanni et al., 2006).

La teledetección es la medida de la energía emitida desde la superficie terrestre. Como base energética del Sol, se conoce como detección remota pasiva y da como resultado imágenes digitales como ASTER, Landsat, MODIS, SENTINEL y otras (Richards & Jia, 2006).

Teniendo en cuenta las ventajas de usar la teledetección, en primera instancia bajo costo, ya que las imágenes satelitales no requieren de un presupuesto específico para trabajos topográficos, aéreos o de campo (Chuvienco & E, 2007). Del mismo modo, el procedimiento de adquisición es notablemente adaptable debido a la disponibilidad de plataformas para cargar

imágenes. Estas imágenes se pueden observar a través de una conexión a internet, mediante la creación de un usuario y una contraseña. Otra ventaja inherente es la posibilidad de acceder a ubicaciones remotas, ya que los satélites tienen la capacidad de abarcar la totalidad de la superficie terrestre, lo que conlleva que no exista un solo lugar en nuestro planeta que escape a esta perspectiva (Chuvieco & E, 2007).

Seguidamente otras de las ventajas, el formulario con otras fuentes de información para verificar y enriquecer el análisis y la interpretación (Chuvieco & E, 2007). La investigación comparativa en la que cada satélite después de un período repite el proceso de recopilación de información para un área de investigación en particular (Chuvieco, E, 2007). Finalmente, otra de las ventajas es la facilidad de procesamiento numérico, al ser el procesamiento digital de escenas que permite alcanzar (Chuvieco & E, 2007).

### ***2.2.1 Sensores Remotos y Sistemas Satelitales***

La mayoría de los sistemas de detección remota empleados en la actualidad en satélites operan mediante sensores fotoeléctricos. Estos sensores, que funcionan como detectores fotosensibles de electrones, generan una señal eléctrica proporcional a la intensidad de la energía electromagnética captada. Estas señales eléctricas se registran mediante dispositivos electrónicos, como computadoras o sistemas adicionales. Los datos en formato digital pueden luego ser convertidos en imágenes electrónicas o digitales. Una de las ventajas destacadas de estos datos electrónicos radica en su capacidad para ser transmitidos de manera sencilla desde el satélite a la Tierra a través de sistemas de comunicación por radio (Bongiovanni et al., 2006).



Se puede segmentar en dos categorías: sensores pasivos y sensores activos, en función de la fuente de energía empleada para recopilar información. Los sensores pasivos se apoyan en la energía ambiental proveniente de una fuente externa; estos sensores miden la magnitud de radiación electromagnética, así como las reflexiones de la superficie terrestre y la atmósfera, aprovechando la radiación solar dentro del espectro visible. Un ejemplo de sensor pasivo es el Sensor de Radiación Infrarroja Térmica (TIRS), que emplea tecnología cuántica para medir la temperatura de la superficie terrestre en dos rangos de calor. Por otro lado, los sensores activos generan su propia fuente de energía, permitiéndoles emitir ondas en la región de microondas del espectro y recibir las señales reflejadas por el suelo. El Detección Láser (LIDAR), la Detección de Radio y el Detección de Posición (RADAR) son ejemplos de sensores activos utilizados para la identificación de imágenes y la determinación de la posición (Veneros et al., 2020).

### ***2.2.2 Resolución Espacial***

La resolución espacial se refiere al dimensionamiento del píxel. En ciertas instancias, se emplea el concepto de IFOV (campo de visión instantáneo), que denota la medida angular de la zona detectada por un solo detector. Esta medida se establece como la sección transversal angular visualizada en ese momento (en radianes), dado que el tamaño del píxel en la escena es variable y se amplía a medida que la distancia desde el punto nadir aumenta (UNCPBA, 2012).

### ***2.2.3 Resolución Espectral***

Indica la cantidad y la separación entre las bandas espectrales que el sensor remoto es capaz de identificar. Esto implica detallar el número y la distancia que los separa, así como el

ancho y la longitud de onda correspondientes en el espectro electromagnético. La resolución espectral más básica está vinculada a los sistemas de imágenes y radares, ya que su capacidad de resolución supera la de los sensores ubicados en satélites, también denominados sensores ultrasónicos, que son capaces de captar un conjunto específico de bandas espectrales (Rodríguez & Arredondo, 2005).

#### **2.2.4 Resolución Temporal**

Indica la capacidad del sistema para distinguir entre los cambios temporales experimentados por la superficie de interés. Este término alude a la cadencia con la cual el sensor tiene la capacidad de capturar imágenes adicionales de un mismo punto.

La superficie terrestre. En la mayoría de los casos, la frecuencia con que un satélite pasa por una determinada ubicación se rige por dos elementos: la altitud de la órbita, que establece la velocidad del satélite, y el ángulo de visión (Tristán et al., 2008).

### **2.3 Imágenes Satelitales**

Una representación visual obtenida desde un satélite es el producto resultante de captar la radiación liberada o reflejada desde la superficie terrestre por medio de un dispositivo sensor emplazado en un satélite artificial. Existen diversas clases de imágenes satelitales, cada una con distintos atributos como el color, la resolución y la altitud, entre otros. La calidad de dicha imagen se encuentra atada al equipo empleado y a la altitud con respecto al nivel del mar. Sin embargo, las desventajas que conllevan las imágenes satelitales abarcan su amplio alcance, el prolongado tiempo de procesamiento y la influencia directa de la calidad del sensor en la imagen.

Además, estas imágenes se ven inevitablemente afectadas por las condiciones climáticas al momento de la captura (Sánchez Jara, 2012).

Las ventajas que ofrecen los sensores que están ubicados en plataformas globales que cubren parcial o total la superficie de la tierra es que detallan de forma esquemática áreas con difícil acceso, como también permiten un estudio temporal de los cambios en el entorno de los territorios y cómo van evolucionando, podemos agilizar los procesos de interpretación de modelos cualitativos que dan como resultados de tipo geográfico y con las variables físicas que pueden ayudar a las imágenes satelitales podemos obtener los niveles de absorción como la temperatura de un territorio en particular (Sánchez Jara, 2012).

#### **2.4 Landsat 7**

Las imágenes capturadas por el satélite Landsat 7 constan de ocho bandas espectrales, las cuales se pueden fusionar de diversas maneras para generar variadas composiciones de color y alternativas de procesamiento. Las imágenes resultantes de estos satélites presentan una calidad superior en comparación con los datos recopilados por satélites de resolución intermedia (GeoService, 2016).

Landsat 7 se distingue como el satélite de observación terrestre con el más alto nivel de calibración, lo que implica que sus mediciones presentan una precisión excepcional en comparación con mediciones análogas efectuadas en nuestro planeta. Ha sido elogiado como "la más sobresaliente y estable herramienta de observación terrestre jamás lanzada al espacio". Esto se debe a su excelente calidad de datos y su esquema de archivos global constante, Landsat 7 conduce a un crecimiento significativo de los datos satelitales, en octubre de 2008, USGS hizo públicos todos los datos (NASA, 2018).

#### **Tabla 2**

### Características radiométricas

Banda	( $\mu\text{m}$ )	Espectro Electromagnético	Detalles de las aplicaciones generales
1	0,45 - 0,52	Azul Visible	Mapeo de aguas costeras, diferenciación entre suelo y vegetación.
2	0,52 - 0,60	Verde Visible	Mapeo de vegetación, calidad de agua.
3	0,63 – 0,90	Rojo Visible	Absorción de clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso de suelo, agricultura, calidad del agua.
4	0,76 – 0,90	Infrarrojo	Delineamiento de cuerpos de agua, mapeo geomorfológico, mapeo geológico, áreas cercanas incendiadas, áreas húmedas, agricultura, vegetación.
5	1,55 – 1,75	Infrarrojo Medio	Uso del suelo, medidas de humedad de vegetación, diferenciación entre nubes y nieve, agricultura y vegetación.
6	10,40 – 12,50	Infrarrojo Termal	Mapeo de estrés térmico en plantas, corrientes marinas, propiedades termales del suelo, otros mapeos térmicos.
7	2,08 – 2,35	Infrarrojo Medio	Identificación de minerales, mapeo hidrotermal.
8	0,52 – 0,90	Pancromática Verde y Rojo: Infrarrojo Cercano	

Nota: Muestra de Características radiométricas Fuente: (Pérez D., 2007)

#### 2.4.1 Combinación de Bandas para el satélite Landsat 7

Las combinaciones de bandas que usamos en el trabajo son las siguientes:

Banda 5 es de infrarrojo medio este permite ayuda a identificar la distribución del agua y la humedad en el suelo.

Banda 4 es de infrarrojo cercano este permite ayuda a resalta la vegetación y permite detectar cambios en la salud de las plantas.

Banda 3 es de color rojo este permite identificar cambios en la vegetación y resaltar características como cultivos y áreas urbanas.

## **2.5 Landsat 8**

El programa Landsat ha transformado nuestra perspectiva en cuanto a cómo exploramos y contemplamos nuestro planeta en una resolución intermedia, además de continuar monitorizando modificaciones en la superficie terrestre. En la actualidad, Landsat se halla en su octava iteración, que abarca desde 2013 hasta el presente. Este software promueve la mejora y el avance en la captura de imágenes multidimensionales, manteniendo la calidad inherente a sus versiones anteriores (Ariza, 2013).

Según (NASA Landsat Science, 2018). El Landsat 8, previamente identificado como LDCM (Misión de Continuidad de Datos de Landsat), fue lanzado el 11 de febrero de 2013 desde la Base de la Fuerza Aérea Vandenberg, en California, a través de un cohete Atlas-V 401. Este satélite transporta una carga útil compuesta por dos dispositivos científicos: el Operational Land Imager (OLI), diseñado por Ball Aerospace & Technologies Corporation; y el Thermal Infrared Sensor (TIRS), construido por el Centro Goddard de Vuelos Espaciales de la NASA (GSFC). Los sensores OLI y TIRS generan imágenes simultáneas de cada escena, y también pueden operar de manera independiente si se presentan problemas en uno de ellos.

**Tabla 3**

Características radiométricas

<b>Banda</b>	<b>(<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espectro Electromagnético</b>	<b>Detalles de las aplicaciones generales</b>
1	0.43 – 0.45	Costera (Coastal)	Estudios costeros y de aerosoles
2	0.45 – 0.51	Azul	Cartografía batimétrica, que distingue el suelo de la vegetación y la vegetación caducifolia de la vegetación de coníferas
3	0.53 – 0.59	Verde	Destaca los picos de máxima vegetación, que son útiles para evaluar el vigor de las plantas
4	0.63 – 0.67	Roja	Distingue las laderas de vegetación
5	0.85 – 0.88	Infrarrojo Cercano (NIR)	Destaca el contenido de biomasa y las costas
6	1.57 – 1.65	Infrarrojo de Onda Corta 1 (SWIR 1)	Distingue la humedad del suelo y de la vegetación; penetra a través de nubes finas
7	2.11 – 2.29	Infrarrojo de Onda Corta 2 (SWIR 2)	Mejora de la lectura de la humedad del suelo y la vegetación y la penetración a través de nubes finas
8	0.50 – 0.68	Pan	15 meter resolution, sharper image definition
9	1.36 – 1.38	Cirrus	Improved detection of cirrus cloud contamination
10	10.60 – 11.19	TIRS 1	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
11	11.50 – 12.51	TIRS 2	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture

Nota: Muestra de Características radiométricas Fuente: (NASA Landsat Science, 2018).

### **2.5.1 Combinación de Bandas para el satélite Landsat 8**

Las combinaciones de bandas seleccionadas para el trabajo son las siguientes:

Banda 6 es de infrarrojo medio este permite detectar la presencia de agua y resaltar características relacionadas con la humedad del suelo.

Banda 5 es de infrarrojo cercano este permite destaca la vegetación y proporciona información sobre la salud de las plantas.

Banda 4 es de color rojo que permite proporciona información sobre la salud y la vitalidad de la vegetación.

## **2.6 Procesamiento de Imágenes Satelitales**

La representación visual obtenida mediante teledetección satelital es una matriz de puntos  $N \times N$  en formato digital, también conocida como ráster. En esta matriz, las columnas se denominan comúnmente lecturas y las filas se refieren a líneas. Se encuentran presentes diversas bandas organizadas de su conjunto, cuya disponibilidad depende del sensor empleado (Barrera Zuñiga Raul Alejandro, 2015).

Una vez que se han capturado las imágenes, estas son almacenadas en diversos formatos, tales como entrelazado lineal (BIL), entrelazado de píxeles (BIP) o entrelazado secuencial (BSQ). En estos formatos, los píxeles se organizan de manera que alternan entre filas y muestras, abarcando el conjunto total de bandas en las que la imagen ha sido dividida. Dado que la información contenida en la imagen se limita únicamente a los valores asignados a cada píxel, es necesario incorporar información adicional para posibilitar su visualización y seguimiento. La naturaleza de dicho seguimiento variará según el software empleado. El proceso de seguimiento de cada imagen genera un conjunto de metadatos, los cuales se almacenan en archivos individuales junto con documentación específica correspondiente a cada imagen en particular. A

este conjunto de archivos y datos se le otorga el término metadatos (Barrera Zuñiga Raul Alejandro, 2015).

Los datos que se contenida en cada píxel se representa en un formato digital, típicamente en blanco y negro de 8 bits en donde 0 es negro y 255 es blanco, con 254 tonos diferentes de gris en el medio (Barrera Zuñiga Raul Alejandro, 2015).

### ***2.6.1 Errores en las Imágenes Satelitales***

Diversos elementos pueden tener el potencial de ejercer un efecto negativo, y uno de estos se relaciona con el procedimiento de captura de radiación electromagnética en la superficie terrestre por parte de los sensores remotos. Este proceso puede introducir inesperados errores en los datos recolectados. Estos errores pueden ser categorizados en términos de su naturaleza geométrica, radiométrica y atmosférica (Vilatuña & Quispe, 2021).

### ***2.6.2 Corrección de Imágenes Satelitales***

La representación visual capturada por un satélite se ve afectada por diversas interrupciones, lo que ocasiona que la información recibida parezca alterada debido a una serie de imprecisiones (Universidad de Murcia, 2003).

#### **2.6.2.1 Corrección Radiométrica.**

Este procedimiento transforma la información de cada píxel en la imagen original desde su nivel digital (ND) al nivel de reflectancia capturado por el sensor en la parte alta de la atmósfera. En esencia, esto tiene como efecto la disminución de la dispersión (Soria et al., 2016).



### **2.6.2.2 Corrección Geométrica.**

Rectifica la alteración de la imagen y la deformación geométrica originadas por la inclinación del sensor (su posición en el momento de la captura), así como los impactos del relieve y los desplazamientos de la imagen (Soria et al., 2016).

### **2.6.2.3 Calibración por Bandedo.**

Este fenómeno es el resultado de una calibración deficiente entre los detectores y se refleja en áreas de baja luminosidad, aparece como una banda más oscura o brillante que las demás, para realizar las correcciones correspondientes se supone que, en caso de error, los propios detectores generarán histogramas correspondientes similares al histograma local de la imagen sobre la que están operando. Para ello se calculan los coeficientes  $ak$  y  $bk$  para corregir la linealidad adecuada de los detectores (Vilatuña & Quispe, 2021).

### **2.6.2.4 Corrección Atmosférica.**

Los sistemas satelitales de detección capturan datos relativos a la cobertura del suelo en función de la intensidad lumínica. Se busca abordar problemas mecánicos inherentes al sensor que resultan en valores incorrectos en ciertos píxeles, y se realiza la corrección geométrica para rectificar posibles distorsiones en los píxeles. Por otra parte, la corrección atmosférica se enfoca en identificar y eliminar la distorsión ocasionada por la atmósfera en los niveles de brillo que alcanzan el sensor desde la superficie terrestre, considerando también la energía dispersada y reflejada por la atmósfera, conocida como radiación. Esta información numérica es tratada a través de una ecuación lineal y se almacena en forma de valores digitales discretos (ND) que se ajustan a una escala artificial determinada por las especificaciones de almacenamiento de cada

sensor. Estas escalas pueden ser, por ejemplo, de 8, 12 o 16 bits, dependiendo de las características particulares del sensor en cuestión (Aguilar Arias et al., 2015).

## **2.7 Procesamiento de Imágenes Satelitales**

### **2.7.1 Google Earth Engine**

GEE tiene cuatro componentes principales. El primer sistema de Google, que pone sus servidores a disposición del usuario, permite realizar análisis en paralelo con hasta 10 mil procesadores, lo que aumenta la velocidad de procesamiento en comparación con una computadora. Por ejemplo, un mapa global sin nubes a una resolución de 15 metros en Google Earth y Google Maps, utilizando estos servidores tarda unos días, mientras que usando una computadora personal el retraso sería de 14 años (Perilla & Mas, 2020).

### **2.7.2 Análisis de Datos**

Este procedimiento posibilita la modelación de información proveniente de diversas fuentes con el propósito de examinar y corroborar atributos de posiciones geográficas, así como para abordar desafíos de naturaleza compleja, como la explicación de la relación entre dos localizaciones distintas. Además, contribuye al respaldo de procesos de toma de decisiones (Olaya, 2014).

## **2.8 Análisis Multitemporal**

Los análisis multitemporales son investigaciones espaciales llevadas a cabo mediante la confrontación de interpretaciones de cobertura provenientes de imágenes satelitales, mapas o imágenes aéreas correspondientes a una misma zona en distintos intervalos temporales. Esto permite evaluar los cambios causados por la cobertura del suelo, previamente clasificados para determinar su evolución en la naturaleza o consecuencias de las actividades humanas en este

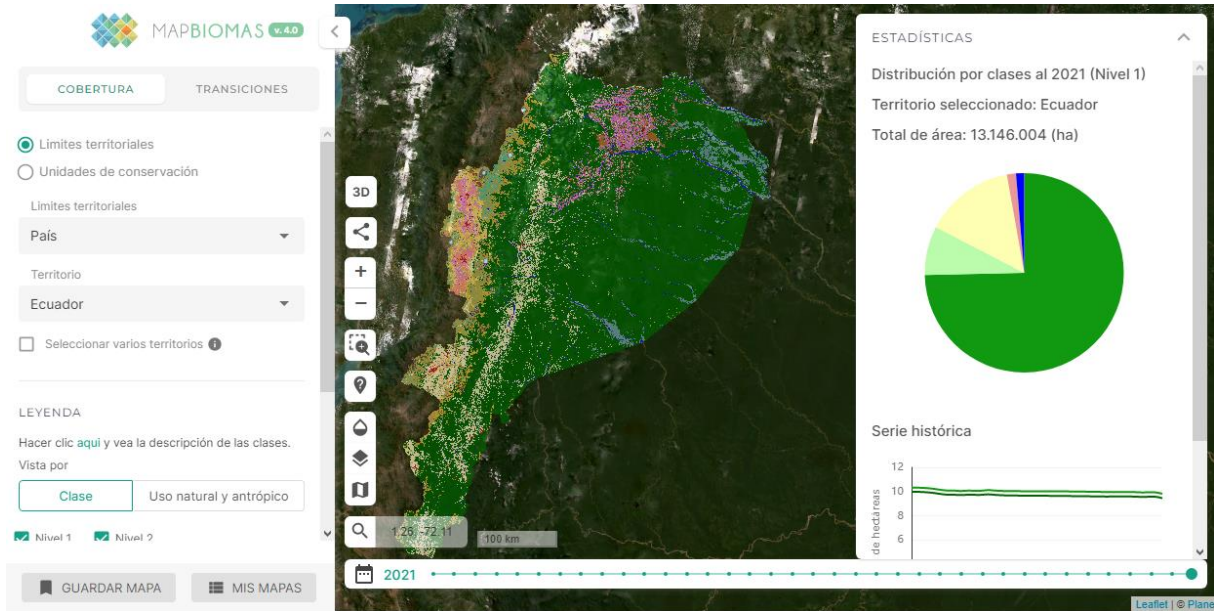
entorno. Se presenta como un método eficaz para comparar y evaluar los cambios durante un período de tiempo (Calderón et al., 2022).

## **2.9 Caso de Estudio de Mapbiomas**

El propósito fundamental del proyecto MAPBIOMAS consiste en lograr una comprensión profunda de las transformaciones que tienen lugar en un territorio específico, a través de la supervisión anual de las variaciones en el uso y la cobertura del suelo. La iniciativa MAPBIOMAS tuvo su origen en Brasil (<https://mapbiomas.org/>) y posteriormente expandió su alcance a varios biomas presentes en América del Sur. En este contexto, MAPBIOMAS Pampa (<https://pampa.mapbiomas.org/es>) se estableció con el objetivo de generar mapas anuales relativos al uso y la cobertura del suelo en la región pampeana, abarcando los territorios de Argentina, Brasil y Uruguay. Para garantizar una coherencia geográfica más sólida, se incluyeron en la cartografía otras zonas fitogeográficas, como un área adyacente a Espinal y el Delta del río Paraná en Argentina. Recientemente, se ha presentado la Primera Colección de Mapas Anuales de Uso y Cobertura del Suelo del Bioma Pampa Sudamericano.

Figura 3

MAPBIOMAS mapa didáctico



Nota: Detalle de MAPBIOMAS Fuente: (María Vallejos et al., 2021)

## 2.10 Índice Kappa

El coeficiente kappa es una medida estadística empleada para evaluar el grado de concordancia o acuerdo entre dos o más observadores o clasificadores en un estudio. Es particularmente útil en situaciones donde se manejan variables categóricas o de clasificación (Eastman & R., 2012).

La manera de calcular el coeficiente kappa implica comparar las clasificaciones realizadas por los observadores o clasificadores con una clasificación de referencia o "verdad de referencia". Se compara la cantidad de acuerdos observados con los acuerdos que se esperarían por azar, considerando la posibilidad de acuerdos por simple coincidencia (Eastman & R., 2012).

El valor del coeficiente kappa varía entre -1 y 1, donde:

Un valor cercano a 1 indica un alto nivel de concordancia o acuerdo entre los observadores o clasificadores.

Un valor cercano a 0 indica que el acuerdo es similar al que se esperaría por azar.

Un valor negativo indica que hay menos acuerdo entre los observadores o clasificadores de lo que se esperaría por azar.

El cálculo del coeficiente kappa implica la elaboración de una tabla de contingencia que muestra la cantidad de veces que los observadores o clasificadores coinciden y discrepan en sus clasificaciones. A partir de esta tabla, se utilizan fórmulas estadísticas para calcular el coeficiente kappa (Eastman & R., 2012).

Es importante destacar que la interpretación del coeficiente kappa puede variar según el contexto y el área de estudio. En general, un valor de kappa por encima de 0.7 se considera un nivel de concordancia aceptable, pero esto puede variar dependiendo del campo de investigación.

Se debe recordar que el cálculo y la interpretación del coeficiente kappa dependen del contexto específico de tu estudio y los datos que se vayan a analizar. (Eastman & R., 2012).

$$K = \frac{P_a - Ca_{ps}}{1 - Ca_{ps}}$$

(Manuel et al., 2016)

## **2.11 Matriz de Validación**

En el ámbito de las imágenes satelitales, la matriz de validación se emplea para evaluar el desempeño de algoritmos de clasificación o segmentación de imágenes. Su objetivo es comparar las clases o categorías pronosticadas por el algoritmo con las clases reales presentes en la imagen.

La estructura de la matriz de validación para imágenes satelitales es similar a la matriz de confusión mencionada previamente. Sin embargo, en lugar de contar instancias individuales, se cuentan los píxeles o regiones de la imagen (I. R. et al., 2022).

**Tabla 4**

Matriz de validación para imágenes satelitales

	<b>Clase A</b>	<b>Clase B</b>	<b>Clase C</b>
Clase A (Pred.)	5000	100	50
Clase B (Pred.)	150	4500	100
Clase C (Pred.)	50	200	4000

Nota: Datos de matriz de validación Fuente: (I. R. et al., 2022).

En esta matriz, cada fila representa una clase real de la imagen, mientras que cada columna indica la clase pronosticada por el algoritmo. Los valores en cada celda indican la cantidad de píxeles o regiones clasificadas en esa categoría específica.

A partir de la matriz de validación en imágenes satelitales, se pueden calcular diversas métricas de evaluación, como precisión, exhaustividad, puntuación F1 y el coeficiente kappa, con el propósito de evaluar la eficacia del algoritmo de clasificación o segmentación en comparación con las clases reales (I. R. et al., 2022).

Es importante destacar que la matriz de validación en imágenes satelitales puede ser más compleja cuando se tienen múltiples clases o se trabaja con imágenes multiespectrales. Además, las métricas de evaluación pueden adaptarse según los objetivos y requisitos específicos del proyecto (I. R. et al., 2022).

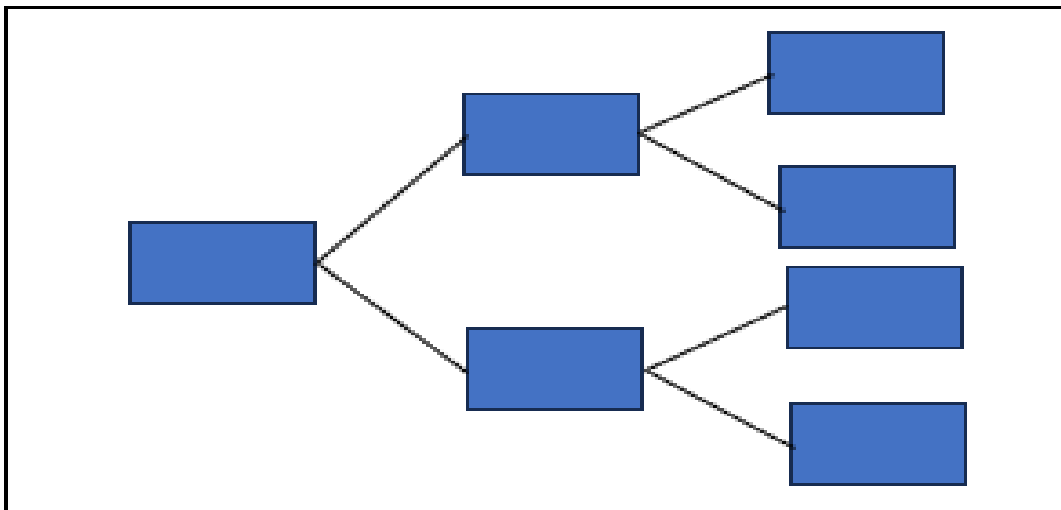
Recuerda que la matriz de validación en imágenes satelitales resulta fundamental con el propósito de analizar la exactitud y la eficiencia de los mismos algoritmos de clasificación y segmentación en el contexto de la interpretación de imágenes satelitales (I. R. et al., 2022).

## 2.12 Random Forest

Donde el RF (Random Forest) es considerado el algoritmo más utilizado para la clasificación del uso del suelo utilizando datos de teledetección (Santana et al., 2007). Este algoritmo está formado por una gran cantidad de árboles de decisión, generados a partir de la técnica del bagging o bootstrap aggregating (Valverde Chávez & B. R., 2022).

### **Figura 4**

*Diagrama de árboles de decisión*



Nota: Random Forest Fuente: Autores

## 2.13 Índice de Deforestación

Para la determinación del índice anual de deforestación, se aplicó una ecuación matemática que permite la comparación de los resultados de diferentes períodos (Huacani Calsin et al., 2022).

$$S = \left[ \left( \frac{S2}{S1} \right)^{\frac{1}{(t2-t1)}} - 1 \right]$$

Dónde:

S: Tasas de cambio para diferentes años

S1: Superficie inicial del período

S2: Superficie final del período

t2: año inicial del período

t1: año final del período

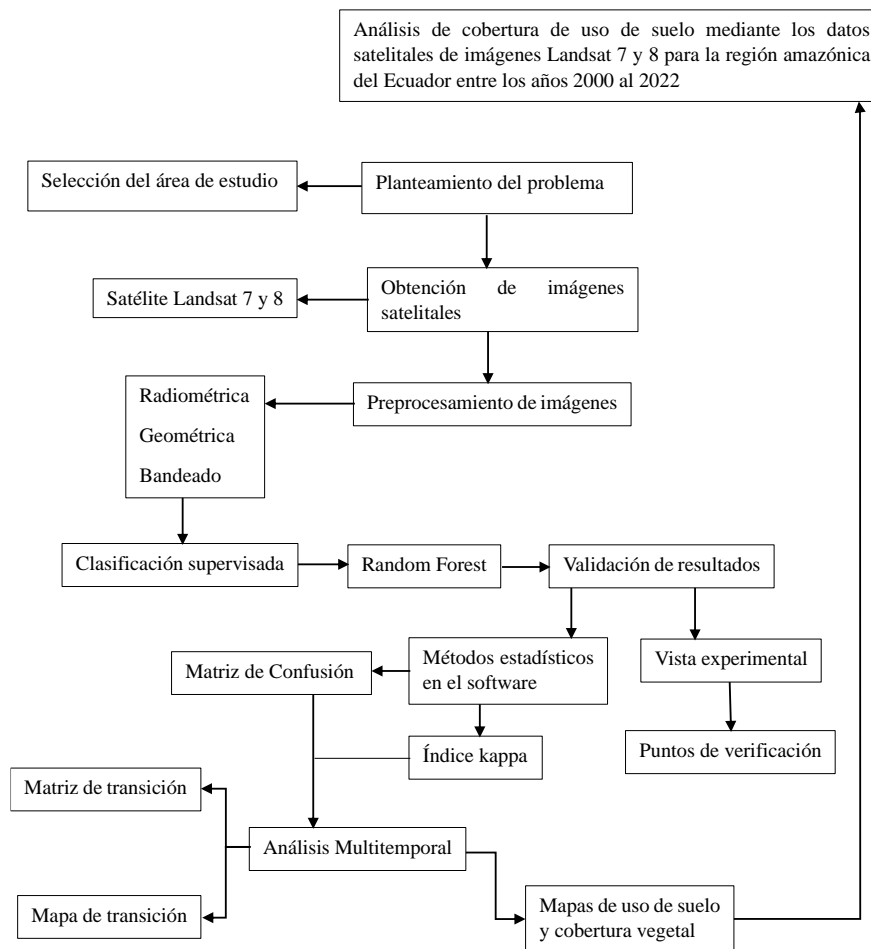


### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta de manera minuciosa la organización del proceso de tratamiento de imágenes satelitales y la generación del mapa educativo.

Figura 5

Diagrama de Flujo de la metodología a aplicar



Nota: Diagrama de Flujo Fuente: Autores

#### 3.1 Materiales

Se utilizaron las imágenes satelitales multiespectrales de los satélites Landsat 7 y 8, las cuales están disponibles en la plataforma Google Earth Engine con una propiedad denominada "Surface Reflectance". Esta propiedad garantiza que las imágenes estén calibradas

radiométricamente, corregidas geométricamente y se encuentren en forma de reflectancia en la superficie terrestre.

### **3.2 Metodología**

La metodología es detallada de acuerdo con los objetivos específicos planteados en el proyecto. En el caso de los primeros y terceros objetivos, se llevará a cabo un análisis de la cobertura que comprende diversas etapas y procedimientos, abarcando desde la normalización de las fuentes de información hasta la identificación de todas las variables que inciden en el cambio de la cobertura del uso del suelo. La determinación de la cobertura se realizará mediante una clasificación supervisada utilizando el método Random Forest, el cual será explicado detalladamente.

En relación al método de normalización de las fuentes de información, se realizará una recopilación de información bibliográfica, teórica, informativa y cartográfica. En otras palabras, se llevará a cabo una investigación que aborde la problemática del cambio de uso del suelo en relación a las distintas actividades económicas presentes en la zona de estudio. Se seleccionará y depurará la información más relevante para llevar a cabo el estudio. Esto incluirá un análisis tanto de los aspectos biofísicos como socioeconómicos del área de estudio, con el propósito de obtener datos precisos que permitan realizar un análisis adecuado del cambio de uso del suelo.

En la fase subsiguiente, se completará el análisis de las coberturas de uso del suelo utilizando imágenes satelitales adquiridas de los satélites Landsat 7 y Landsat 8, empleando la aplicación desarrollada en Google Earth Engine.

Posteriormente, se procederá a la elaboración de tablas que representen las áreas de uso del suelo y cobertura vegetal, estas serán categorizadas en función de períodos temporales específicos.

Se llevará a cabo un estudio multitemporal del cambio de uso del suelo y la cobertura vegetal, efectuando comparaciones entre las categorías de uso del suelo obtenidas a partir de las imágenes generadas por el programa desarrollado en Google Earth Engine. El objetivo es observar las transiciones que ocurren entre los años 2000 y 2022. Esto permitió la clasificación de áreas utilizando el método de random forest, abarcando no solo las zonas de cambio, sino también realizando una comparación entre la cobertura inicial y la final del uso del suelo (Flores A. , 2018).

El método de clasificación que se empleará se reconoce como "random forest", compuesto por un conjunto de árboles de decisión individuales, cada uno de los cuales es entrenado utilizando una muestra levemente variada de los datos de entrenamiento, generada mediante bootstrapping. Las predicciones para nuevas observaciones son obtenidas al sumar las predicciones de todos los árboles individuales que constituyen el modelo.

En numerosas instancias, muchos métodos de pronóstico generan modelos globales en los cuales una única ecuación es aplicada al conjunto total de datos. Sin embargo, en casos donde múltiples predictores interactúan de manera compleja y no lineal, resulta desafiante encontrar un solo modelo global que represente la relación entre las variables.

Los enfoques estadísticos y de aprendizaje automático basados en árboles abarcan un conjunto de métodos supervisados no paramétricos que pueden subdividir el espacio predictor en regiones simples, donde las interacciones pueden ser manejadas con mayor facilidad. Es esta característica la que confiere un potencial considerable a estos métodos.

Debido a los sólidos resultados que generan en una diversidad de problemas, los métodos fundados en árboles han emergido como referencia en el ámbito predictivo. En el transcurso de este documento, se explora la construcción y predicción de los modelos Random Forest. Dado que el elemento esencial de un modelo Random Forest radica en los árboles de decisión, comprender su funcionamiento resulta de vital importancia (Rodrigo, 2020).

Para el segundo propósito delineado, se llevará a cabo una implementación en la plataforma Google Earth Engine mediante la utilización del lenguaje de programación JAVA Script. Con el respaldo de los satélites Landsat 7 y Landsat 8, que proveerán las imágenes requeridas tanto para la creación del programa como para el análisis multitemporal del cambio en el uso del suelo. La aplicación se estructurará de la siguiente manera: se dispondrá de un cuadro de selección que permitirá, de manera sencilla, elegir la provincia con la que se trabajará, facilitando la obtención de las imágenes de los satélites. Asimismo, se contará con un cuadro de selección de fechas, en el cual se podrá elegir la fecha de las imágenes necesarias para el análisis. Además, se proporcionará un selector de bandas que posibilitará la observación de diferentes tonalidades de acuerdo a las bandas disponibles en las imágenes satelitales. Una vez que los parámetros de la aplicación sean seleccionados, la provincia elegida para el estudio será destacada en el mapa interactivo del Ecuador. En este mapa se visualizarán las imágenes correspondientes a las fechas seleccionadas. Adicionalmente, se incluirá un panel suplementario que permitirá la selección del año y la provincia, con el objetivo de obtener como resultado las imágenes clasificadas. También se generará un gráfico en forma de pastel que expondrá el porcentaje de pérdida de cobertura vegetal.

### **3.2.1 *Demarcación de la Zona de Estudio***

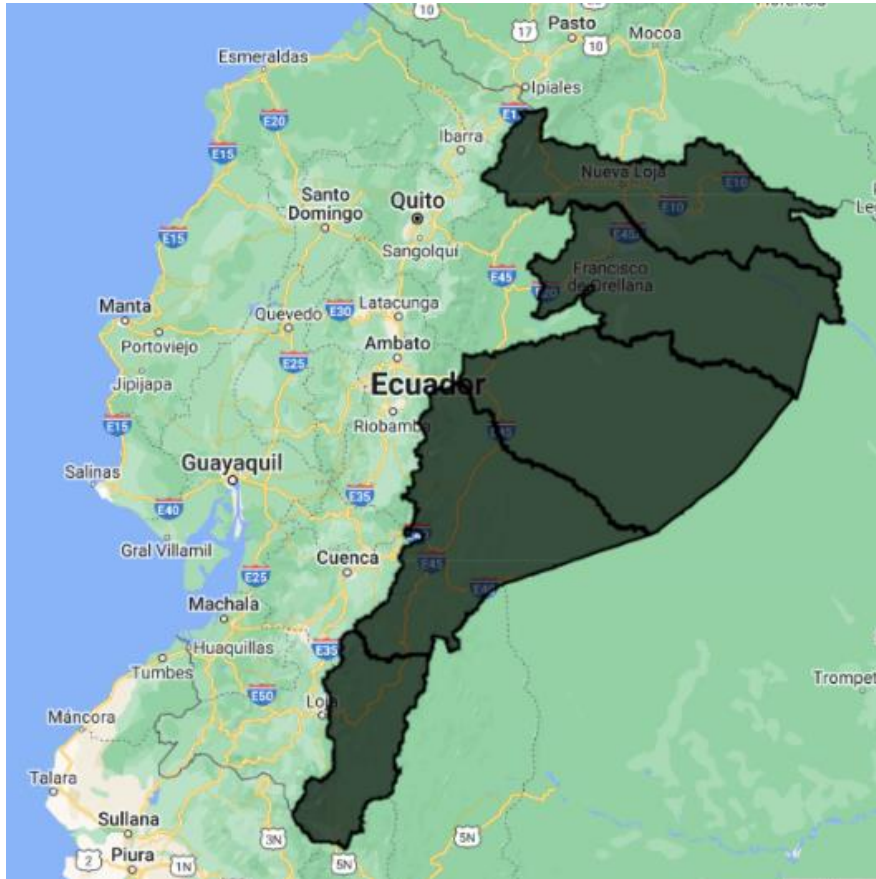
La ubicación de investigación está situada en la Región Oriental, concretamente en las provincias de Napo, Sucumbíos, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe. La superficie total de la Amazonía abarca 120.000 kilómetros cuadrados, lo que equivale a casi el 45% del territorio del Ecuador. El área de análisis se identificó a través de los recursos disponibles en Google Earth Engine, utilizando información derivada de los satélites Landsat 7 y 8. Estos recursos proporcionaron una compilación de datos en relación a la presencia de nubes y los resultados obtenidos.

### **3.2.2 *Procesamiento de Datos Digitales***

Para adquirir las imágenes satelitales de Landsat correspondientes a la región de interés, se empleó la plataforma Google Earth Engine. Esta plataforma proporciona acceso a la información capturada por los satélites, lo cual le permite contar con un repertorio de imágenes geoespaciales disponibles. Los satélites seleccionados para este propósito son los satélites Landsat 7 y 8.

Figura 6

Mapa de la zona de estudio



Nota: Mapa de la zona de estudio Fuente: Autores

Para abarcar la extensión geográfica de la región de análisis, se requirió un conjunto compuesto por 40 imágenes satelitales por cada año, lo que conlleva a un total de 200 imágenes que fueron sometidas a procesamiento.

### 3.2.2.1 Rectificación de imágenes satelitales.

#### 3.2.2.1.1 *Imagen Compuesta.*

Para la obtención de una imagen más clara realiza es una imagen compuesta, que se obtiene mediante un algoritmo que selecciona las imágenes más claras dentro del período de

tiempo asignado en este caso, toma las imágenes de un año y obtenemos como resultado una sola imagen más nítida para observación como se muestra en el anexo 1.

#### **3.2.2.1.2 Corrección atmosférica.**

Mediante el software Google Earth Engine se pueden realizar dos tipos de correcciones atmosféricas, la primera y más utilizada se realiza mediante las bandas de la imagen, cada colección de imágenes posee una banda dedicada a las nubes, para el caso del satélite Landsat 7 la banda dedicada se llama QA\_PIXEL, para la colección Landsat 8 la banda tiene el nombre BQA, mediante el script llamamos a las bandas dedicadas y se realizan un enmascarado quitando un importante porcentaje de nubes de la imagen, el problema del enmascarado es que recorta zonas importantes de la imagen y eso afecta la visibilidad.

El otro tipo de corrección tiene que ver con las propiedades de la imagen, las dos colecciones poseen una propiedad conocida como CLOUD\_COVER, que mediante el script permitió reducir el porcentaje de las nubes en la imagen, el problema de la reducción es que al usar un porcentaje muy bajo de nubes el satélite no encuentra las imágenes necesarias, mostrándonos solo una pequeña fracción del área que estamos empleando.

#### **3.2.3 Creación de Diccionarios**

La corrección de las imágenes de nuestra área de estudio en los períodos determinados, se realizará una estructura de datos conocida como diccionario, que ayudó a programar de forma más eficiente, se crearán diccionarios de Satélites, Provincias y Bandas como se muestra en el anexo 2.

Son un catálogo de objetos que permiten una selección adecuada en el interfaz del programa.

### **3.2.4 *Elaboración de Diccionario de Objetos***

Se inició el código con una variable llamada objetos, mediante la cual se crea un listado de los ítems que permitió llamar a cada uno de los diccionarios anteriormente creados.

El ítem label, permitió agregar el título en el panel principal del programa.

Se crearon ítems llamados selector que permiten llamar a los diccionarios anteriormente creados, tanto para satélites, provincias y bandas. Mediante el selector se puede visualizar la provincia en la que se va a trabajar como se muestra en el anexo 3.

### **3.2.5 *Desarrollo de Panel De Bandas***

Se trabajan con variables independientes para cada colección de imágenes, debido a que las bandas tienen diferentes nombres y no poseen la misma cantidad, por lo tanto, se creó un panel para las bandas del Landsat 7 y otro para el Landsat 8 como se puede observar en el anexo 4, con estos paneles se podrá seleccionar cualquier banda que sea óptima para el uso de trabajo.

#### **3.2.5.1 *Tipos de categorías.***

Nuestro caso de estudio se encuentra en la región amazónica, y dado que esta es una zona tropical, en estas regiones se encuentra el mayor porcentaje de bosques del país donde se clasificará el uso de suelo de la siguiente manera:

##### **3.2.5.1.1 *Bosque***

A nivel de la flora arbórea, se han registrado un total de 2.296 especies. De este conjunto, aproximadamente el 90% se encuentra clasificado como "No Evaluadas" (NE) según los criterios de la UICN. Una revisión retrospectiva de estos resultados revela que, a pesar de la significativa actividad de tala de árboles en la región amazónica a altitudes inferiores a 500 metros sobre el nivel del mar, aún prevalece la presencia de entre un 42% y un 63% de la flora amazónica del



Ecuador. En el contexto de un análisis a nivel de paisaje regional, es posible identificar cuatro categorías principales de bosques. Estas incluyen los bosques terrestres, los bosques inundables de origen amazónico (várzea) y andino, así como los bosques de zonas inundables locales denominados moretales o pantanos. Adicionalmente, se distinguen los bosques situados en sistemas lacustres ribereños de aguas oscuras, conocidos comúnmente como igapós (PIA, 2022).

#### **3.2.5.1.2      *Cultivo***

En dicha región geográfica se han desarrollado sistemas agroforestales que combinan cultivos de café y cacao junto con la presencia de árboles de madera valiosa, especies frutales y plantas silvestres de uso industrial. Entre las especies arbóreas destacan el cedro y el laurel, mientras que en el ámbito de los árboles frutales son comunes la papaya y la guayaba. Estas características regionales propician la adopción de prácticas agrícolas sostenibles en el área (PIA, 2022).

#### **3.2.5.1.3      *Minería***

La industria minera en Ecuador experimentó un desarrollo que se caracterizó por la coexistencia de prácticas como la minería manual, la pequeña minería y el inicio de la extracción a gran escala de minerales, tanto metálicos como no metálicos, así como materiales de construcción. Las provincias de Morona-Santiago y Zamora-Chinchipe ostentan el 24% y el 66% de los derechos mineros metálicos de la región, respectivamente, destacando en esta última la ejecución de proyectos significativos en la minería a gran escala, como Fruta del Norte y Mirador. Por otro lado, en las provincias de Napo, Orellana, Pastaza y Sucumbíos se concentra la mayor parte de la actividad minera relacionada con materiales no metálicos (PIA, 2022).

#### **3.2.5.1.4      *Infraestructura Urbana y Petróleos***

En la región se ha establecido una industria petrolera sólida. En la actualidad, en la Amazonía ecuatoriana operan un total de 14 empresas (1 de carácter público y 13 privadas), las cuales tienen una producción diaria de aproximadamente 540.000 barriles. La provincia de Orellana alberga la mayor concentración de pozos petroleros, con un 45% del total, seguida de Sucumbíos y Napo, que representan un 32% y un 15% respectivamente. No obstante, en las provincias de Pastaza y Morona Santiago, la industria petrolera no registra una actividad considerable (PIA, 2022).

#### **3.2.5.1.5      *Ríos***

Es importante destacar que en las zonas cercanas a los cursos de agua también se observa la deforestación, la cual es consecuencia directa de los efectos ocasionados por las operaciones relacionadas con la industria petrolera y minera (PIA, 2022).

#### **3.2.6    *Creación de Botón de Aplicar***

Mediante el comando **ui.Button** se crea un botón como se muestra en el anexo 4, en el que se puede hacer clic y posee una etiqueta de texto, en este comando además se encontrara diferentes argumentos que permiten agregar distintas características al botón, desde la etiqueta hasta la función que realiza cuando se hace clic.

#### **3.2.7    *Comando IF***

El comando “Si” en programación sirve para realizar condicionales, en este caso fue utilizado para la realización del visor de imágenes Landsat porque se trabajará con las dos colecciones de imágenes y se necesita que al seleccionar el satélite trabaje con su respectiva colección de imágenes como en el anexo 6.

### **3.2.8 Aplicación de Imagen Compuesta**

Mediante los comandos **filter** se podrá realizar diferentes acciones en la colección de imágenes, como por ejemplo el filtrado de la fecha de la imagen y el filtrado del shape de provincias con la información del selector de provincia.

A través del comando **Map.addLayer** se agregará la imagen compuesta al mapa de la aplicación como se puede observar en el anexo 7.

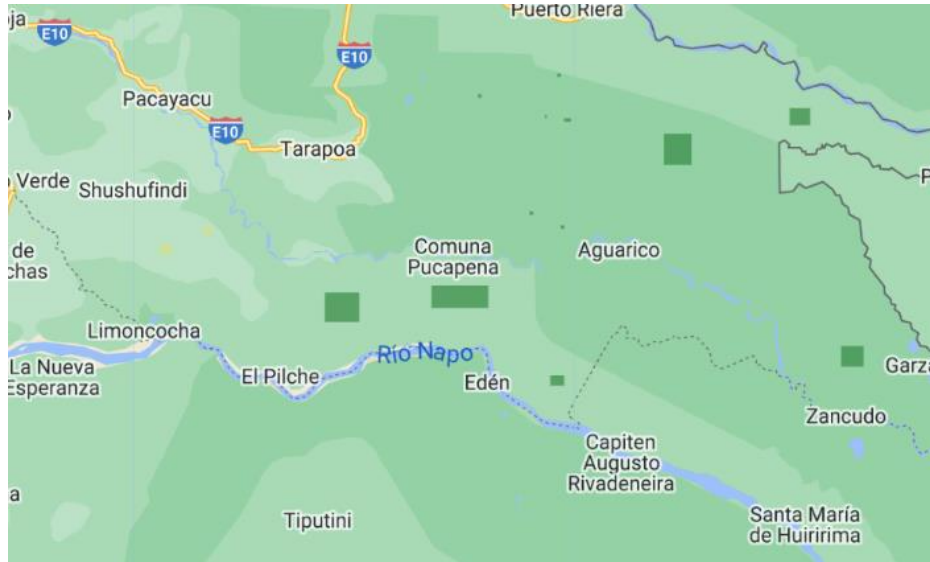
### **3.2.9 Clasificación Supervisada**

Se utilizó el visor Landsat para seleccionar la imagen más adecuada para trabajar, se elaboró una variable que mediante el comando **ee.ImageCollection** y **filterDate** permitió utilizar la imagen anterior mente seleccionada de la colección. Para la clasificación supervisada se trabajará con 5 clases (bosque, cultivo, minería, infraestructura urbana y petróleos, ríos), para los años 2000 – 2005 – 2010 – 2016 – 2022.

Para la creación de muestras se crearon layers con la característica **FeatureCollection**, añadiendo una propiedad llamada class y se asignaron valores numéricos empezando desde el 0, a cada una de las clases, este número sirve como un identificador para cada una de las clases dentro del código del programa. En las áreas de estudio seleccionadas se colocarán muestras que pueden ser rectángulos, polígonos y puntos, para cubrir mejor el área de estudio utilizando polígonos, para que se entrene mejor el clasificador.

Figura 7

Imagen del muestreo para la clasificación supervisada



Nota: Muestreo para la clasificación supervisada Fuente: Autores

Se creará una variable llamada muestras que mediante el comando **merge** permitió juntar en una sola colección todas las muestras de las 5 clases como se muestra en el anexo 8, a continuación, se crearon una variable llamada bandas en donde se enlistaron todas las bandas disponibles de los satélites Landsat, y se crearon una variable de entrenamiento que sirvió para enlazar con la colección de las muestras y seleccionar las bandas creadas, se añadieron una variable para el clasificador, el método de clasificación seleccionado para este proyecto es conocido como **Random Forest**, en Google Earth Engine el comando para llamar al clasificador Random Forest es **ee.Classifier.smileRandomForest**. Se trabajó con 10 árboles de decisión para el programa.

### 3.2.10 Cálculo del Área

Para calcular el área primero se renombrará las variables, para ello se creó una variable llamada nombre, en donde se ubicó el nombre de las clases (Bosque, cultivos, infraestructura urbana y petrolera, ríos, minerías), además se creó una variable llamada renombre y mediante el comando **rename** se renombro las clases que antes se encontraban identificadas por números.

Procedemos a crear la variable denominada área, mediante el comando **ee.Image.pixelArea** se transformaron los pixeles por área dejándonos en la dimensión km<sup>2</sup>, mediante el comando **divide** con un valor de 10.000 donde se transformaron los km<sup>2</sup> en hectáreas. Por último, usando el comando **multiply** se multiplicaron los pixeles por cada uno de los nombres de las clases de la variable renombre.

Se creó una variable utilizando una función denominada **reduceRegion**, esta función utiliza un reductor de suma que toma todos los pixeles de una misma clase y los suma dejándonos un valor total de área, además se colocaron en las propiedades de la función el reductor (**ee.Reducer.sum**), para la geometría se colocó la variable antes creada con el fin de seleccionar la provincia a trabajar, la escala que en este caso será de 30 que es igual a los 30 metros con los que trabaja el satélite y el sistema el proyección (**EPSG**) que corresponde al tradicional sistema WGS84, se utiliza una herramienta específica para representar la cartografía a nivel mundial. Por último, se creó una variable que mediante el comando **ee.Number** permitió transformar el área de cada una de las clases en un número que se pueda imprimir en la consola como se puede observar en el anexo 9.

### ***3.2.11 Código de pieChart o Gráfico De Pastel***

Para cada clase se elaboró algo conocido en programación como **array** que es un tipo de dato estructurado encargado de almacenar datos de un mismo tipo y relacionados, sus elementos conformados pueden ser simples o compuestos como vectores o listas, por lo tanto, realizando un listado de variables utilizando como identificador para cada clase (a,b,c,d,e) y con el comando **ee.Array**, se ubican cada uno de los valores de cada clase con su respectivo nombre y al final una variable que mediante la función **ee.List**, creó un listado de las variables creadas anteriormente como se puede observar en el anexo 10.

Necesitamos una variable que enliste los nombres de las clases que van a ir ubicados en el gráfico utilizando el comando **ee.List**.

Con el comando **ui.Chart.array.values** se construyó la imagen colocando en las propiedades para el tipo de chart (pieChart), para el set de opciones el título que en nuestro caso es valor de área por clase, en la paleta de colores se ubicó los colores designados para las clases de la imagen clasificada.

### ***3.2.12 Matrices de Validación***

Con el fin de validar la clasificación realizada por Random Forest, se elaboró matrices que permitieron observar los errores que posee el modelo y calcular mediante el script el valor del índice Kappa o mejor conocido como el accuracy es decir la precisión de la clasificación, tanto para los datos de entrenamiento del clasificador como para los puntos de validación de la clasificación, la matriz de error del entrenamiento la podemos realizar con el comando **confusionMatrix** y llamando a la variable clasificador que fue la empleada en clasificar las imágenes landsat y la precisión la aplicamos a la matriz con la función **accuracy** e imprimimos los dos valores para obtener la matriz y el valor de la precisión del entrenamiento en la consola,

para el caso de la precisión de la validación se realizó una variable para tomar muestras aleatorias mediante la función **randomColumn**, una variable de reserva para segmentar las muestras en un porcentaje de 70% para el entrenamiento y 30% para la validación, una variable para reserva de los valores del entrenamiento con la función **ee.Filter.It**, se filtraron metadatos menores que el valor seleccionado en este caso 70%, para el caso de la variable de reserva de la validación se usó el comando **ee.filter.gte** que filtra metadatos mayores o iguales al valor, en este caso el 30% de las muestras al azar.

En una variable utilizando el comando **ee.Classifier.smileRandomForest** con 10 árboles de decisión se entrenó la variable de reserva de los puntos de entrenamiento, usando la propiedad **class** que es la misma que utilizamos para el entrenamiento de la clasificación para definir las clases que se utilizaran en la validación del entrenamiento y las bandas que son las mismas del entrenamiento del clasificador. Usando la variable de reserva de la validación se clasificó los datos del entrenamiento de los puntos de reserva de entrenamiento, elaboramos la matriz de confusión con el comando **errorMatrix** y procedemos a imprimir la matriz de confusión de la validación además se usó el comando **accuracy** e se imprimió en consola el valor de precisión de la validación como se puede ver en el anexo 11.

### ***3.2.13 Variables a Evaluar en la Investigación***

#### **3.2.13.1 Variables Independientes.**

- Período de tiempo analizado 2000 – 2022
- Superficie vegetal de los años 2000 – 2022

### 3.2.13.2 Variables Dependientes.

- Porcentaje total de la cobertura vegetal en relación con el área de estudio.
- Índice de vegetación de diferencia normalizada en los años 2000 – 2022
- Índice de diferencia normalizada edificada en los años 2000 – 2022

### 3.2.14 Tasa de pérdida de cobertura de bosques

La determinación de la tasa de pérdida de bosques se realizó a través de la fórmula propuesta por (Huacani Calsin et al., 2022):

$$S = \left[ \left( \frac{S2}{S1} \right)^{\frac{1}{(t2-t1)}} - 1 \right]$$

Fuente: (Huacani Calsin et al., 2022)

El cálculo de la tasa de pérdida de cobertura forestal se basa en las variables de superficie ocupada por bosques y cultivos. Se cuantificaron las áreas correspondientes a cada uno de estos usos del suelo en hectáreas, agrupándolas en intervalos de tiempo de estudio, que comprenden los años: 2000 y 2005, 2005 y 2010, 2010 y 2016, 2016 y 2022, y, por último, el período completo de 2000 a 2022.

**Tabla 5**

*Área calculada de bosque de la Amazonía ecuatoriana*

	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Año 2000	10369047,1	10369047,1
Año 2005	10014368,56	10014368,56
Año 2005	10014368,56	10014368,56
Año 2010	10409124,77	10409124,77



Año 2010	10409124,77	10409124,77
Año 2016	10141476,02	10141476,02
Año 2016	10141476,02	10141476,02
Año 2022	10185624,38	10185624,38
Año 2000	1728174,517	1728174,517
Año 2022	10185624,38	10185624,38

Nota: Área calculada Fuente: Autores

Es relevante enfatizar que la tabla proporcionada corresponde a la tabla específica de pérdida de cobertura forestal en la zona bajo estudio. Se llevaron a cabo cálculos para determinar las áreas ocupadas por bosques y cultivos en cada provincia y en distintos intervalos de tiempo dentro de la región amazónica. A continuación se exponen las cifras correspondientes a las hectáreas identificadas en las provincias de la Amazonía ecuatoriana.

### **Tabla 6**

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Sucumbíos período 2000-2022*

<b>Provincia</b>	<b>Año</b>	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Sucumbíos	Año 2000	1615317,98	1615317,98
	Año 2005	1536192,09	1536192,09
	Año 2005	1536192,09	1536192,09
	Año 2010	1591057,38	1589992,38
	Año 2010	1591057,38	1591057,38
	Año 2016	1551187,54	1551187,54
	Año 2016	1551187,54	1553071,49
	Año 2022	1537901,91	1537901,91
	Año 2000	1615317,98	1615317,98
	Año 2022	1537901,91	1537901,91

Nota: Hectáreas de Bosque Fuente: Autores

**Tabla 7**

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Napo período 2000-2022*

<b>Provincia</b>	<b>Año</b>	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Napo	Año 2000	1051271,71	1051271,71
	Año 2005	990101,63	990101,63
	Año 2005	990101,63	990101,63
	Año 2010	1049566,29	1049566,29
	Año 2010	1049566,29	1049566,29
	Año 2016	1040900,79	1040900,79
	Año 2016	1040900,79	1040900,79
	Año 2022	1035166,59	1035166,59
	Año 2000	1051271,71	1051271,71
	Año 2022	1035166,59	1035166,59

Nota: Hectáreas de Bosque Fuente: Autores

**Tabla 8**

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Orellana período 2000-2022*

<b>Provincia</b>	<b>Año</b>	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Orellana	Año 2000	1982479,66	1982479,66
	Año 2005	1878467,89	1878467,89
	Año 2005	1878467,89	1878467,89
	Año 2010	1986043,9	1986043,9
	Año 2010	1986043,9	1986043,9
	Año 2016	1925539,45	1925539,45
	Año 2016	1925539,45	1925539,45

Año 2022	1884183,25	1884183,25
Año 2000	1982479,66	1982479,66
Año 2022	1884183,25	1884183,25

Nota: Hectáreas de Bosque Fuente: Autores

**Tabla 9**

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Pastaza período 2000-2022*

<b>Provincia</b>	<b>Año</b>	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Pastaza	Año 2000	2799137,53	2799137,53
	Año 2005	2687721,64	2687721,64
	Año 2005	2687721,64	2687721,64
	Año 2010	2779240,69	2779240,69
	Año 2010	2779240,69	2779240,69
	Año 2016	2746340,37	2746340,37
	Año 2016	2746340,37	2746340,37
	Año 2022	2725369,79	2725369,79
	Año 2000	2799137,53	2799137,53
	Año 2022	2725369,79	2725369,79

Notta: Hectáreas de Bosque Fuente Autores

**Tabla 10**

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Morona Santiago período 2000-2022*

<b>Provincia</b>	<b>Año</b>	<b>Bosque (ha)</b>	<b>Total (ha)</b>
Morona	Año 2000	2057965,43	2057965,43
Santiago	Año 2005	2006694,06	2006694,06
	Año 2005	2006694,06	2006694,06
	Año 2010	2123725,2	2123725,2

Año 2010	2123725,2	2123725,2
Año 2016	2024414,5	2024414,5
Año 2016	2024414,5	2024414,5
Año 2022	2127118,84	2127118,84
Año 2000	2057965,43	2057965,43
Año 2022	2127118,84	2127118,84

Nota: Hectáreas de Bosque Fuente Autores

### Tabla 11

*Hectáreas de Bosque de la provincia de Zamora Chinchipe período 2000-2022*

Provincia	Año	Bosque (ha)	Total (ha)
Zamora	Año 2000	862874,79	862874,79
Chinchipe	Año 2005	915191,25	915191,25
	Año 2005	915191,25	915191,25
	Año 2010	879491,31	879491,31
	Año 2010	879491,31	879491,31
	Año 2016	853093,37	853093,37
	Año 2016	853093,37	853093,37
	Año 2022	875884	875884
	Año 2000	862874,79	862874,79
	Año 2022	875884	875884

Nota: Hectáreas de Bosque Fuente Autores

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se expone el procedimiento integral, que comprende desde la adquisición y corrección de imágenes satelitales hasta la generación de matrices, la implementación de

índices y los cálculos pertinentes. Finalmente, se presentan los mapas obtenidos que reflejan cinco categorías de uso del suelo correspondientes a los años 2000, 2005, 2010, 2016 y 2022. Todo este proceso ha sido ejecutado utilizando la plataforma Google Earth Engine.

#### **4.1 Estandarización de las Fuentes de Información**

##### **4.1.1 Recopilación de información**

En el desarrollo de esta investigación, la recopilación de información se realizó mediante diversas estrategias, incluyendo el análisis exhaustivo de fuentes bibliográficas confiables, como los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT). Además, se buscó la maximización de los resultados al utilizar mapas generados en base a fuentes especializadas, como MAP BIOMAS y el geoportal del Instituto Geográfico Militar (IGM).

Las fuentes de información principales que se emplearon en este estudio abarcan:

El Plan Integral para la Amazonía, que proporcionó una perspectiva integral de la región.

El Plan de Ordenamiento Territorial de la Provincia de Napo, ofreciendo un enfoque localizado relevante para el análisis.

El mapa base de la plataforma Map Biomass, utilizado para visualizar dinámicamente los cambios en la cobertura del suelo a nivel nacional en Ecuador.

Los mapas de línea base de las provincias en el área de estudio, proporcionados por el Instituto Geográfico Militar (IGM) en formato shapefile.

Información cartográfica detallada de los bloques petroleros del Ecuador continental a escala 1:1'1000.000 del año 2009, proveniente de la Secretaría de Hidrocarburos y el Banco de Información Petrolera del Ecuador (BIPE).

El mapa interactivo de la plataforma "Amazonía Viva" se utilizó para examinar la actividad minera en Ecuador, proporcionando una herramienta valiosa para la revisión de esta actividad en el país.

#### **4.2 Análisis Estadístico De La Variable De Resultados Del Índice Kappa Y Matriz De Confusión**

Para validar el proceso, se introdujeron polígonos en las imágenes, como se puede apreciar en el anexo 12. Para la selección aleatoria y la clasificación supervisada, se utilizó el índice Kappa y la matriz de confusión, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos y asegura que la metodología empleada sea apropiada para este tipo de investigación..

Con el fin de validar los datos del modelo se realizó otra clasificación distinta, utilizando un muestreo aleatorio estratificado como se muestra en el anexo 13, es una técnica que permitió dividir las muestras en diferentes subgrupos o estratos, luego seleccionar aleatoriamente muestras finales de los estratos de manera proporcional, con esto logramos obtener un índice kappa que mostró de mejor manera los errores obtenidos en la clasificación y por este motivo realizamos esta comparativa.

En cuanto a la exactitud de la clasificación, los resultados derivados de la matriz de confusión, junto con el cálculo del índice Kappa y sus valores correspondientes, son los que se presentan a continuación en concordancia:

#### 4.2.1 Matriz de confusión para el año 2000

**Tabla 12**

Matriz de Confusión y índice Kappa en el año 2000

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2000</b>						
<b>Clasificación</b>	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	85439	1060	81	62	0	86642
<b>Cultivos</b>	3152	8464	272	25	0	11913
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	222	432	2471	2	0	3127
<b>Ríos</b>	410	33	11	1543	0	1997
<b>Minería</b>	25	14	7	2	3	51
<b>TOTAL</b>	89248	10003	2842	1634	3	103730
<b>Sumatoria de diagonales</b>			97920			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			485			
<b>Coeficiente Kappa</b>			0,9439			

Nota: Matriz de Confusión e índice Kappa Fuente: Autores

Se estableció una base muestral compuesta por 485 polígonos distribuidos en las 5 categorías, con un valor total de 103730 píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio en cada uno de los años analizados. El índice Kappa correspondiente al año 2000, que se detalla en la Tabla 12, arrojó un valor de 0.9439.

En el método de muestreo aleatorio estratificado se emplearon 60 puntos en cada una de las 5 categorías, y el número de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales del área de estudio en cada año analizado fue de 300, según se indica en el Anexo 14. En este anexo se presenta el índice Kappa correspondiente a dicho año, cuyo valor es de 0.675.

**Tabla 13**

*Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2000*

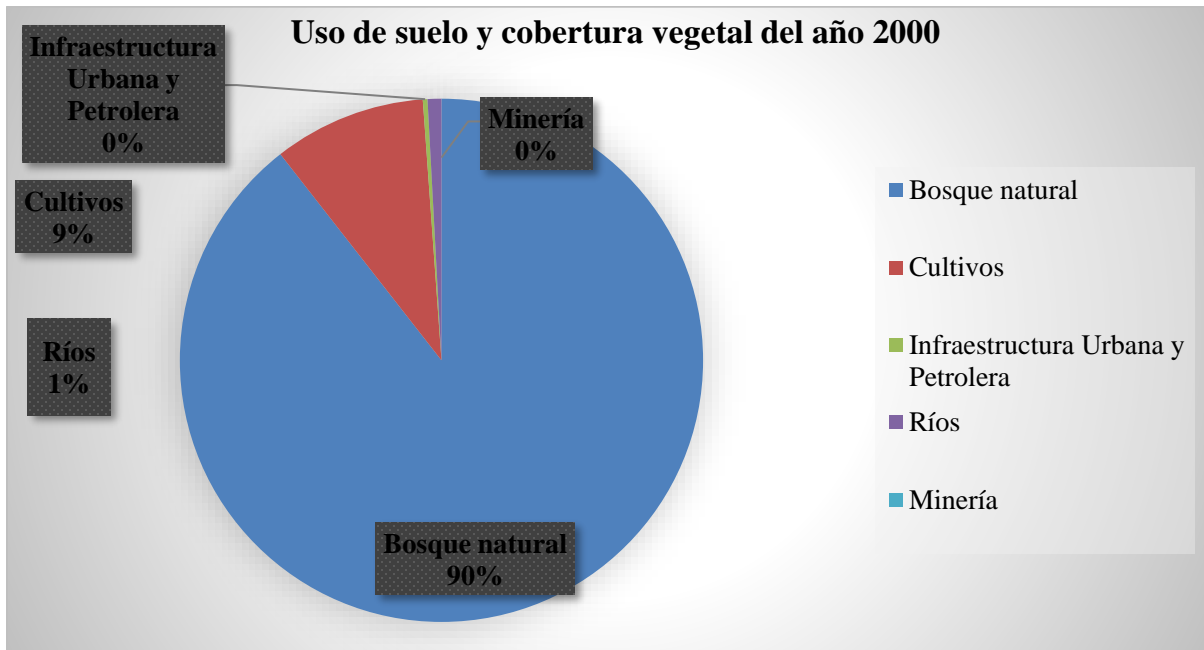
<b>Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2000</b>		
<b>Uso de suelo y cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque natural	10369047,1	89,441
Cultivos	1091845,75	9,418
Infraestructura Urbana y Petrolera	33692,57	0,290
Ríos	98363,41	0,848
Minería	162,72	0,001

Nota: Clasificación del uso de suelo Fuente: Autores



Figura 8

Uso de suelo y cobertura vegetal del año 2000



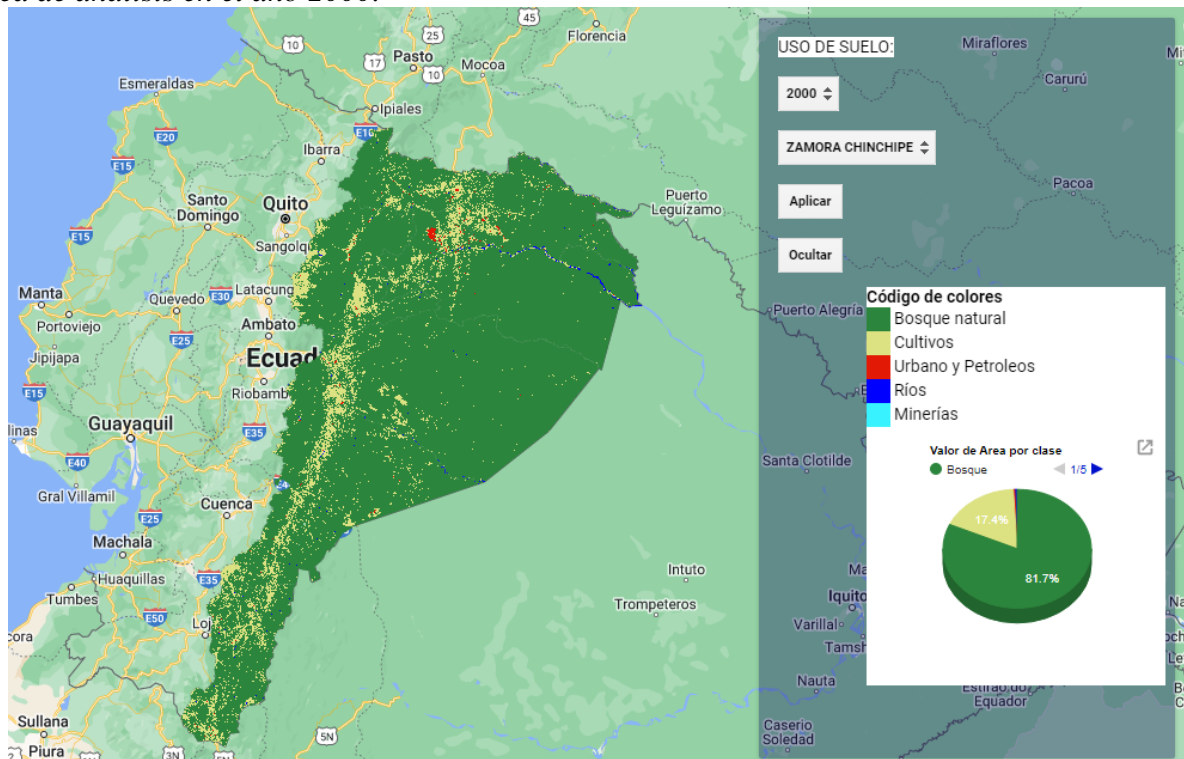
Nota: Gráfico de pastel de uso de suelo Fuente: Autores

En el año 2000, comenzó la investigación de este estudio, y resulta relevante destacar los diferentes porcentajes correspondientes a cada tipo de cobertura de suelo. Según los hallazgos, el Bosque natural abarca el 89,44% del territorio, los cultivos representan el 9,41%, mientras que la Infraestructura Urbana y Petrolera ocupa un 0,29%, los ríos un 0,84% y la Minería un 0,001%. De esta información, se puede inferir que la extensión más grande corresponde a los Bosques.

A continuación, se exhibe la estructura de los mapas que abarcan la región de análisis.

**Figura 9**

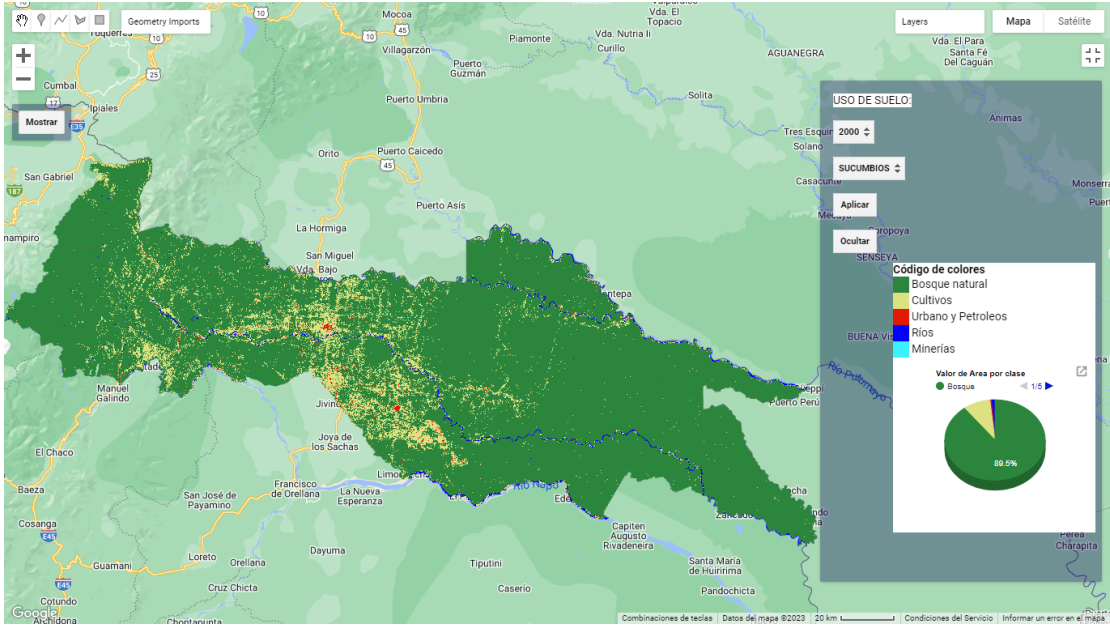
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al área de análisis en el año 2000.



Nota: Mapa de uso de suelo Fuente: Autores

Figura 10

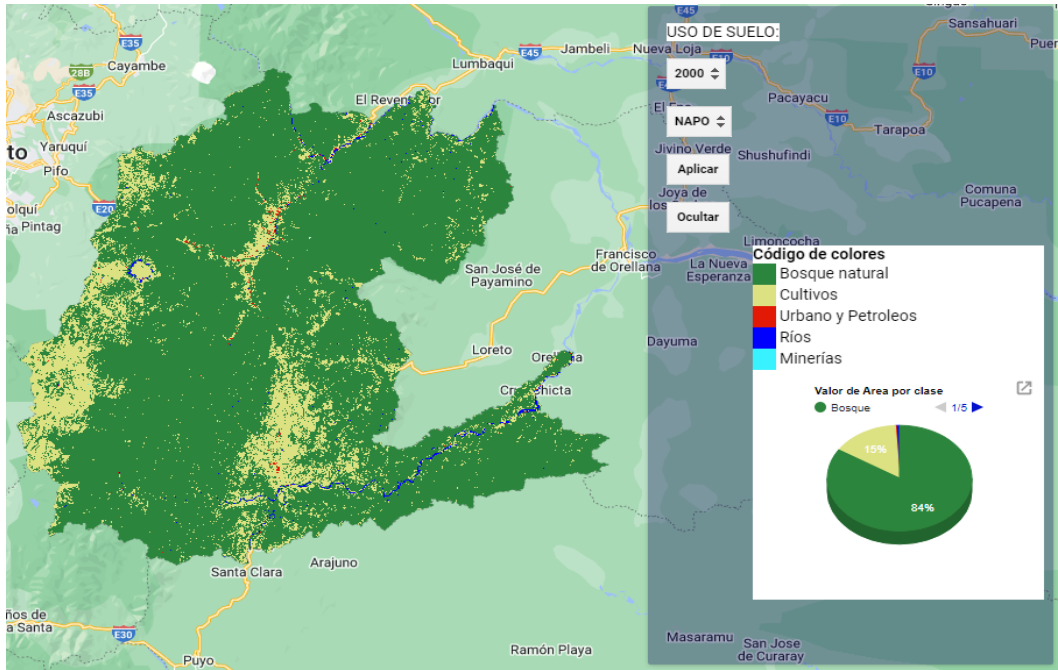
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el año 2000.



Nota: Mapa de Sucumbíos Fuente: Autores

Figura 11

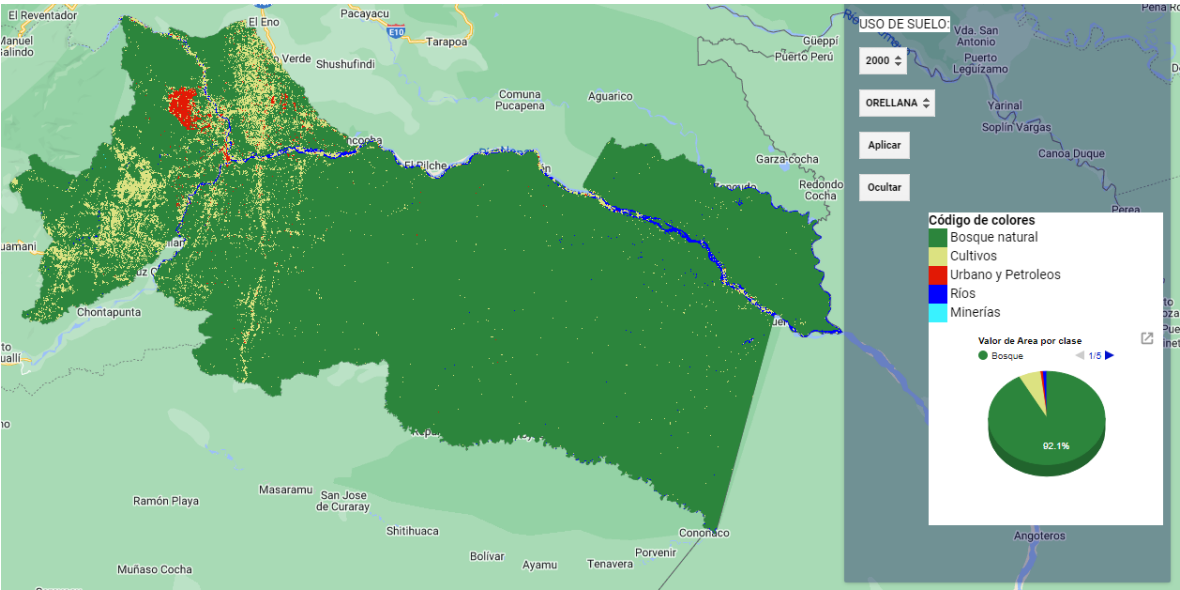
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el año 2000.



Nota: Mapa de Napo Fuente: Autores.

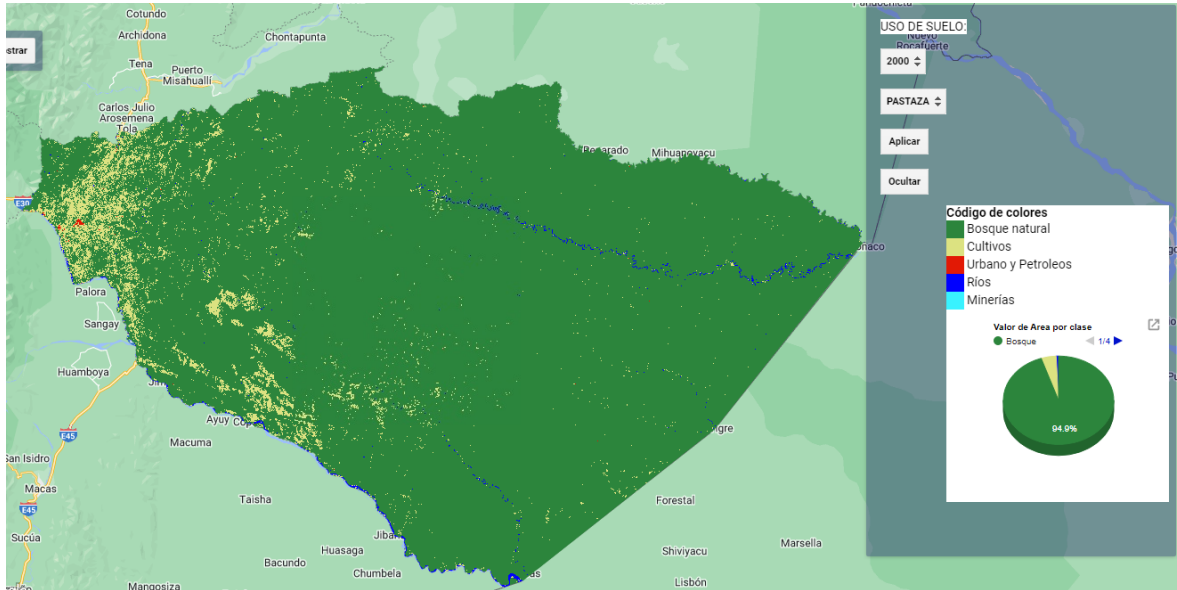
Figura 12

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el año 2000.



Nota: Mapa de Orellana Fuente: Autores

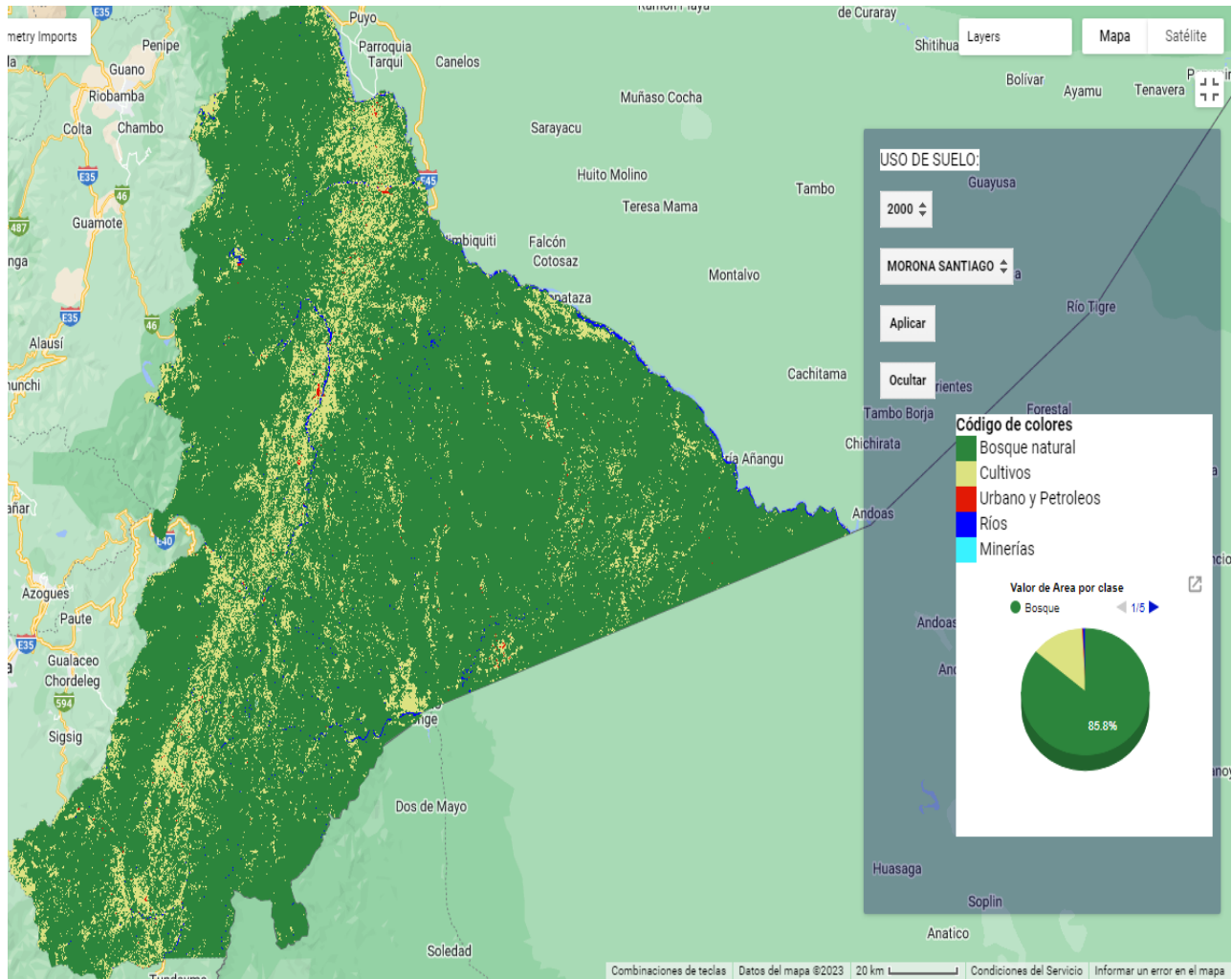
*Figura 13*  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el año 2000*



Nota: Mapa de Pastaza Fuente: Autores

Figura 14

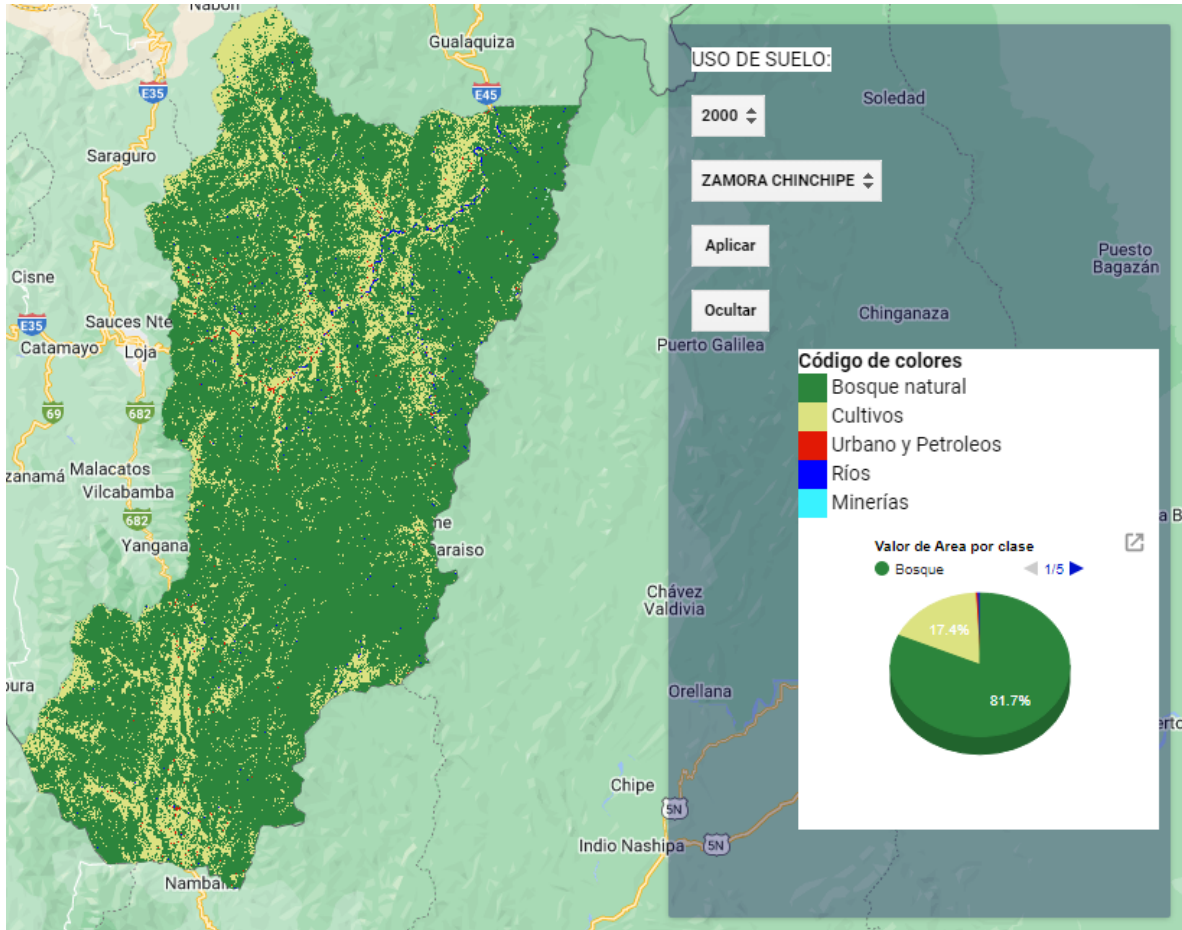
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el año 2000.



Nota: Mapa de Morona Santiago Fuente: Autores

Figura 15

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2000.



Nota: Mapa de Zamora Chinchipe Fuente: Autores



#### 4.2.2 Matriz de confusión para el año 2005

**Tabla 14**

*Matriz de Confusión y índice Kappa en el año 2005*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2005</b>						
<b>Clasificación</b>	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	84816	1389	110	25	1	86341
<b>Cultivos</b>	3429	8132	333	28	2	11924
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	149	531	2412	15	1	3108
<b>Ríos</b>	459	55	13	1946	0	2473
<b>Minería</b>	64	65	7	8	18	162
<b>TOTAL</b>	88917	10172	2875	2022	22	104008
<b>Sumatoria de diagonales</b>			97324			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			485			
<b>Coeficiente Kappa</b>			0,935			

Nota: Matriz de Confusión e índice Kappa Fuente: Autores

Se creó una base muestral que incluyó 485 polígonos distribuidos en las 5 categorías definidas. La cantidad de píxeles empleados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes a este año fue de 104002 en el área de estudio. En la Tabla 14 se exhibe el índice Kappa correspondiente al año 2005, que refleja un valor de 0.9357.

En el método de muestreo aleatorio estratificado, se seleccionaron 60 puntos en cada una de las 5 categorías, y el número de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales del área de estudio para cada año analizado fue de 300, tal como se indica

en el Anexo 15. En este anexo se presenta el índice Kappa correspondiente a este año, el cual muestra un valor de 0,675.

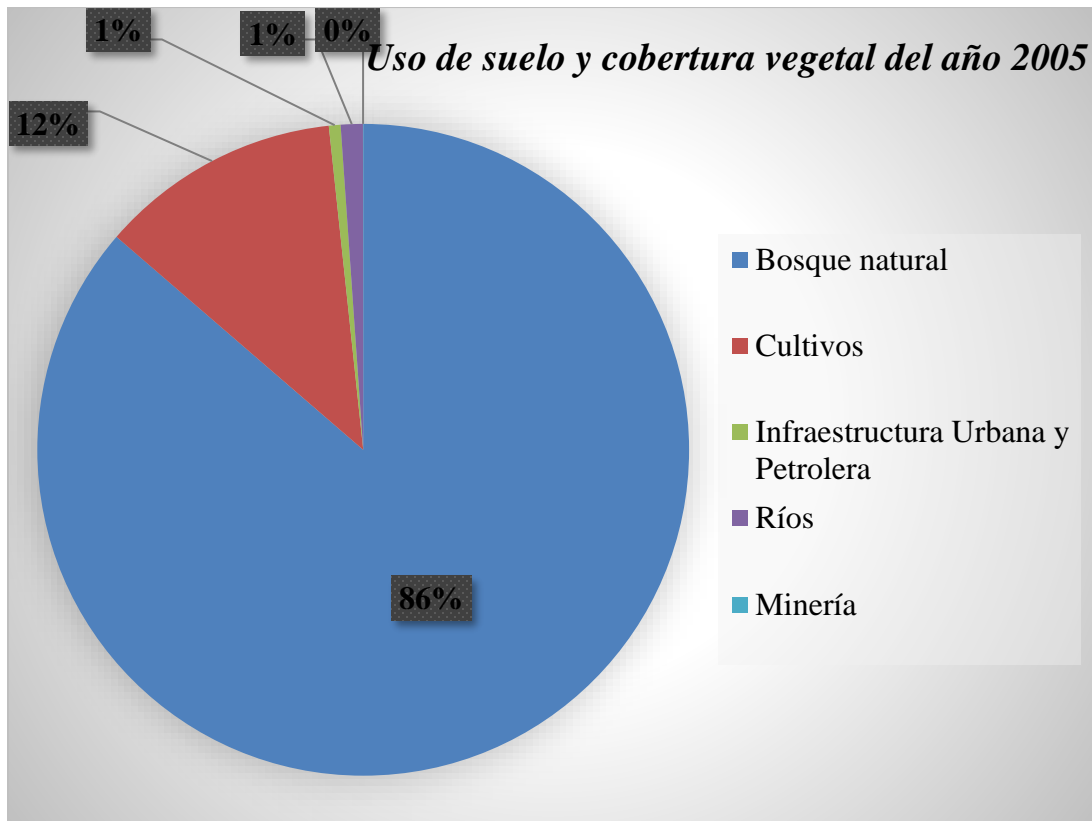
**Tabla 15**

*Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2005*

Zona de estudio de la región Amazónica del Ecuador del año 2005		
<b>Uso de suelo y cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque natural	10014368,56	86,334
Cultivos	1389576,48	11,979
Infraestructura Urbana y Petrolera	67279,41	0,580
Ríos	126755,56	1,092
Minería	1530,88	0,0131

Nota: Clasificación del uso de suelo Fuente: Autores

Figura 16  
Uso de suelo y cobertura vegetal del año 2005

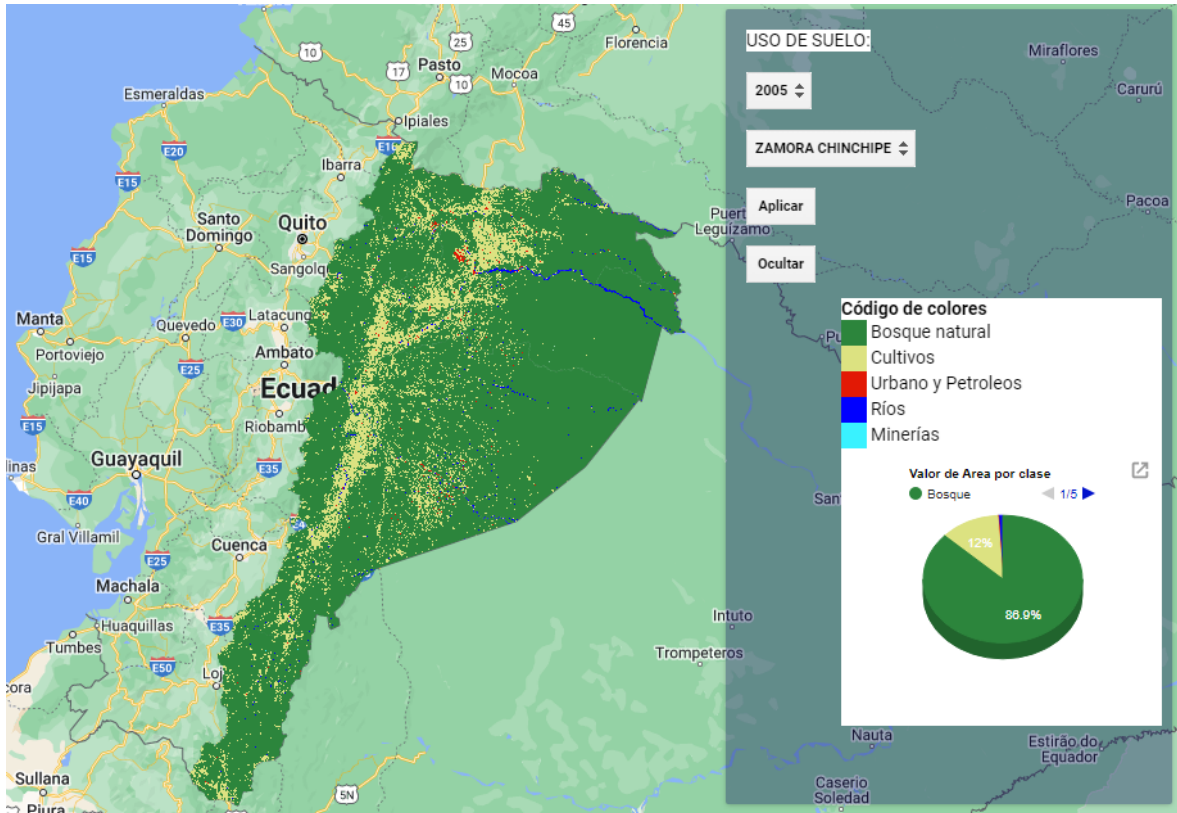


Nota: Diagrama de pastel de uso de suelo Fuente: Autores

En el año 2005 resulta relevante destacar los diferentes porcentajes correspondientes a cada tipo de cobertura de suelo. Según los hallazgos, el Bosque natural abarca el 85,63% del territorio, los cultivos representan el 12,67%, mientras que la Infraestructura Urbana y Petrolera ocupa un 0,59%, los ríos un 1,08% y la Minería un 0,016%. De esta información, se puede inferir que la extensión más grande corresponde a los Bosques.

Figura 17

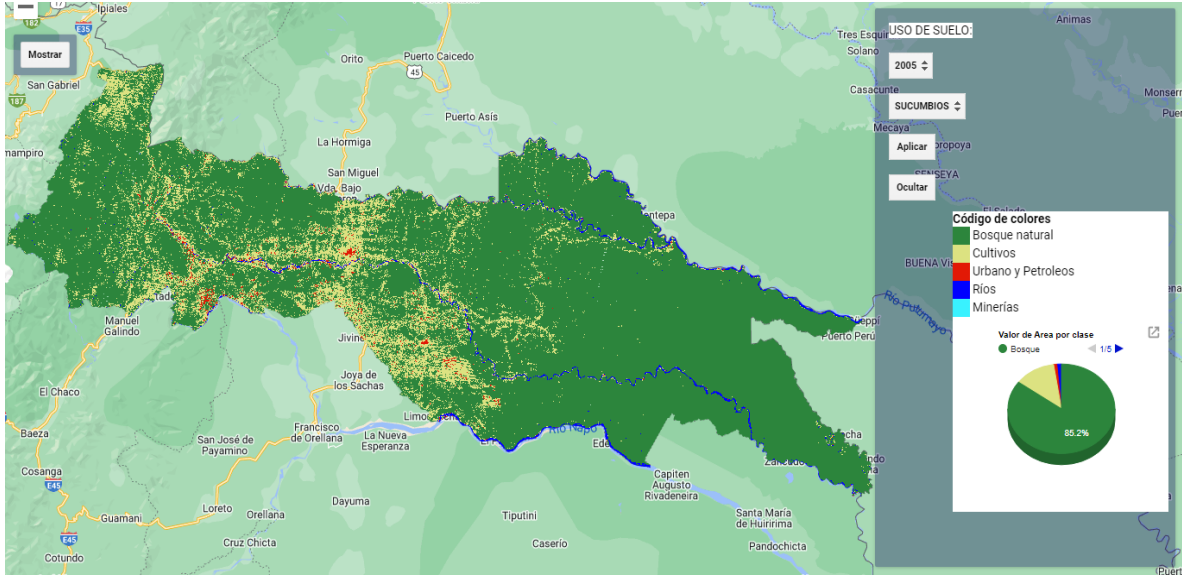
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al área de análisis en el año 2005.



Nota: Mapa de clasificación de uso de suelo Fuente: Autores

Figura 18

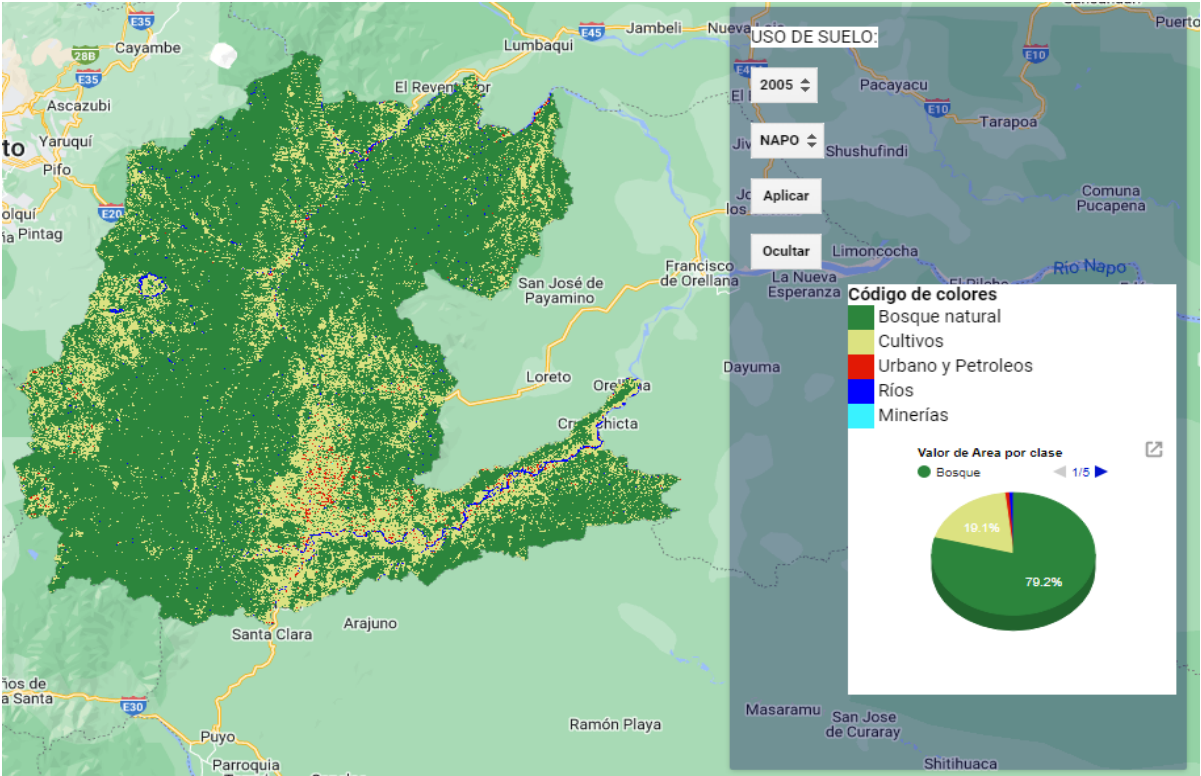
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el año 2005.



Nota: Mapa de Sucumbíos Fuente: Autores

Figura 19

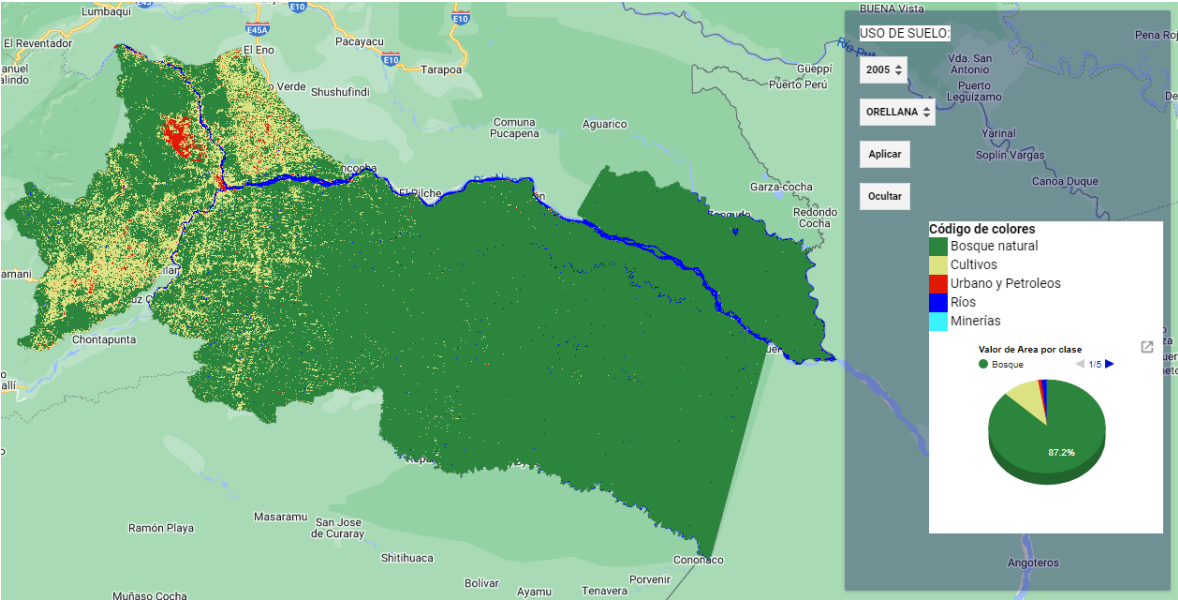
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el año 2005.



Nota: Mapa de Napo Fuente: Autores

Figura 20

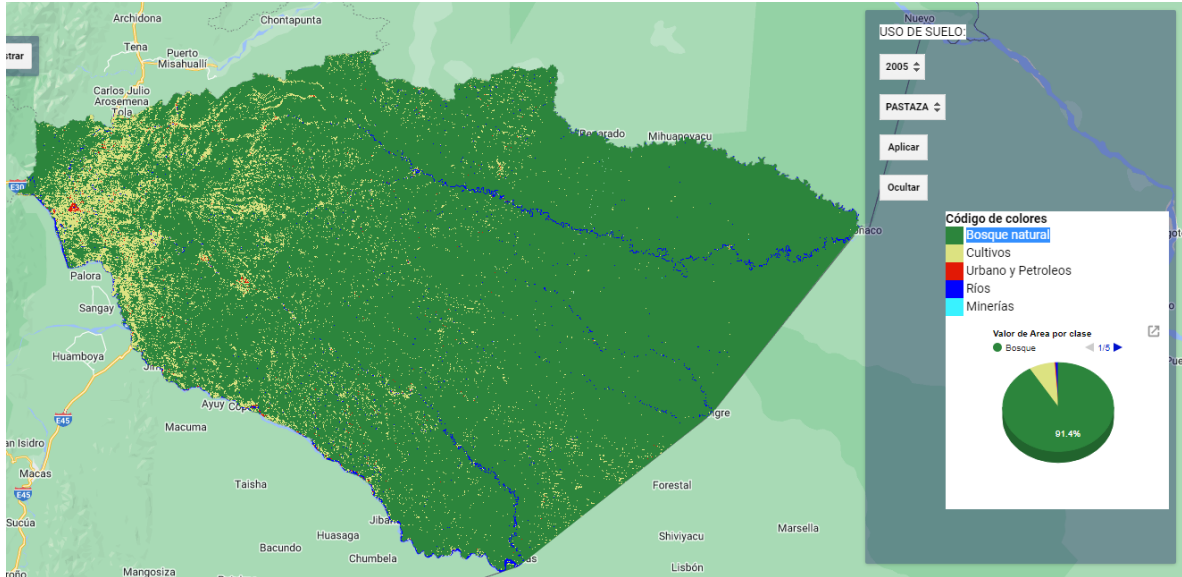
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el año 2005.



Nota: Mapa de Orellana Fuente: Autores

Figura 21

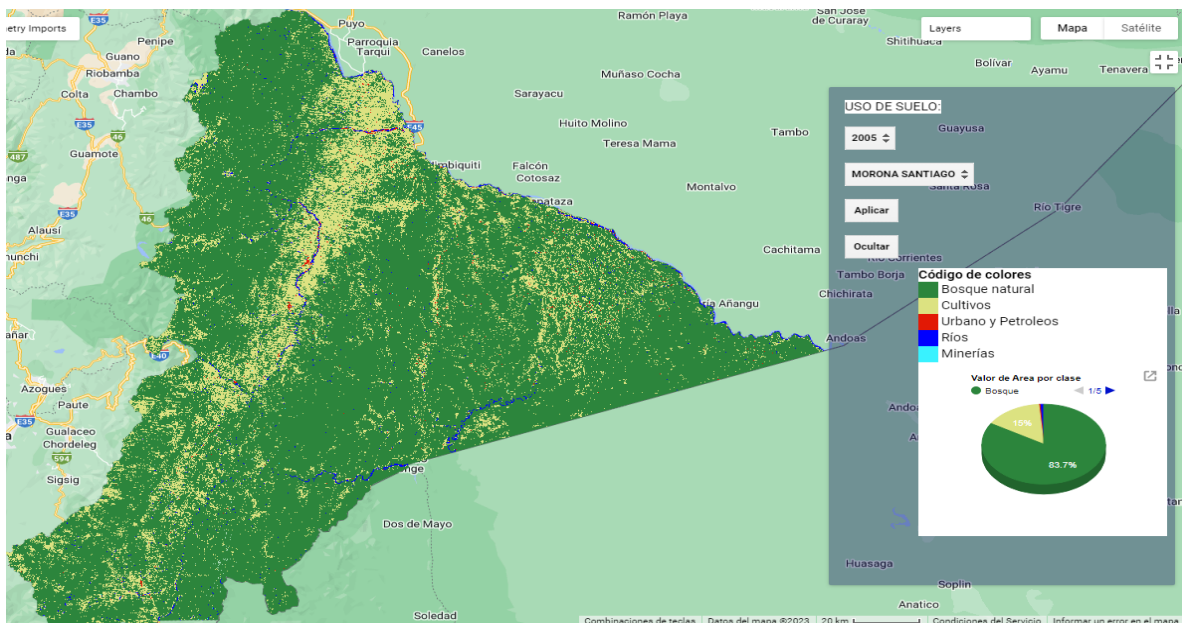
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el año 2005.



Nota: Mapa de Pastaza Fuente: Autores

Figura 22

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el año 2005.

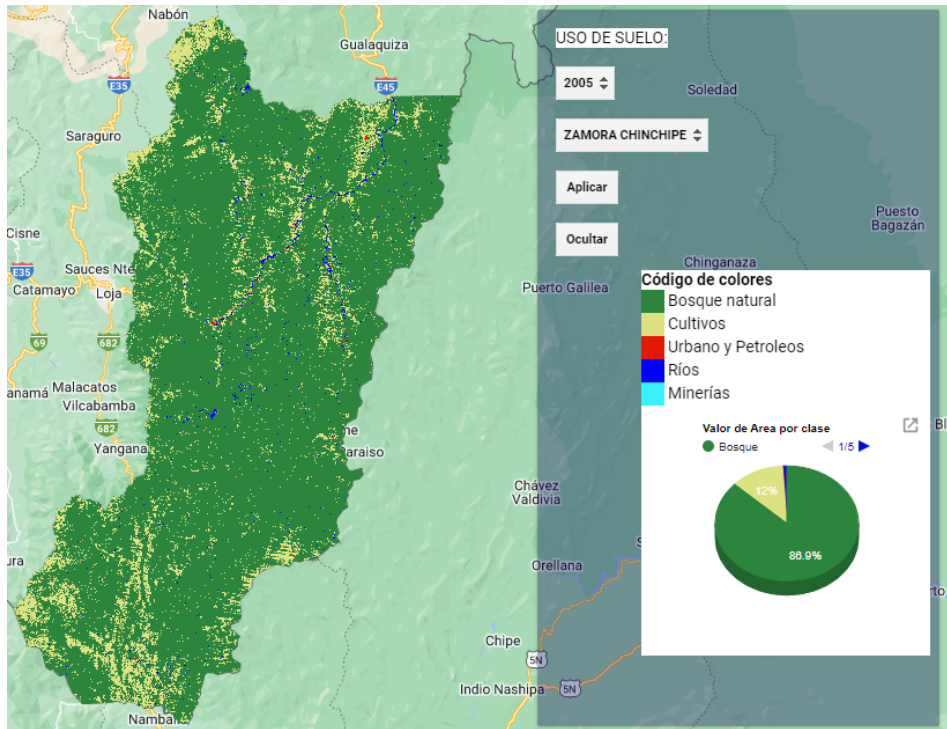


Nota: Mapa de Morona Santiago Fuente: Autores



Figura 23

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2005



Nota: Mapa de Zamora Chinchipe Fuente: Autores

#### 4.2.3 Matriz de confusión para el año 2010

Tabla 16

Matriz de Confusión y índice Kappa en el año 2010

Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2010						
Clasificación	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	85371	1012	259	39	37	86718
<b>Cultivos</b>	4489	6910	227	43	88	11757
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	713	320	2119	15	32	3199

<b>Ríos</b>	485	69	31	1855	16	2456
<b>Minería</b>	190	217	50	26	363	846
<b>TOTAL</b>	91248	8528	2686	1978	536	104976
<b>Sumatoria de diagonales</b>			96618			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			485			
<b>Coefficiente Kappa</b>			0,92			

Nota: Matriz de Confusión e índice Kappa Fuente: Autores

Se generó una base muestral que comprende 485 polígonos distribuidos en las 5 categorías definidas. La cantidad de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes a este año fue de 104976 en el área de estudio. En la Tabla 16 se expone el índice Kappa correspondiente al año 2010, el cual revela un valor de 0.92.

En el enfoque de muestreo aleatorio estratificado, se seleccionaron 60 puntos en cada una de las 5 categorías, y el número de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales del área de estudio para cada año analizado fue de 300, tal como se detalla en el Anexo 16. En dicho anexo se presenta el índice Kappa correspondiente a este año, el cual muestra un valor de 0.743.

### **Tabla 17**

*Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2010*

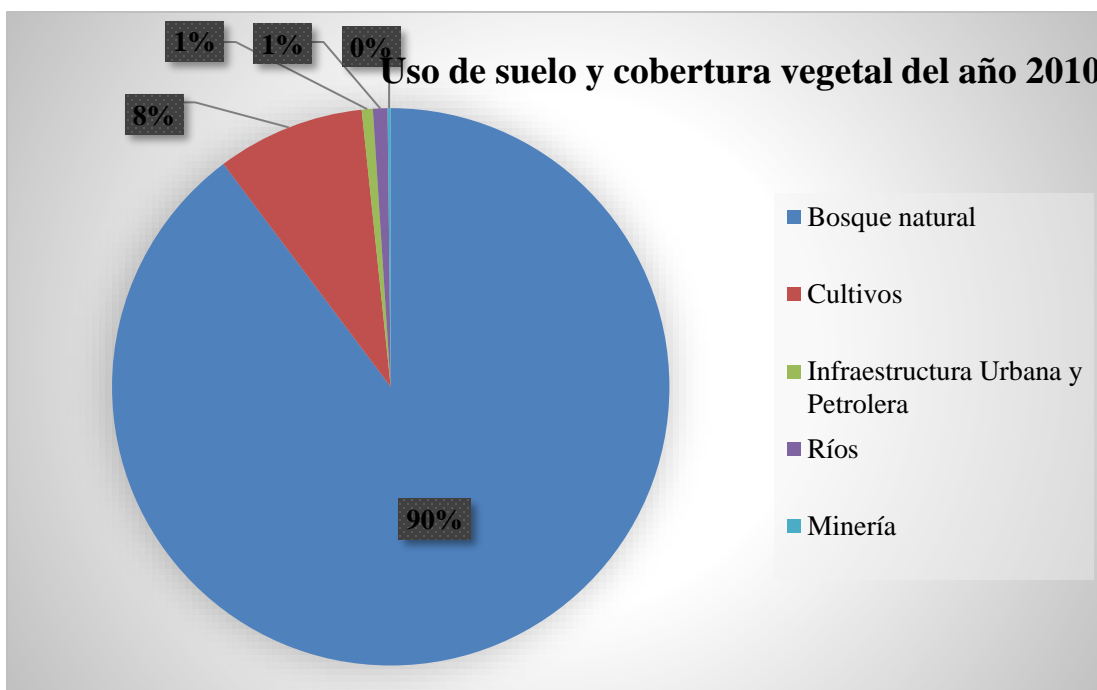
Zona de estudio de la región amazónica del Ecuador del año 2010		
<b>Uso de suelo y cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque natural	10409124,77	89,755
Cultivos	995050,92	8,580

Infraestructura Urbana y Petrolera	74513,86	0,643
Ríos	97470,92	0,840
Minería	21157,27	0,182

Nota: Clasificación del uso de suelo Fuente: Autores

Figura 24

Uso de suelo y cobertura vegetal del año 2010

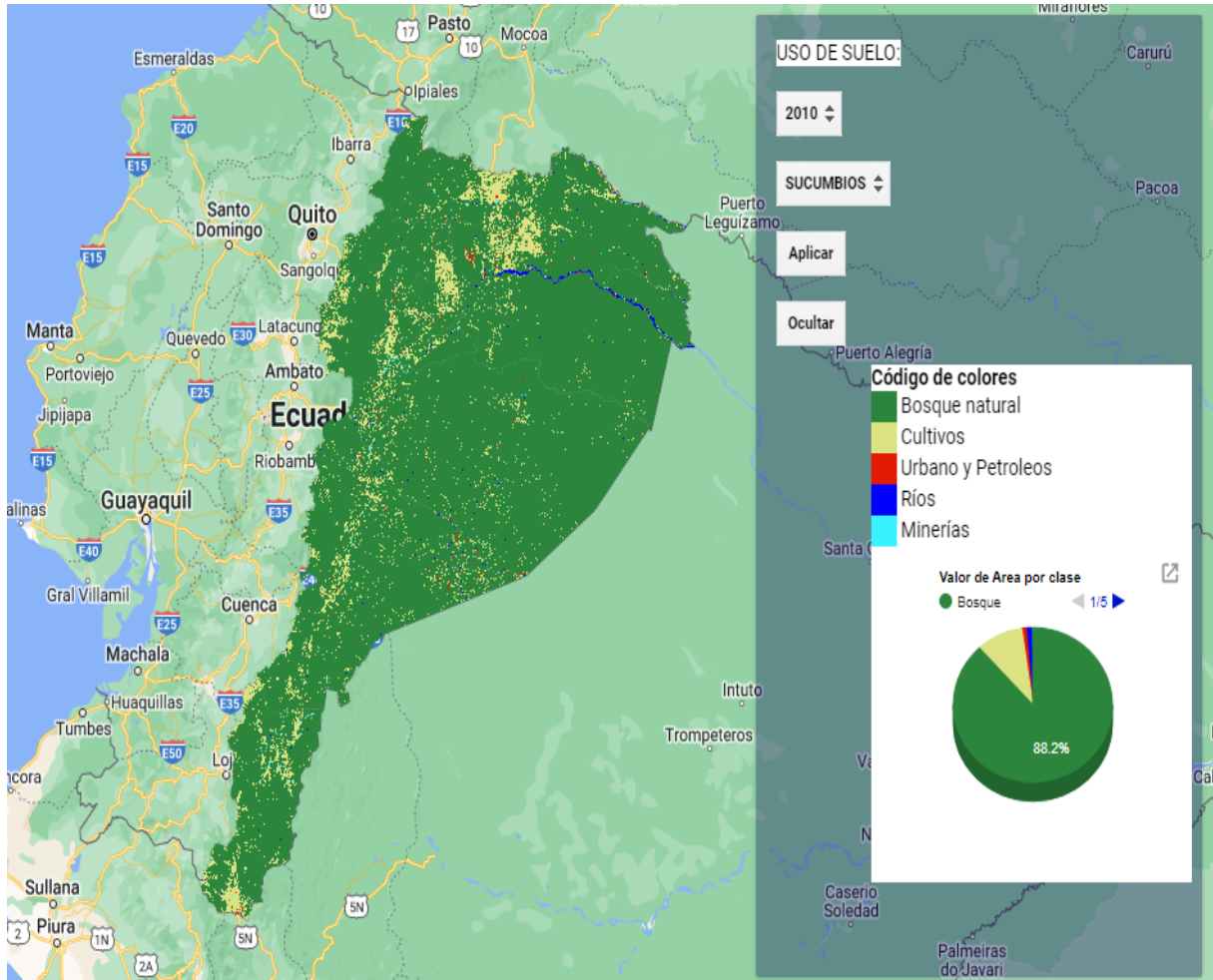


Nota: Diagrama de pastel del uso de suelo Fuente: Autores

En el año 2010 resulta relevante destacar los diferentes porcentajes correspondientes a cada tipo de cobertura de suelo. Según los hallazgos, el Bosque natural abarca el 89,755% del territorio, los cultivos representan el 8,580%, mientras que la Infraestructura Urbana y Petrolera ocupa un 0,643%, los ríos un 0,840% y la Minería un 0,182%. De esta información, se puede inferir que la extensión más grande corresponde a los Bosques.

Figura 25

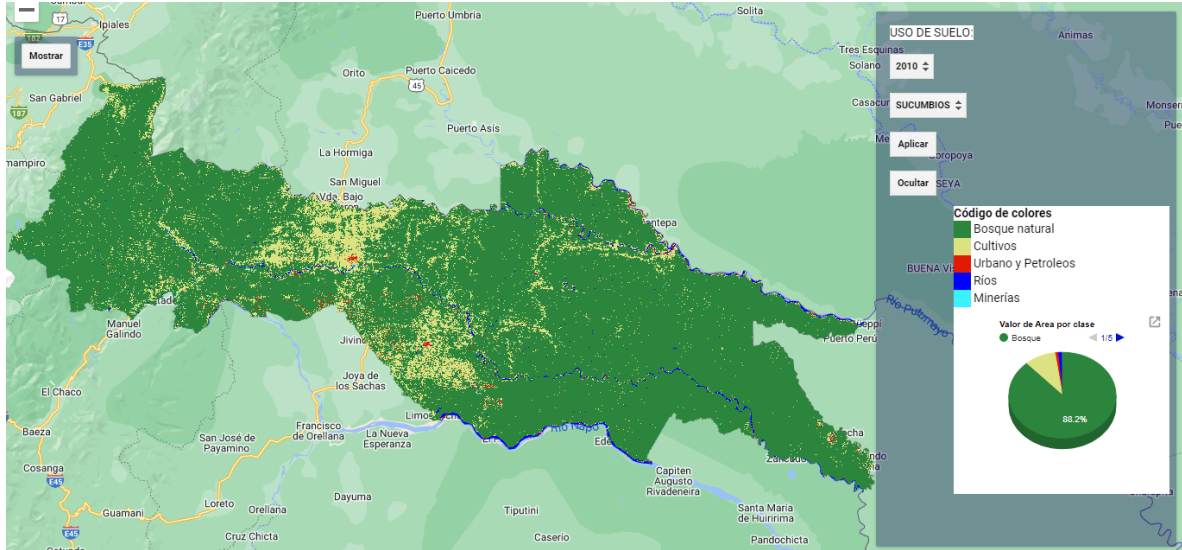
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al área de análisis en el año 2010.



Nota: Mapa de clasificación de uso de suelo Fuente: Autores

Figura 26

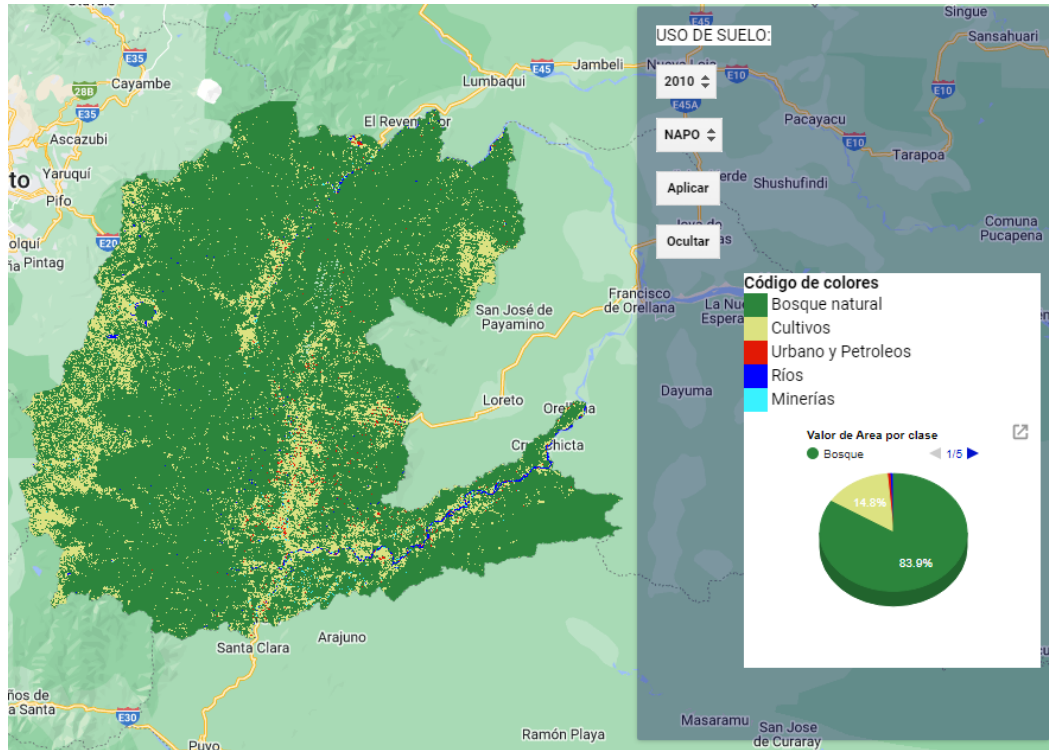
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el año 2010.



Nota: Mapa de Sucumbíos Fuente: Autores

Figura 27

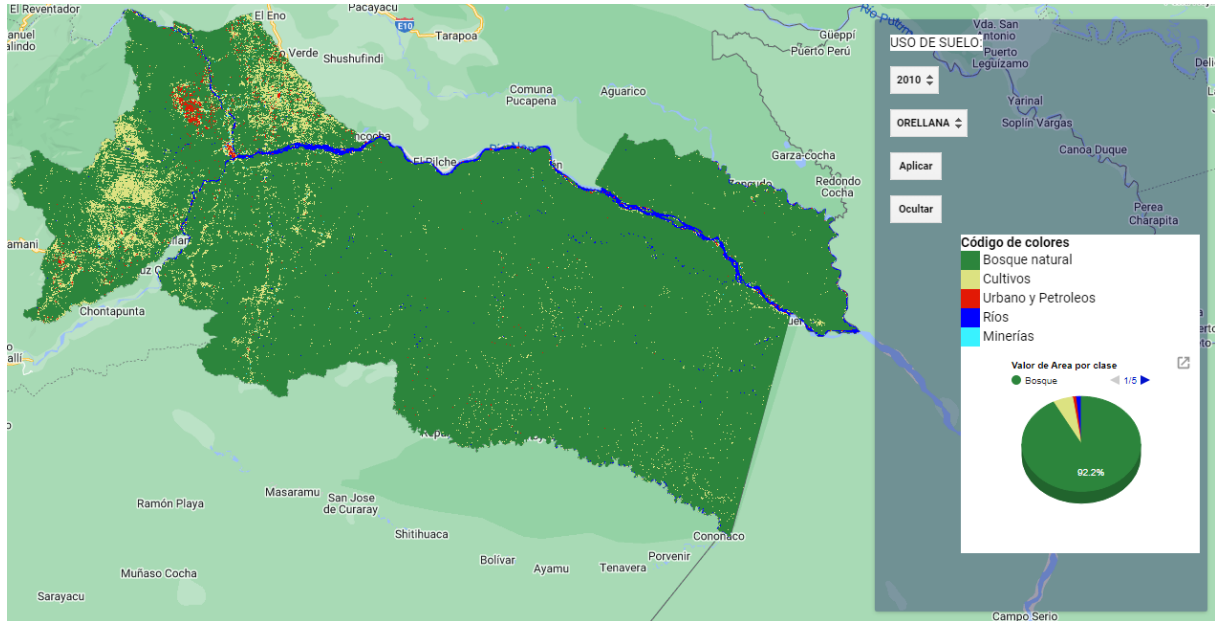
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el año 2010



Nota: Mapa de Napo Fuente: Autores

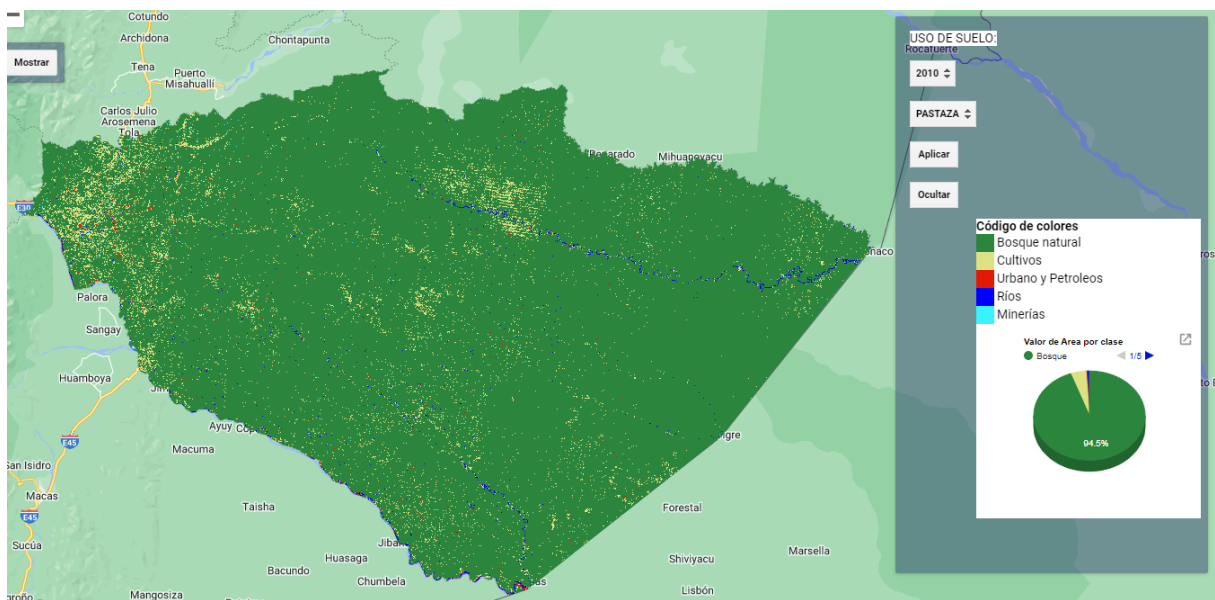
Figura 28

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el año 2010.



Nota: Mapa de Orellana Fuente: Autores  
Figura 29

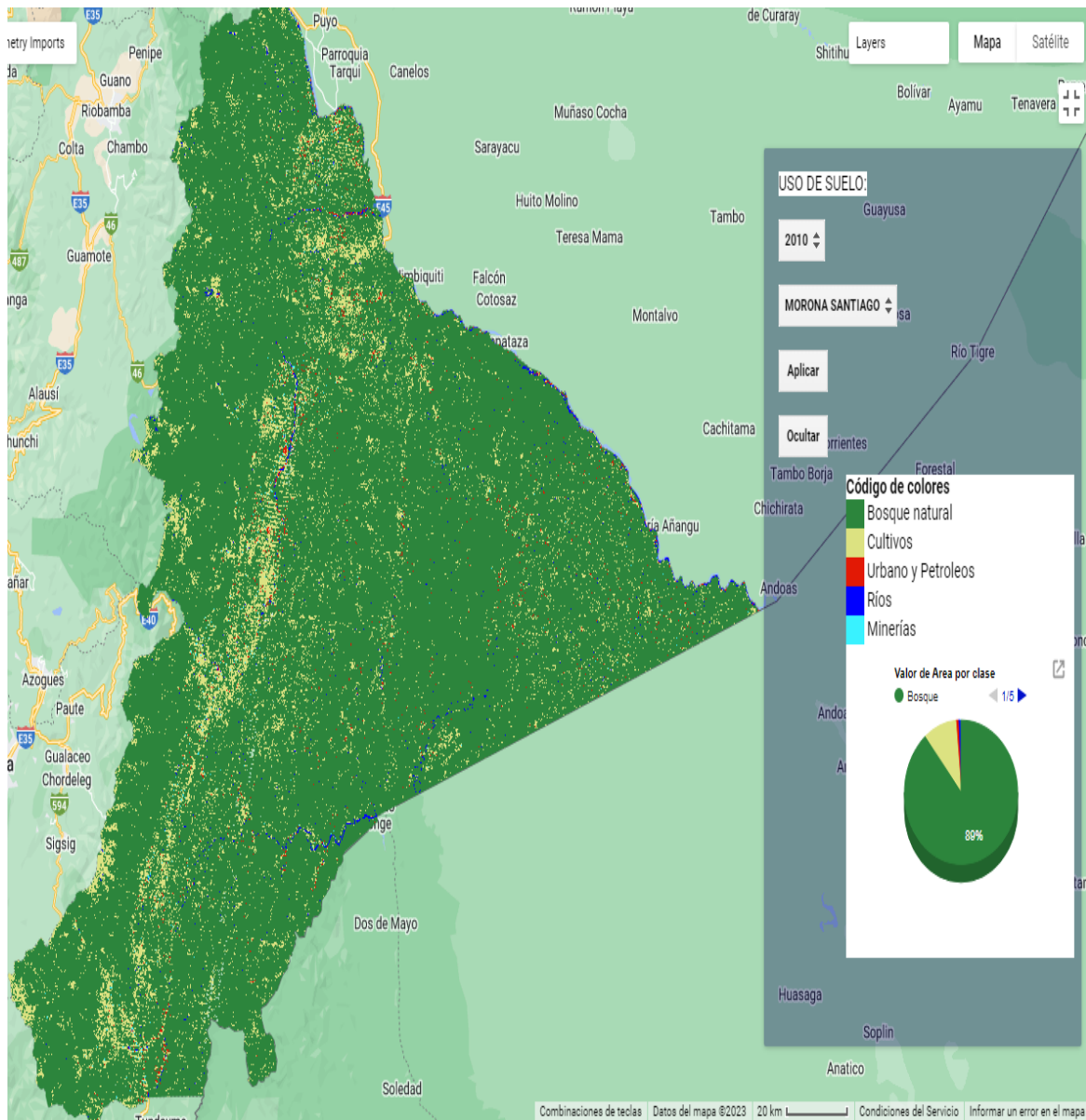
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el año 2010.



Nota: Mapa de Pastaza Fuente: Autores

Figura 30

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el año 2010.

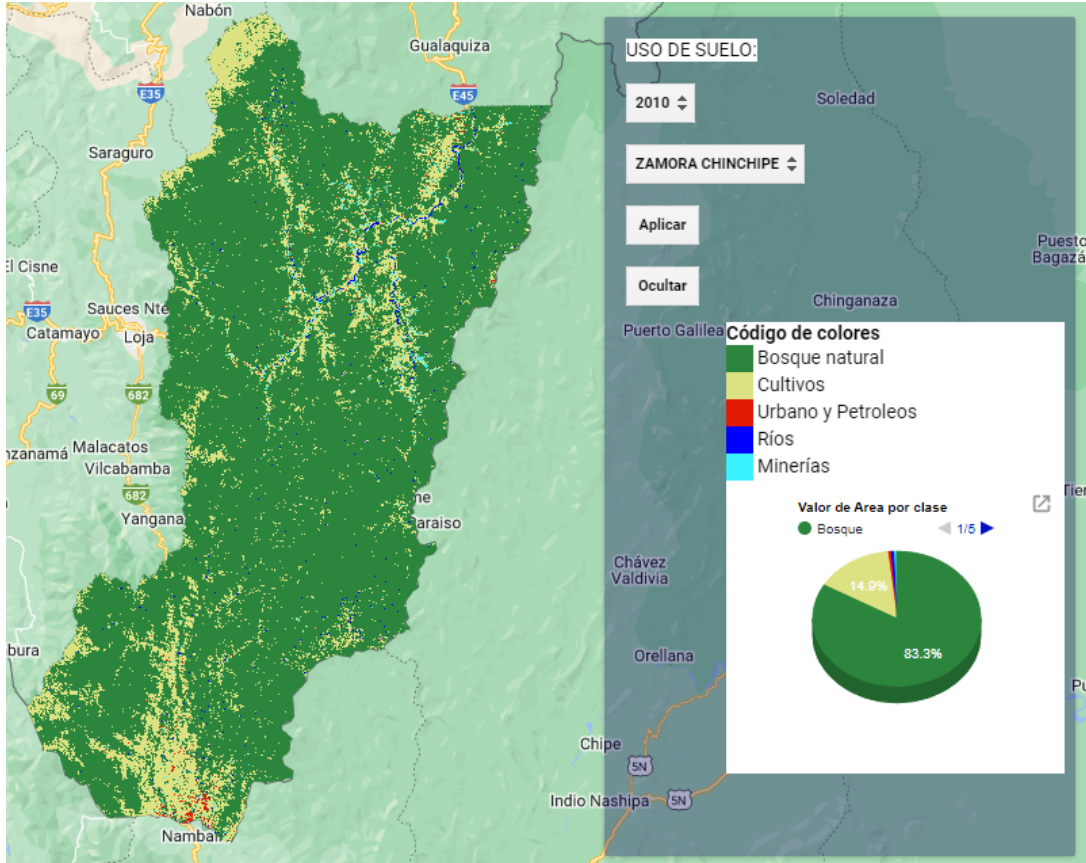


Nota: Mapa de Morona Santiago Fuente: Autores



Figura 31

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2010.



Nota: Mapa de Zamora Chinchipe Fuente: Autores

#### 4.2.4 Matriz de confusión para el año 2016

**Tabla 18**

*Matriz de Confusión y índice Kappa en el año 2016*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2016</b>						
<b>Clasificación</b>	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	85212	1286	131	29	33	86691
<b>Cultivos</b>	4672	6884	173	46	159	11934
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	717	339	1969	10	67	3102
<b>Ríos</b>	409	110	23	1785	36	2363
<b>Minería</b>	151	444	69	69	921	1654
<b>TOTAL</b>	91161	9063	2365	1939	1216	105744
<b>Sumatoria de diagonales</b>			96771			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			485			
<b>Coeficiente Kappa</b>			0,915			

Nota: Matriz de Confusión e índice Kappa Fuente: Autores

Se creó una base muestral que abarca 485 polígonos distribuidos entre las 5 categorías previamente definidas. La cantidad de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes a este año en el área de estudio ascendió a 105744. En la Tabla 18 se expone el índice Kappa correspondiente al año 2016, con un valor registrado de 0.915.

Para la metodología de muestreo aleatorio estratificado se emplearon 60 puntos dentro de las 5 categorías establecidas, y el número de píxeles empleados para el entrenamiento en la

clasificación de las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio para cada año analizado fue de 300, tal como se presenta en el Anexo 17. En dicho anexo, se muestra el índice Kappa correspondiente a este año, el cual registra un valor de 0.691.

**Tabla 19**

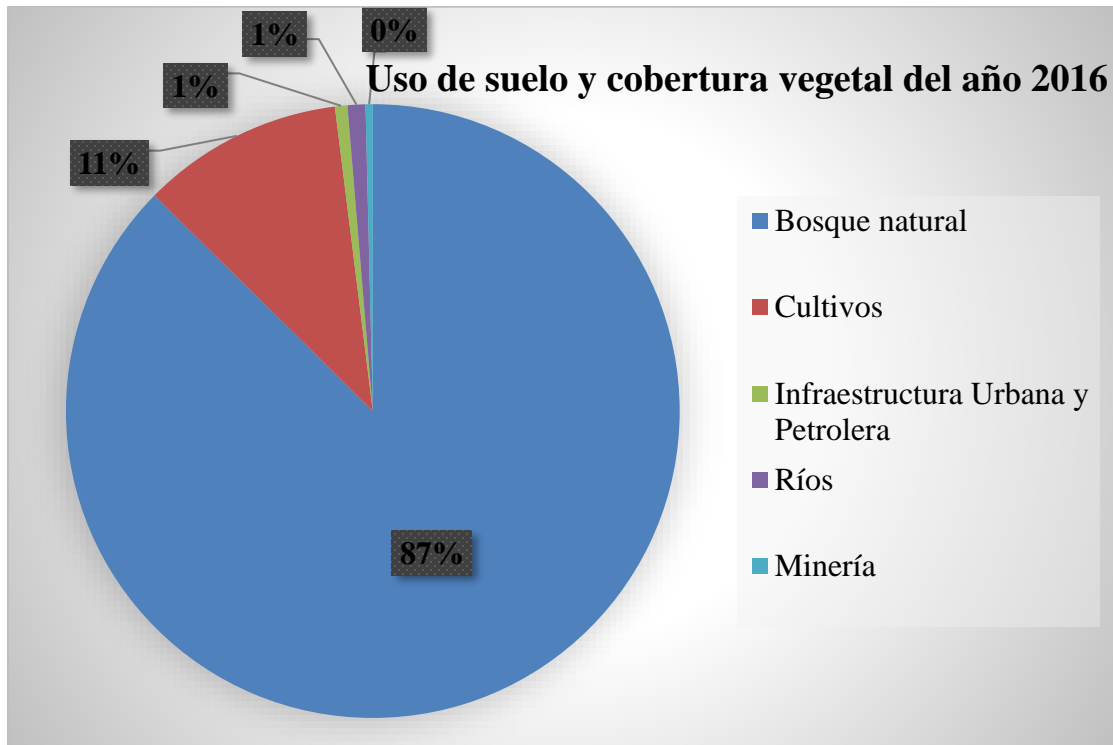
*Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2016*

Zona de estudio de la región amazónica del Ecuador del año 2016		
<b>Uso de suelo y cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque natural	10141476,02	87,399
Cultivos	1232667,92	10,623
Infraestructura Urbana y Petrolera	76602,69	0,660
Ríos	108737,29	0,937
Minería	44102,33	0,380

Nota: Clasificación del uso de suelo Fuente: Autores

Figura 32

Uso de suelo y cobertura vegetal del año 2016

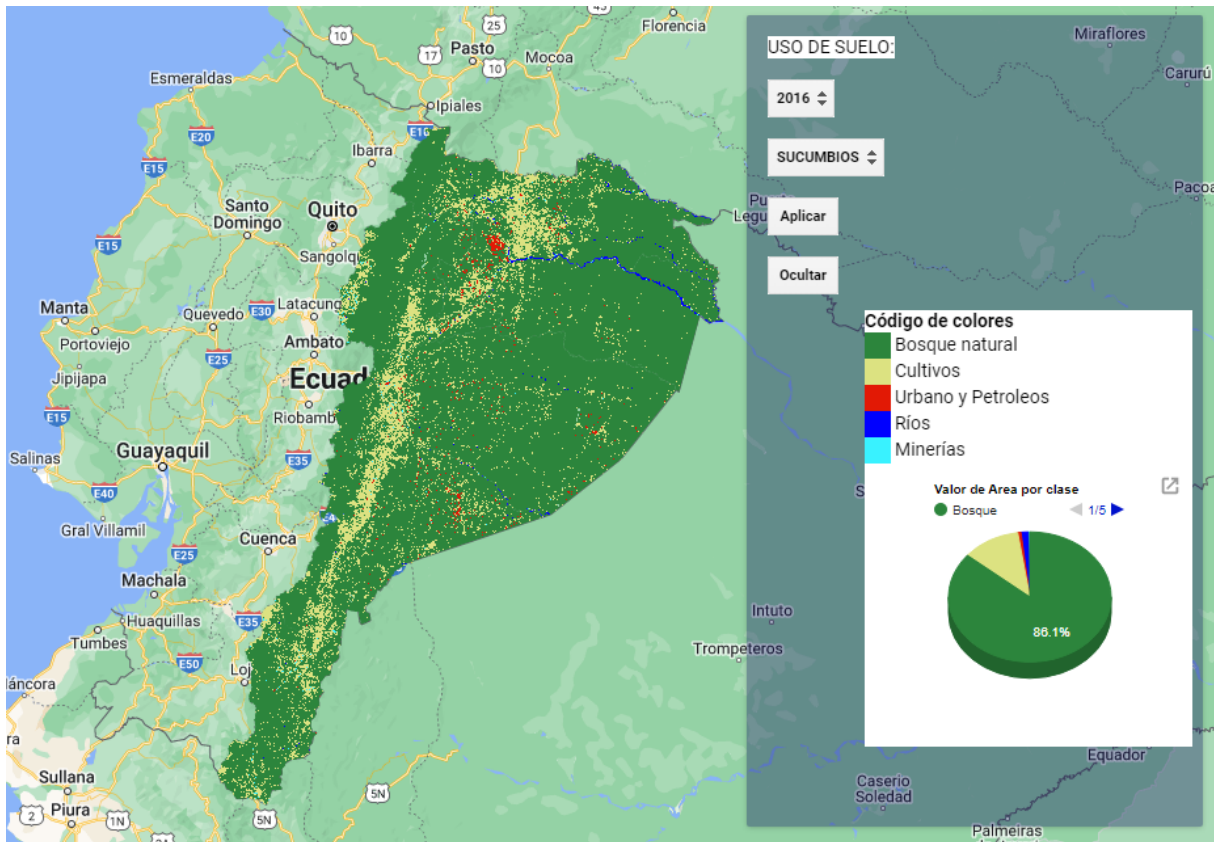


Nota: Diagrama de pastel de uso de suelo Fuente: Autores

En el año 2016 resulta relevante destacar los diferentes porcentajes correspondientes a cada tipo de cobertura de suelo. Según los hallazgos, el Bosque natural abarca el 87,399% del territorio, los cultivos representan el 10,623%, mientras que la Infraestructura Urbana y Petrolera ocupa un 0,660%, los ríos un 0,937% y la Minería un 0,380%. De esta información, se puede inferir que la extensión más grande corresponde a los Bosques.

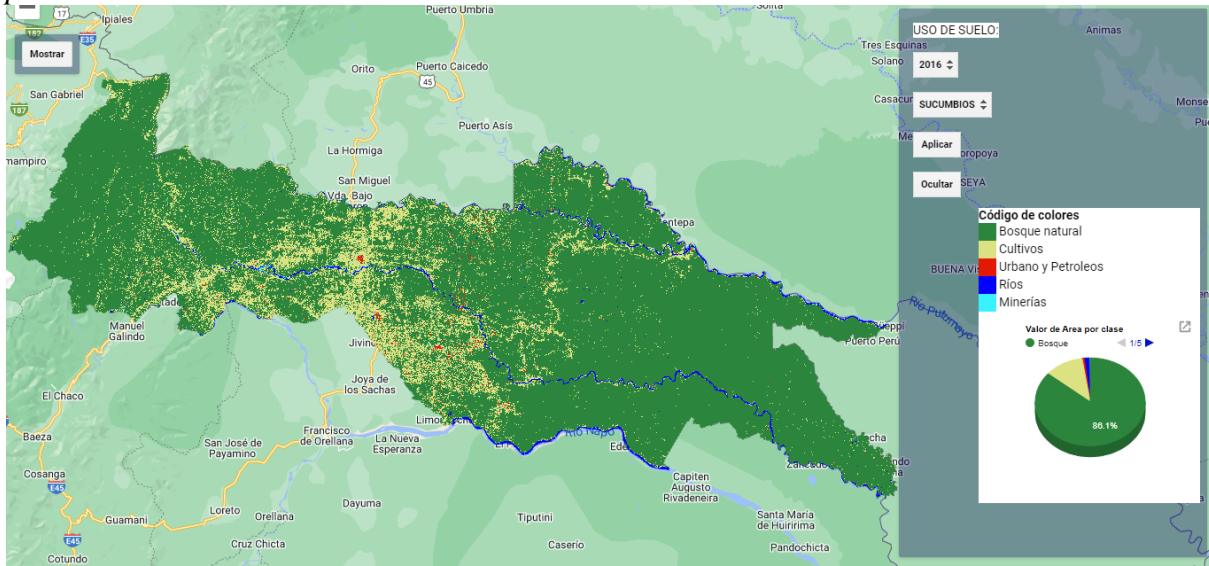
Figura 33

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al área de análisis en el año 2016.



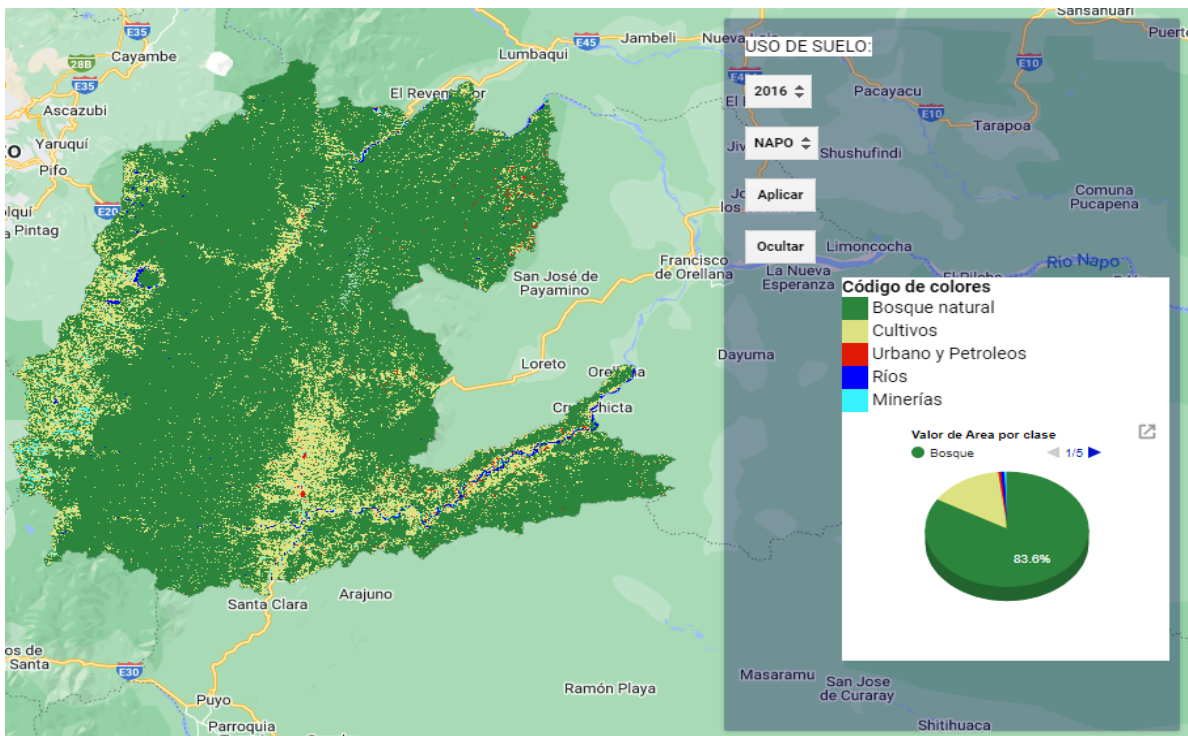
Nota: Mapa de clasificación de uso de suelo Fuente: Autores

**Figura 34**  
 Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el año 2016.



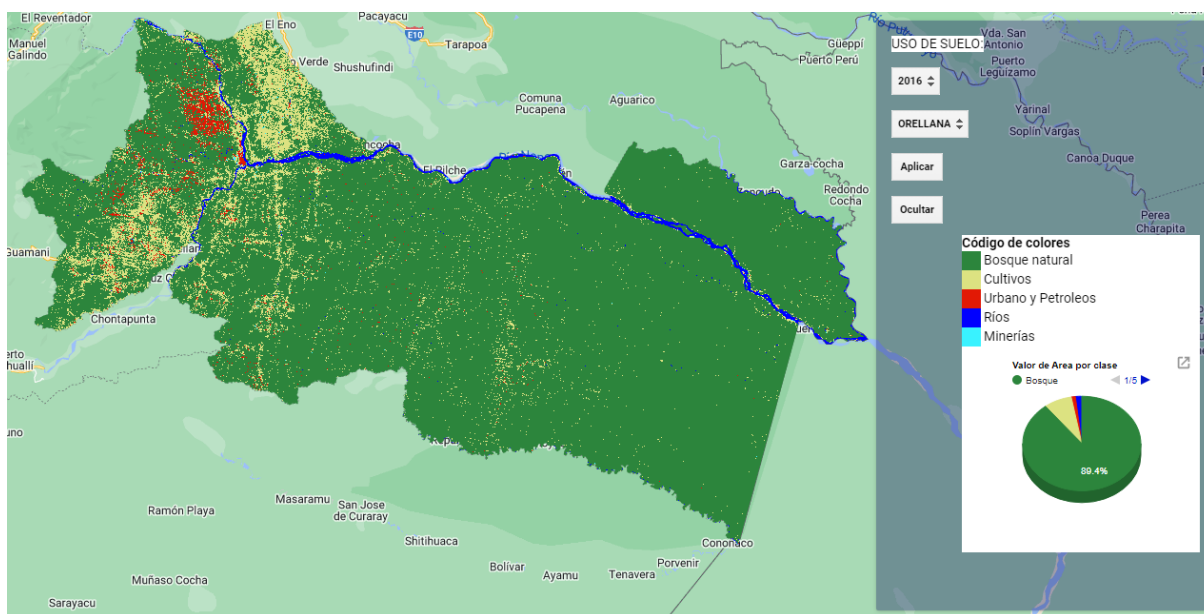
Nota: Mapa de Sucumbíos Fuente: Autor

**Figura 35**  
 Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el año 2016.



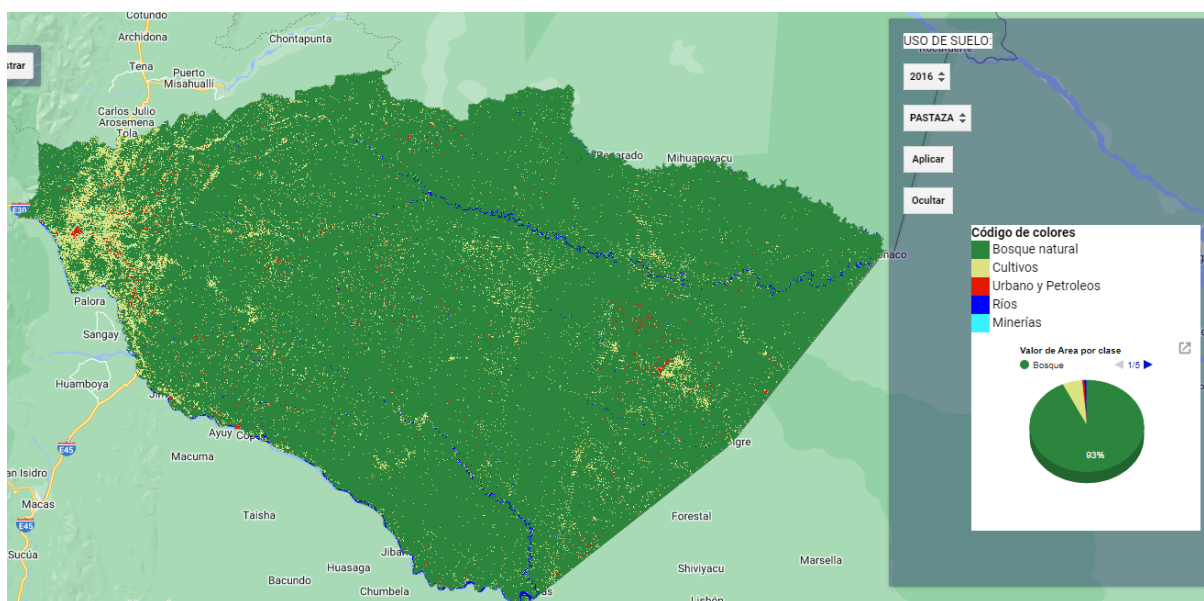
Nota: Mapa de Napo Fuente: Autores

*Figura 36*  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el año 2016.*



Nota: Mapa de Orellana Fuente: Autores

*Figura 37*  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el año 2016.*

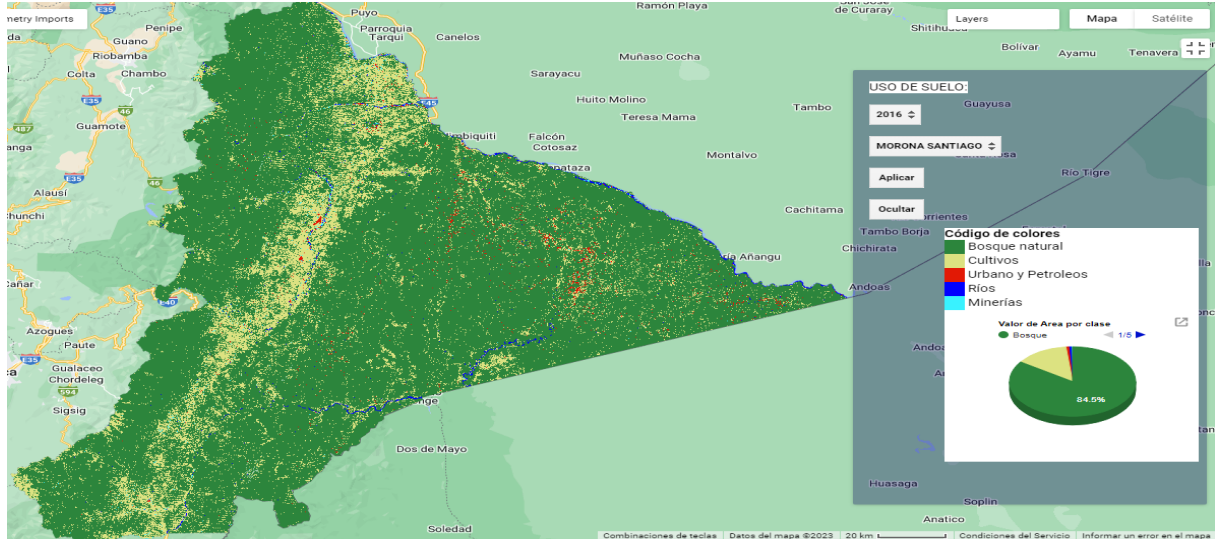


Nota: Mapa de Pastaza. Fuente: Autores



*Figura 38*

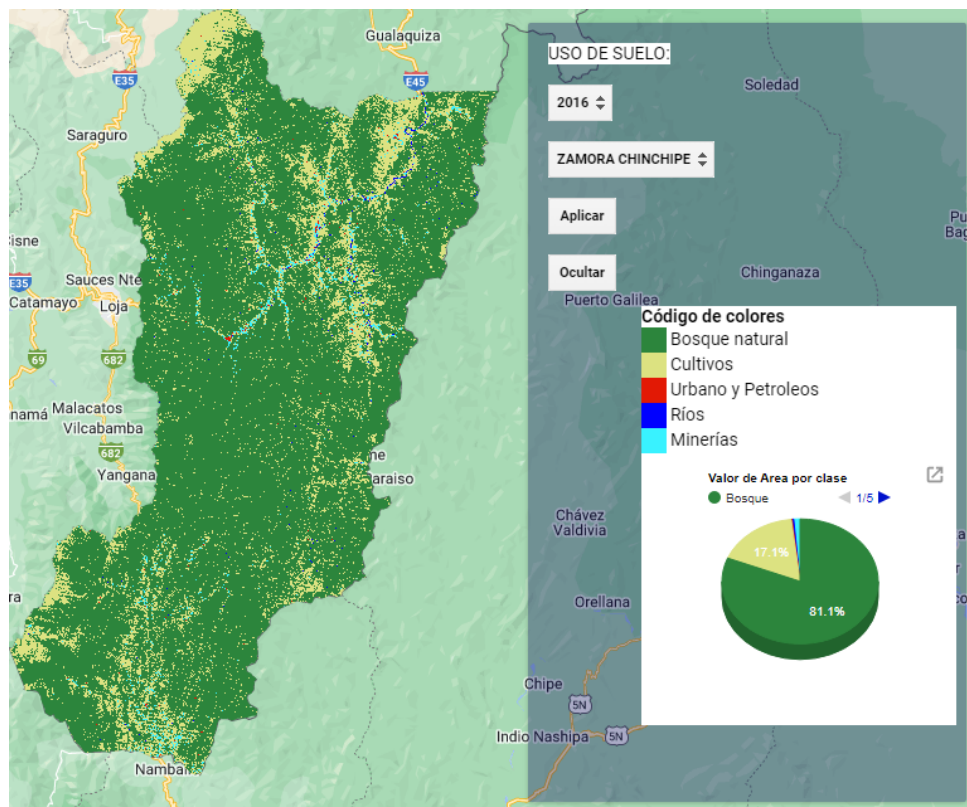
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el año 2016.*



Nota: Mapa de Morona Santiago. Fuente: Autores

*Figura 39*

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2016.*



Nota: Mapa de Zamora Chinchipe. Fuente: Autores

#### 4.2.5 Matriz de confusión para el año 2022

Tabla 20

Matriz de Confusión y índice Kappa en el año 2022

Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2022						
Clasificación	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	85488	1250	211	29	70	87048
<b>Cultivos</b>	4407	6933	305	29	198	11872
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	517	351	2234	6	53	3161
<b>Ríos</b>	511	58	15	1834	30	2448
<b>Minería</b>	258	393	93	37	873	1654
<b>TOTAL</b>	91181	8985	2858	1935	1224	106183

<b>Sumatoria de diagonales</b>	97362
<b>Numero de muestras recolectadas</b>	485
<b>Coefficiente Kappa</b>	0,916

Nota: Matriz de Confusión e índice Kappa. Fuente: Autores

Se creó una base muestral consistente en 485 polígonos distribuidos en las 5 categorías establecidas. La cantidad de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes a este año en el área de estudio ascendió a 106183 polígonos de referencia aleatorios. En la Tabla 20 se expone el índice Kappa correspondiente al año 2022, que presenta un valor registrado de 0.916.

Para el enfoque de muestreo aleatorio estratificado se emplearon 60 puntos en cada una de las 5 categorías definidas, y el número de píxeles utilizados para el entrenamiento en la clasificación de las imágenes satelitales correspondientes al área de estudio para cada año analizado fue de 300, como se muestra en el Anexo 18. En dicho anexo, se presenta el índice Kappa correspondiente a este año, el cual registra un valor de 0.711.

### **Tabla 21**

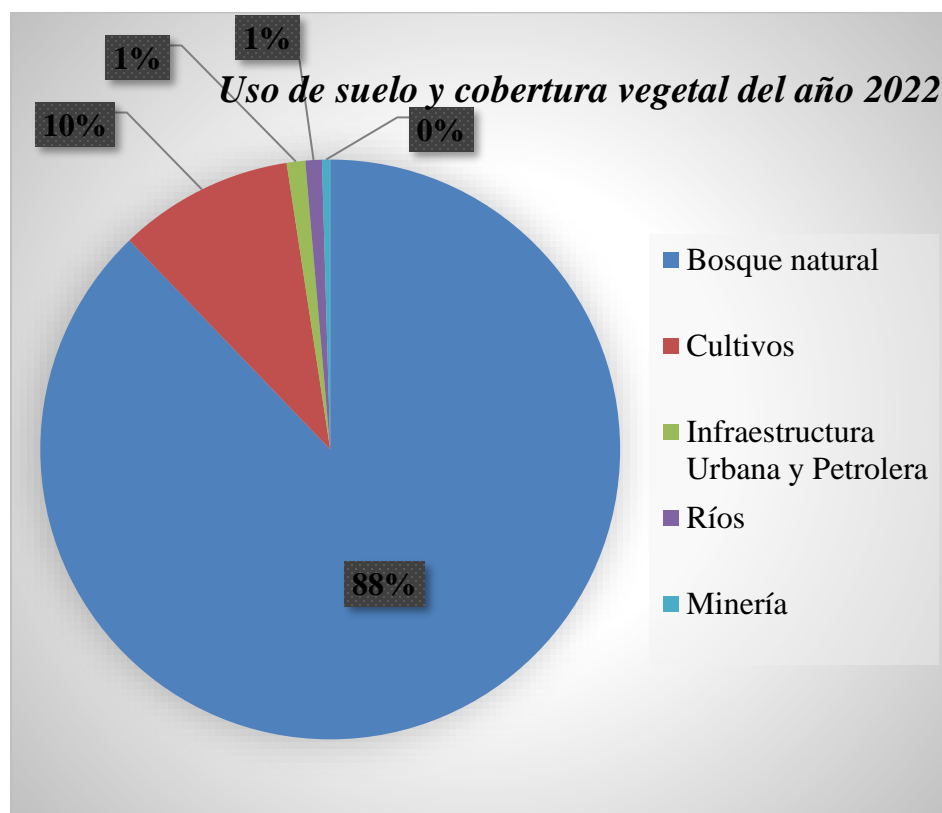
*Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2022*

<i>Clasificación del uso de suelo y cobertura vegetal del año 2022</i>		
<b>Uso de suelo y cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
Bosque natural	10185624,38	87,817
Cultivos	1133787,56	9,775
Infraestructura Urbana y Petrolera	119827,46	1,033
Ríos	106403,61	0,917

Minería	52924,64	0,456
---------	----------	-------

Nota: Clasificación del uso de suelo. Fuente: Autores

**Figura 40**  
*Uso de suelo y cobertura vegetal del año 2022*

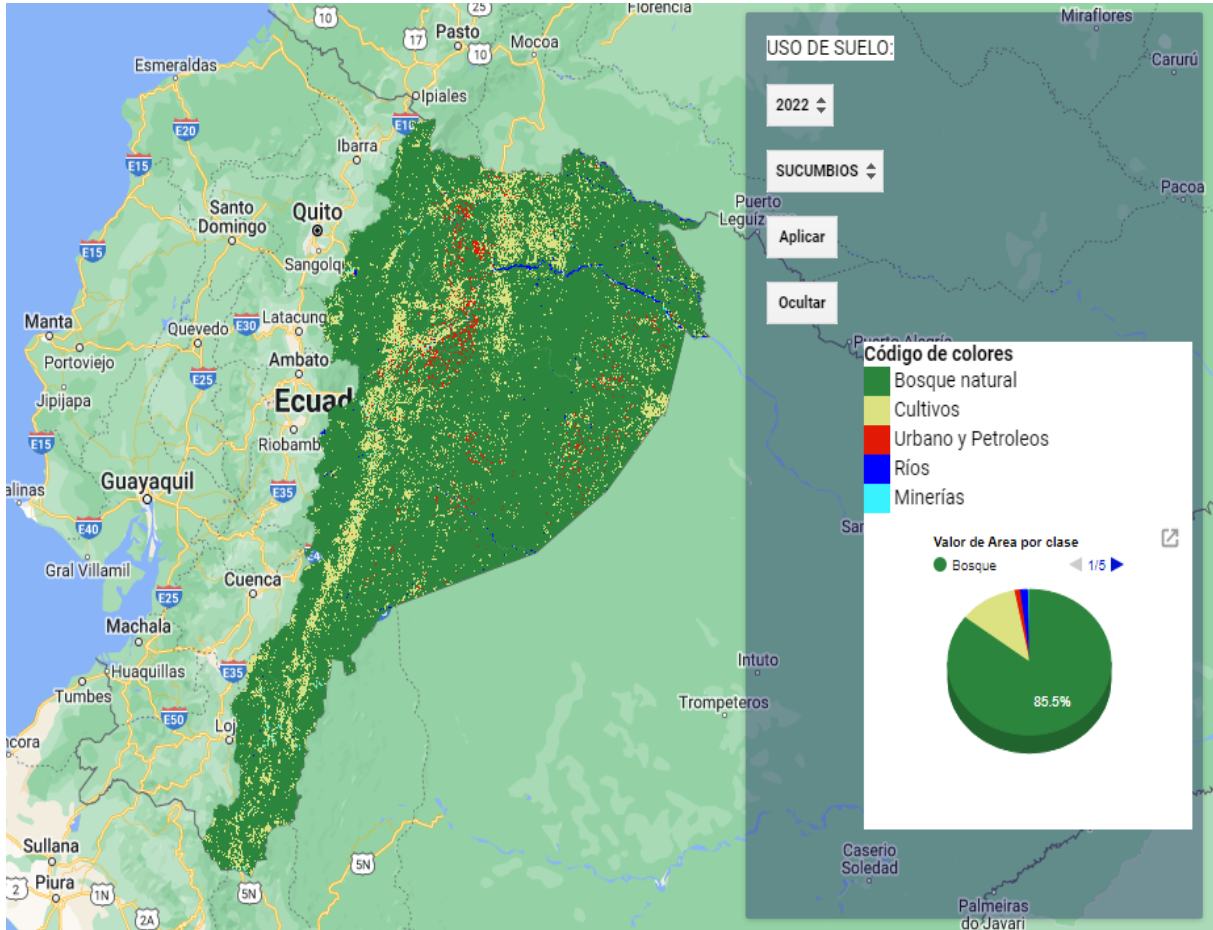


Nota: Diagrama de pastel de uso de suelo. Fuente: Autores

En el año 2022 resulta relevante destacar los diferentes porcentajes correspondientes a cada tipo de cobertura de suelo. Según los hallazgos, el Bosque natural abarca el 87,81% del territorio, los cultivos representan el 9,77%, mientras que la Infraestructura Urbana y Petrolera ocupa un 1,033%, los ríos un 0,91% y la Minería un 0,45%. De esta información, se puede inferir que la extensión más extensa corresponde a los Bosques.

**Figura 41**

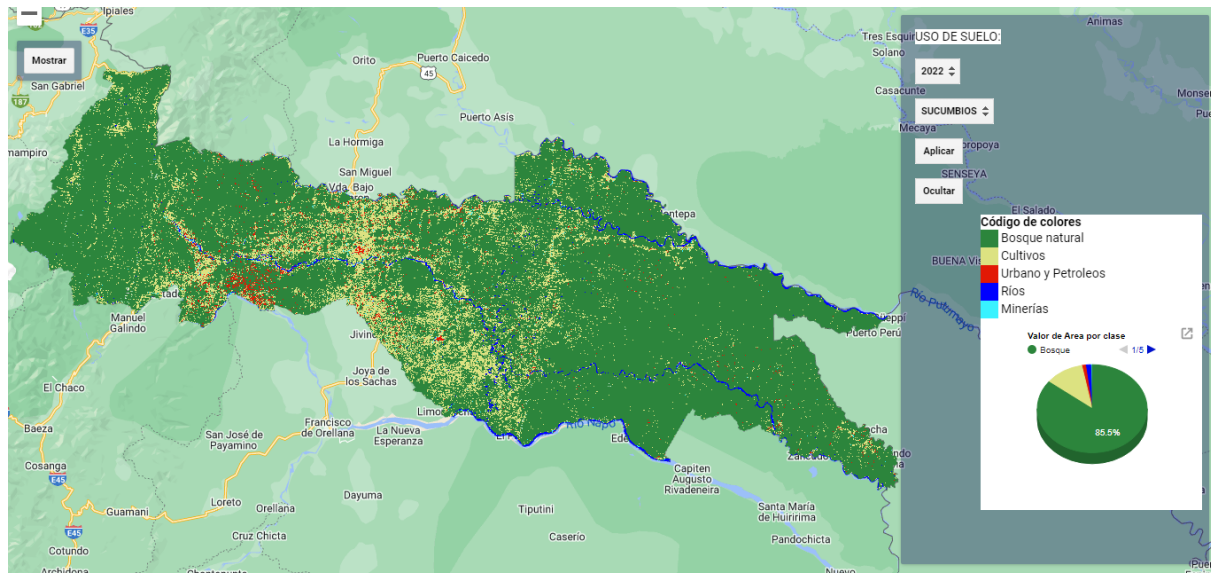
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al área de análisis en el año 2022.



Nota: Mapa de clasificación de uso de suelo. Fuente: Autores

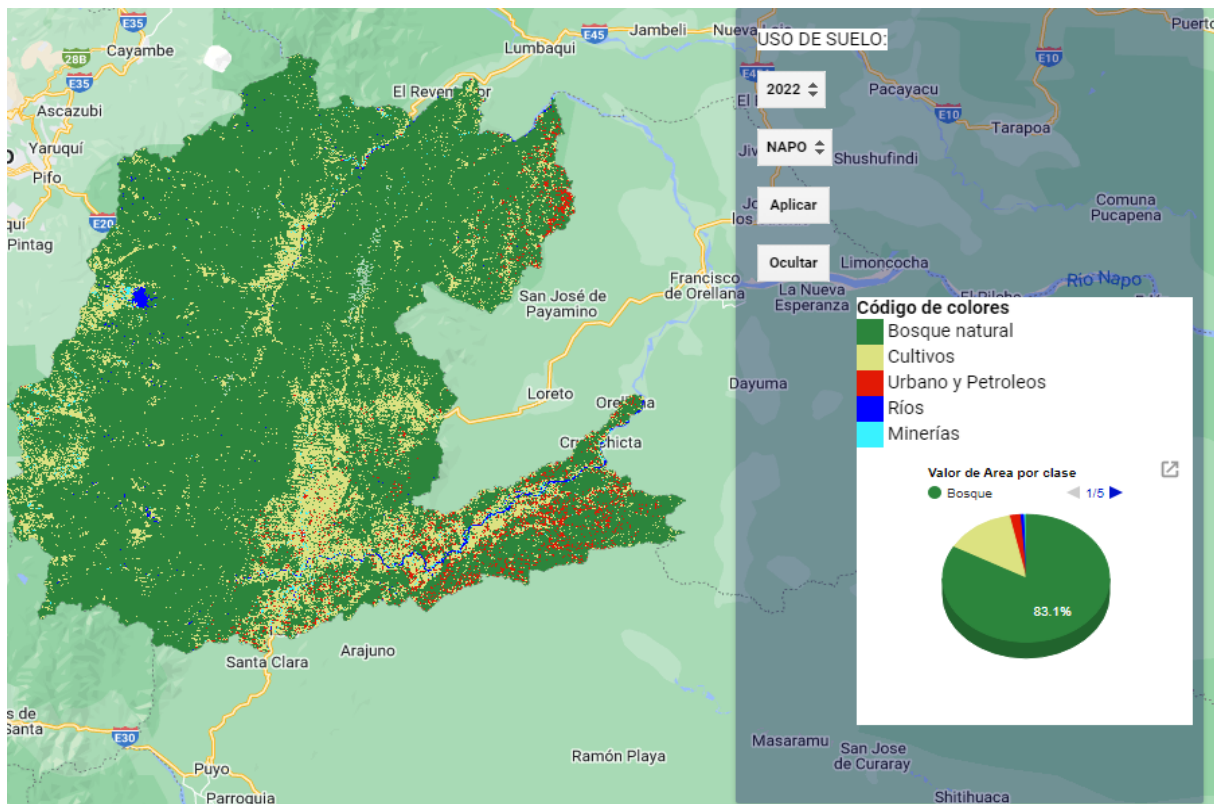
**Figura 42**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el año 2022.



Nota: Mapa de Sucumbíos. Fuente: Autores

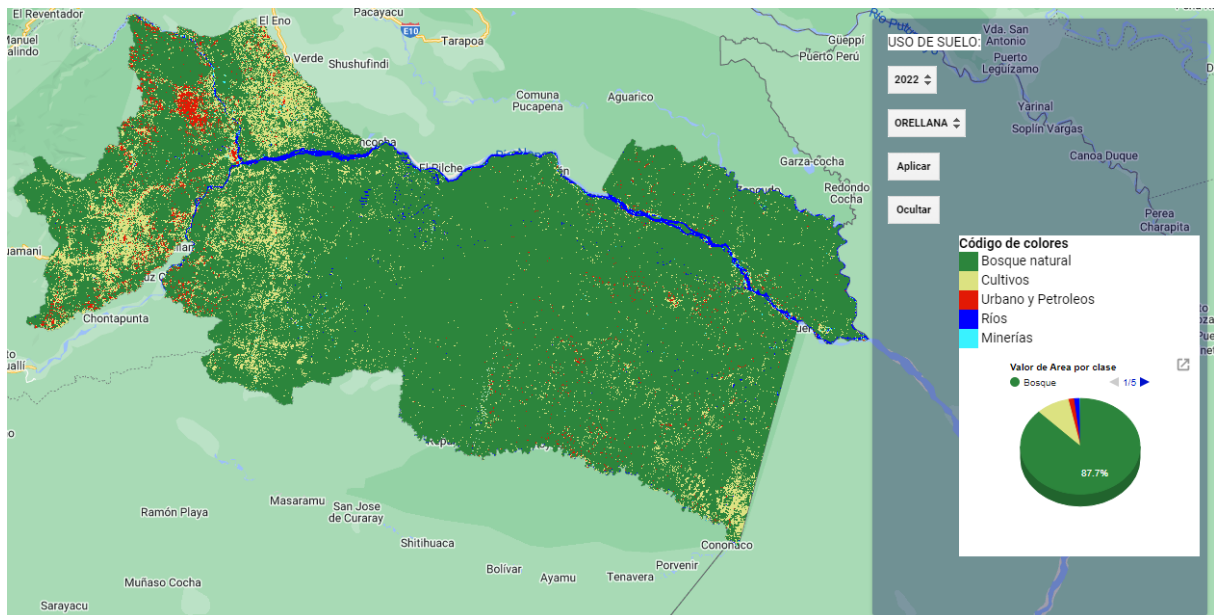
**Figura 43**  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el año 2022.*



Nota: Mapa de Napo. Fuente: Autores

**Figura 44**

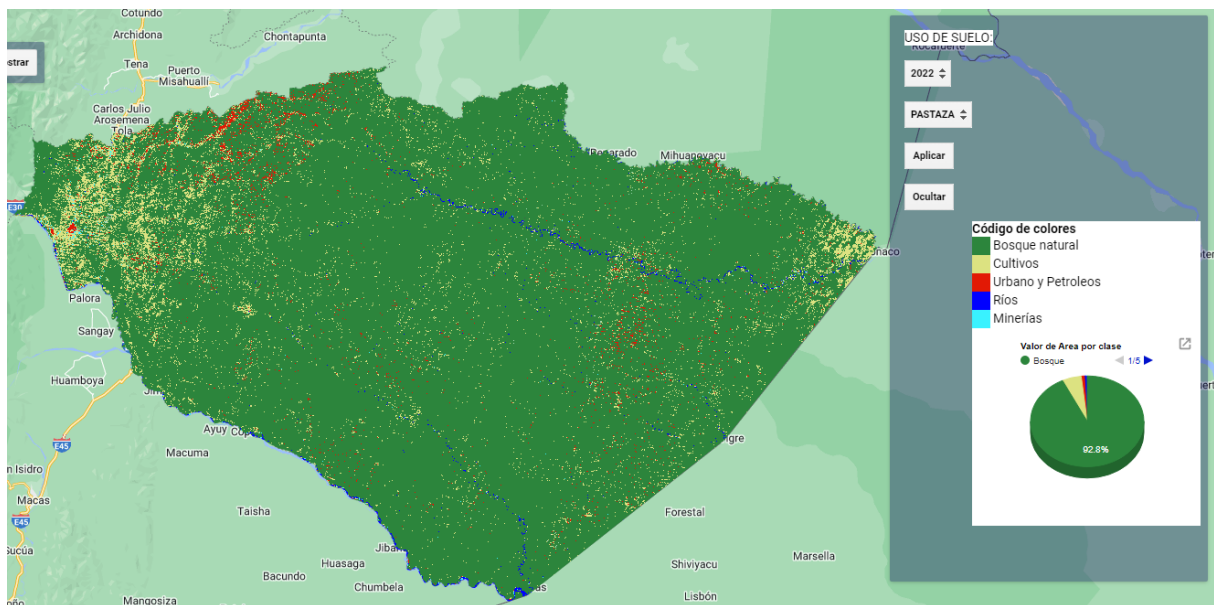
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el año 2022.



Nota: Mapa de Orellana. Fuente: Autores

**Figura 45**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el año 2022.

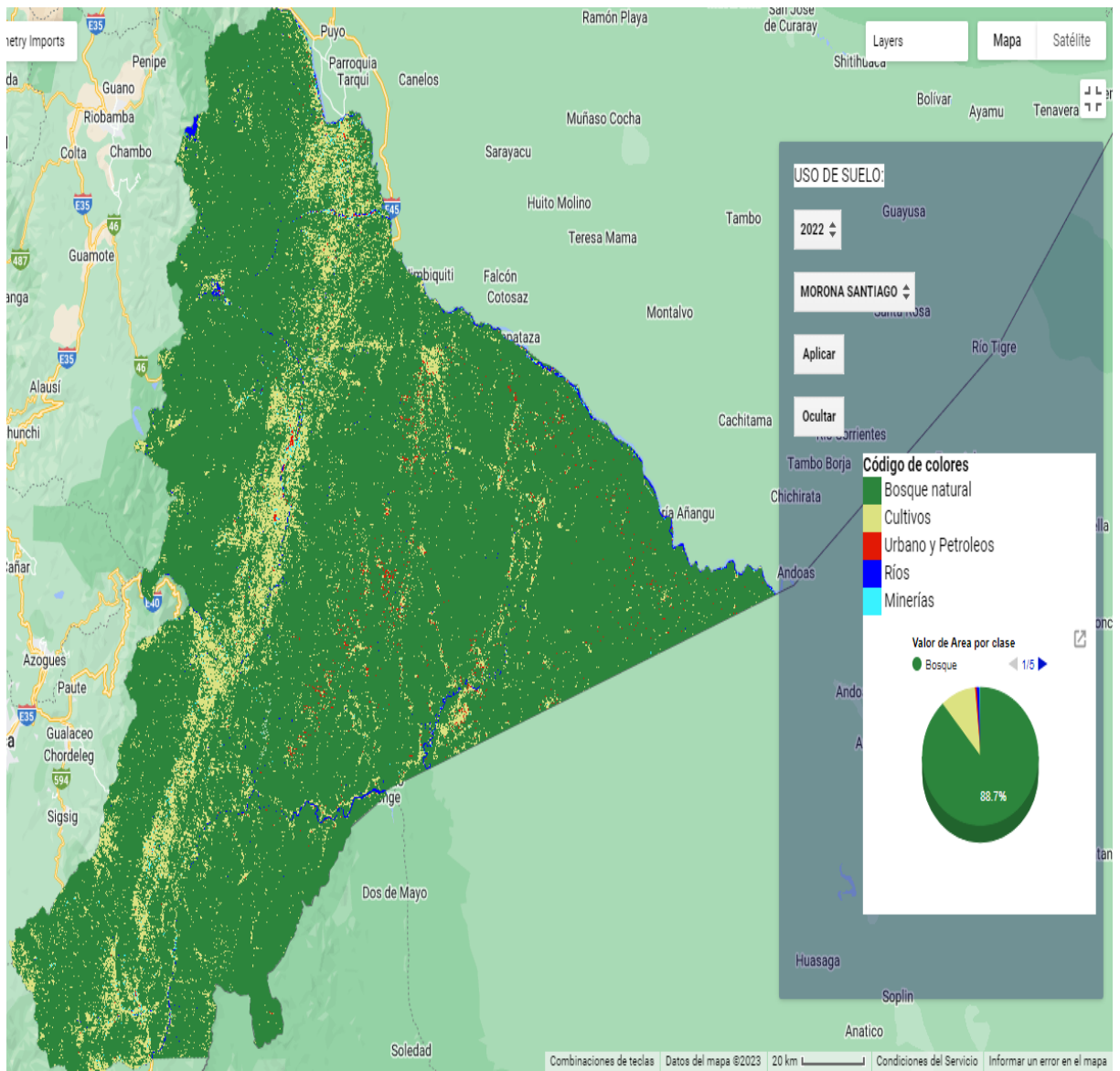


Nota: Mapa de Pastaza. Fuente: Autores

**Figura 46**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el año 2022.

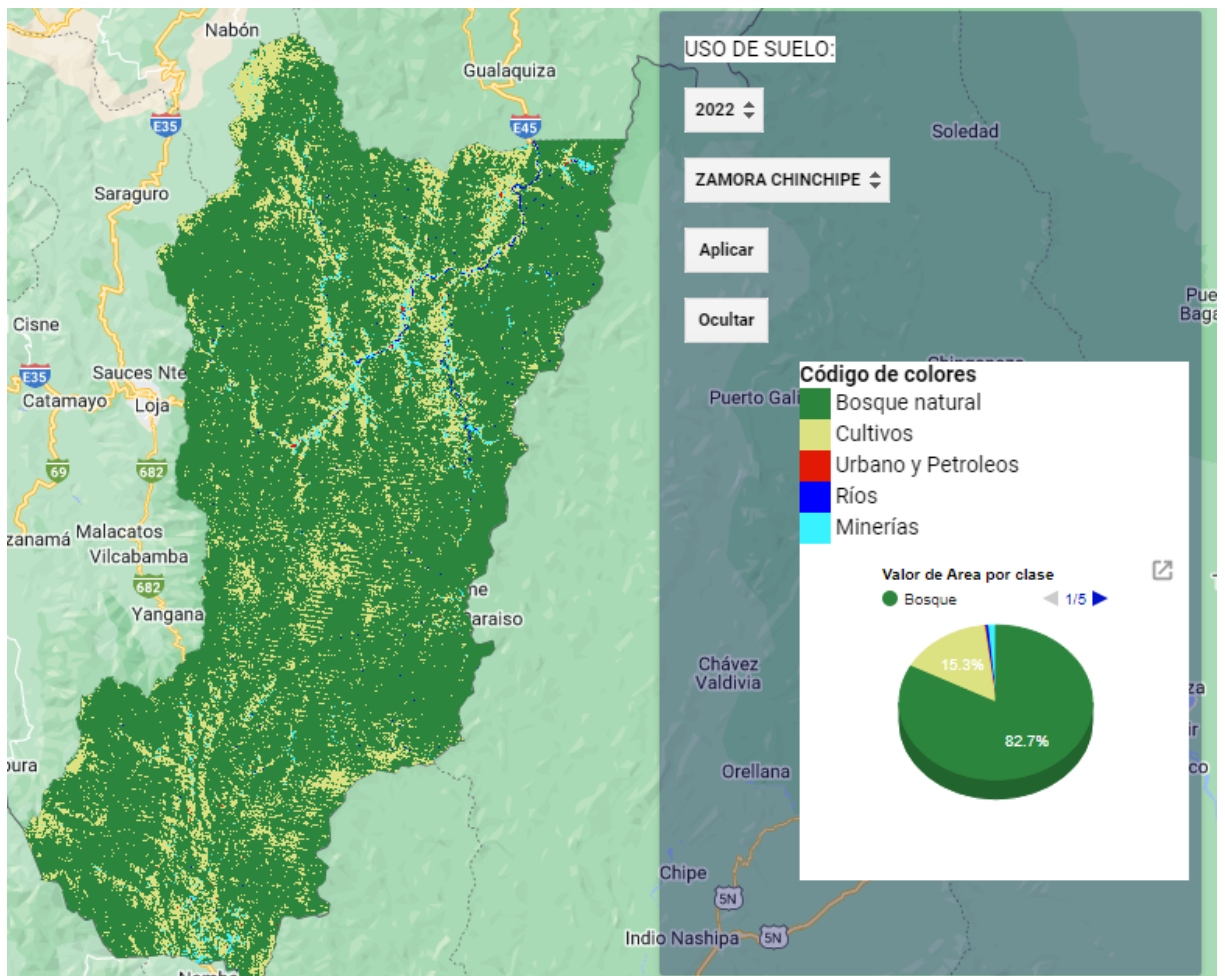




Nota: Mapa de Morona Santiago. Fuente: Autores

**Figura 47**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2022.



Nota: Mapa de Zamora Chinchipe. Fuente: Autores

### 4.3 Evaluación del cambio de Cobertura De Uso de Suelo

#### 4.3.1 Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2000-2005

La muestra de áreas respectivas de cada categoría de suelo o cobertura vegetal en los años 2000 y 2005. (Tabla 22)

**Tabla 22**

*Cambio de cobertura de uso de suelo en el período 2000 – 2005*

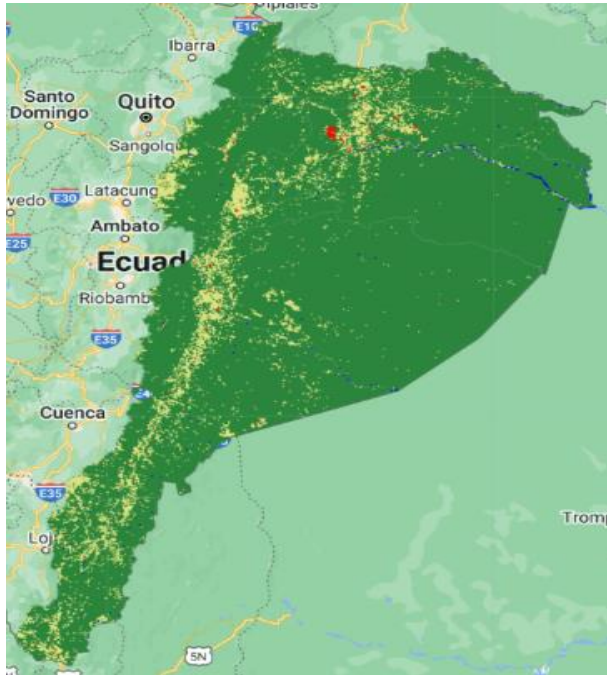
Uso de suelo y cobertura vegetal	Área ha		Reducción o Incremento de clases de suelo	Reducción o Incremento de clases de suelo (%)
	2000	2005		
Bosque natural	10369047	10014369	-354678,54	-1,529
Cultivos	1091845,8	1389576,5	297730,73	1,284
Infraestructura	33692,57	67279,41	33586,84	0,145
Urbana y Petrolera				
Ríos	98363,41	126755,56	28392,15	0,122
Minería	162,72	1530,88	1368,16	0,006

Nota: Cambio de cobertura de uso. Fuente: Autores

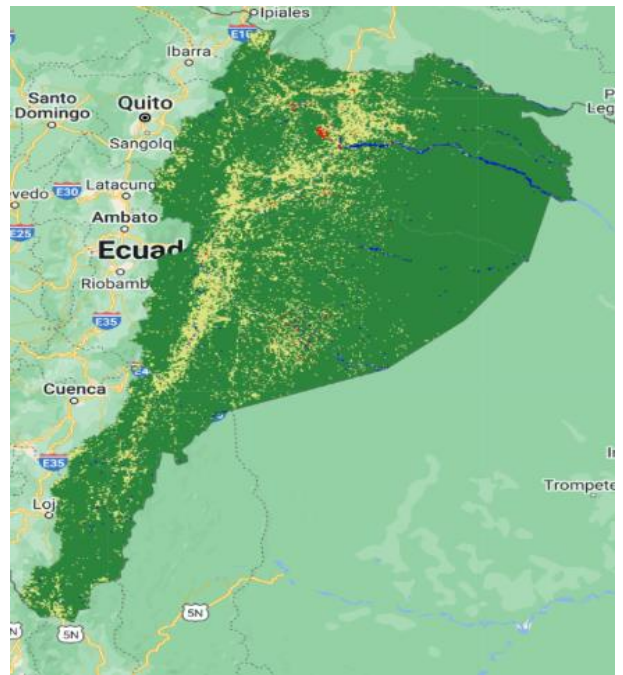
**Figura 48**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al período 2000 – 2005*

2000



2005

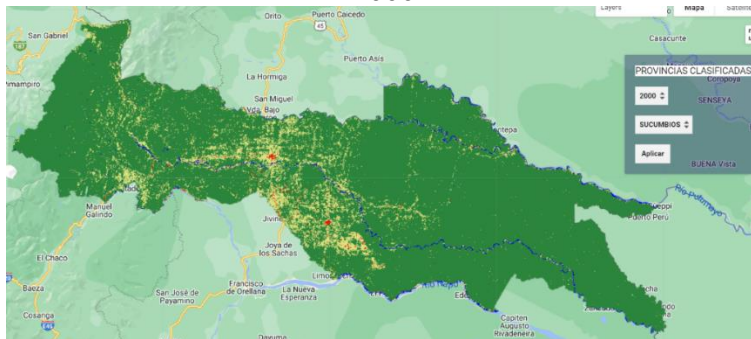


Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

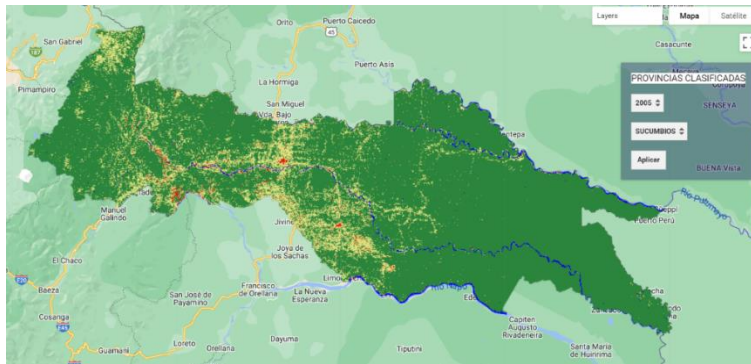
**Figura 49**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbios en el período 2000 – 2005*

2000



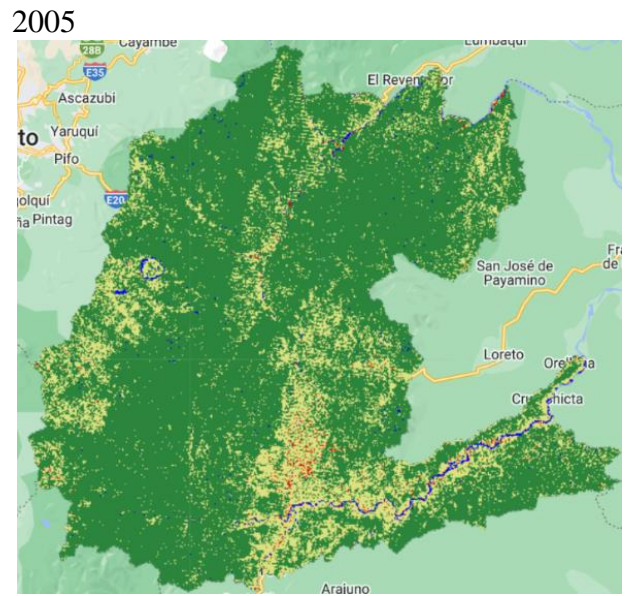
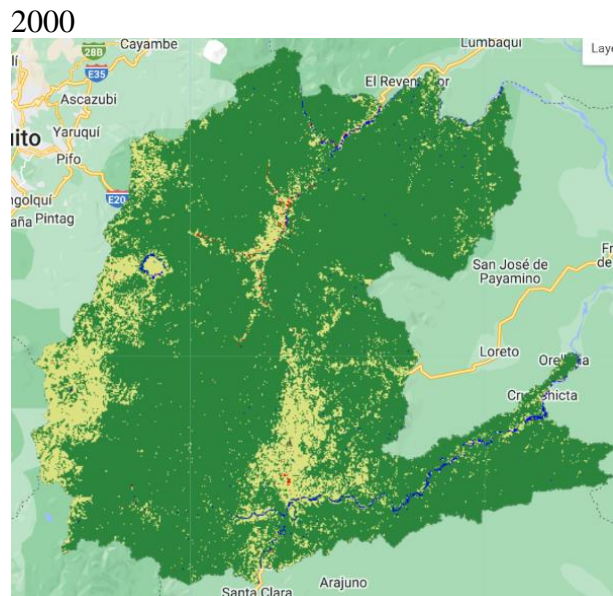
2005



Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

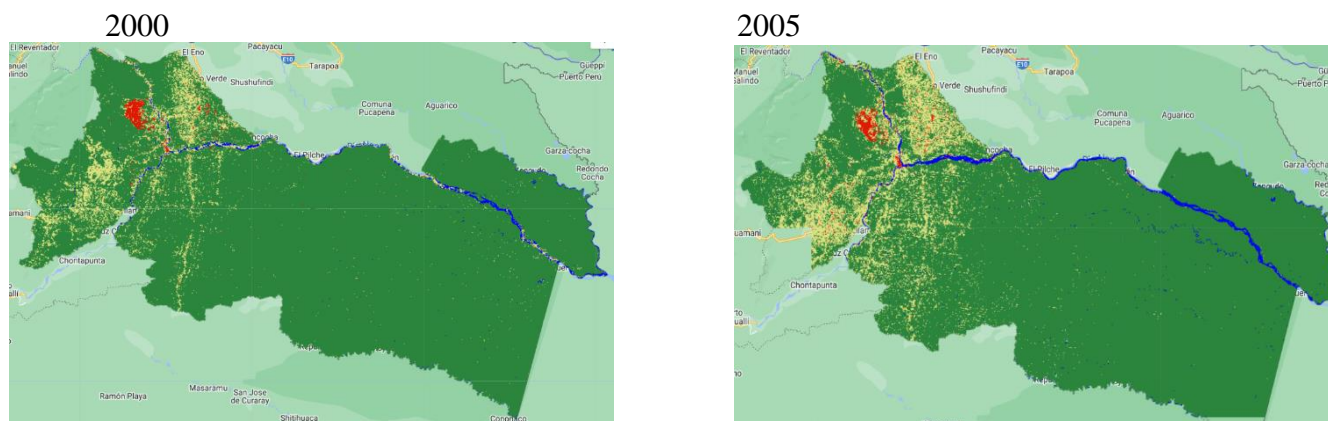
**Figura 50**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el período 2000 – 2005*



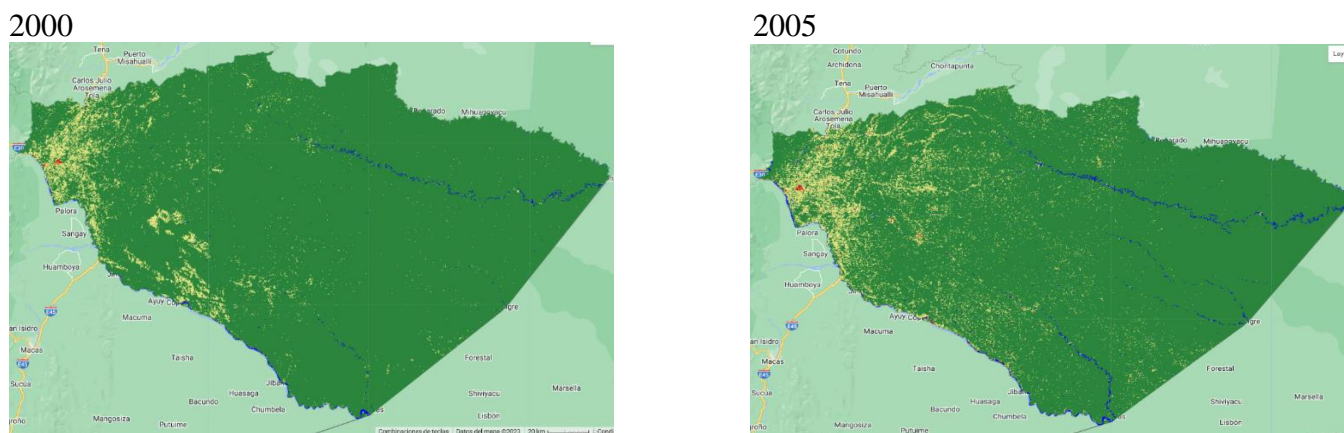
Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

**Figura 51**  
 Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el período 2000 – 2005



Nota: Mapa del periodo 2000-2005 Fuente: Autores

**Figura 52**  
 Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el período 2000 – 2005

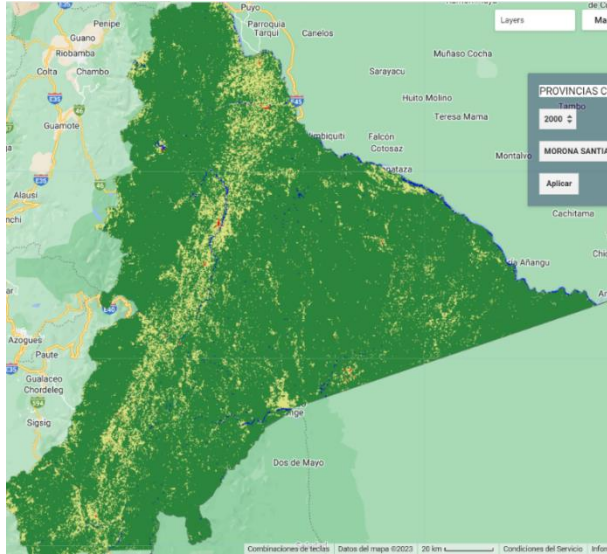


Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

**Figura 53**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el período 2000 – 2005

2000



2005



Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

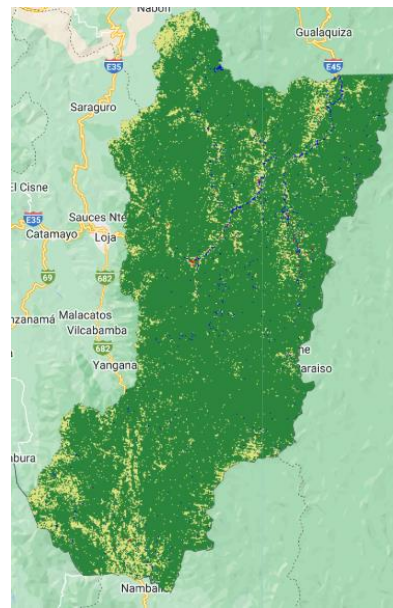
**Figura 54**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2000 – 2005

2000



2005



Nota: Mapa del periodo 2000-2005. Fuente: Autores

### 4.3.2 *Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2005-2010*

La muestra de áreas respectivas de cada categoría de suelo o cobertura vegetal en los años 2005 y 2010 (Tabla 23).

**Tabla 23**

*Cambio de cobertura de uso de suelo en el período 2005 – 2010*

Uso de suelo y cobertura vegetal	Área ha		Reducción o Incremento de clases de suelo	Reducción o Incremento de clases de suelo (%)
	2005	2010		
Bosque natural	10014369	10409125	394756,21	1,702
Cultivos	1389576,5	995050,92	-394525,56	-1,701
Infraestructura Urbana y Petrolera	67279,41	74513,86	7234,45	0,031
Ríos	126755,56	97470,92	-29284,64	-0,126
Minería	1530,88	21157,27	19626,39	0,085

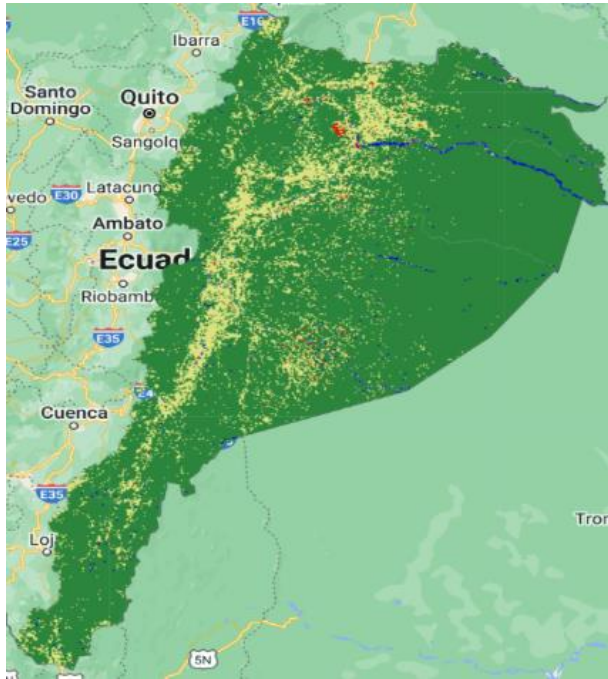
Nota: Cambio de cobertura de uso de suelo. Fuente: Autores



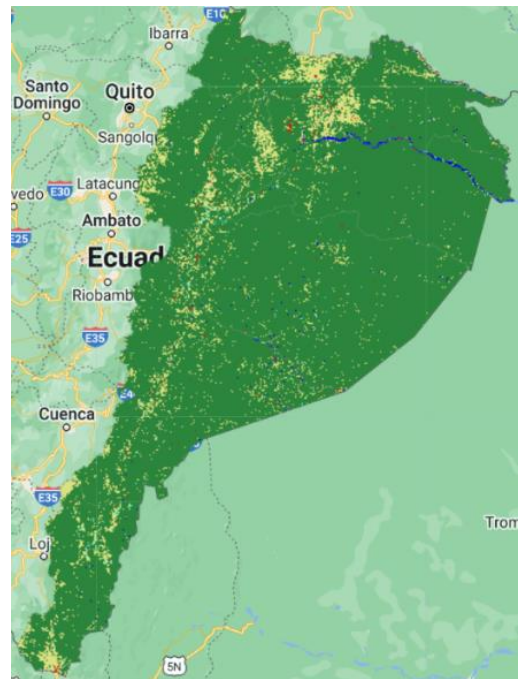
**Figura 55**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al período 2005 – 2010

2005



2010

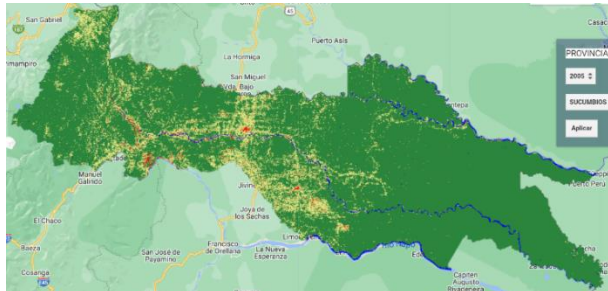


Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

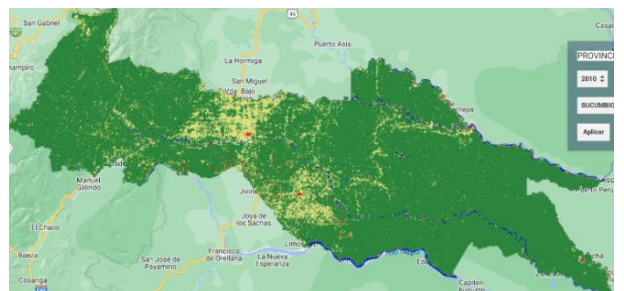
**Figura 56**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el período 2005 – 2010

2005



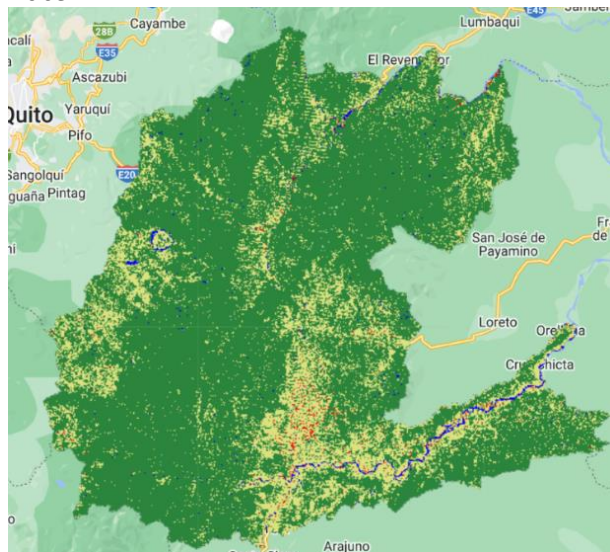
2010



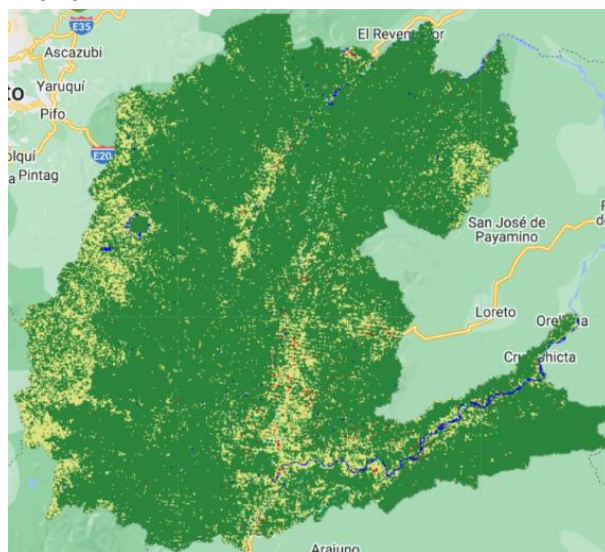
Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

**Figura 57**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el período 2005 – 2010



2010



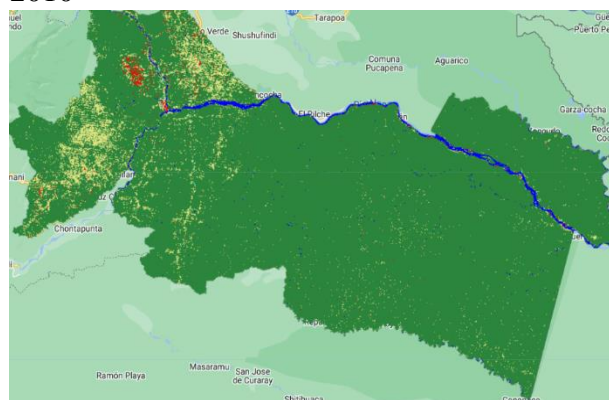
Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

**Figura 58**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el período 2005 – 2010



2010

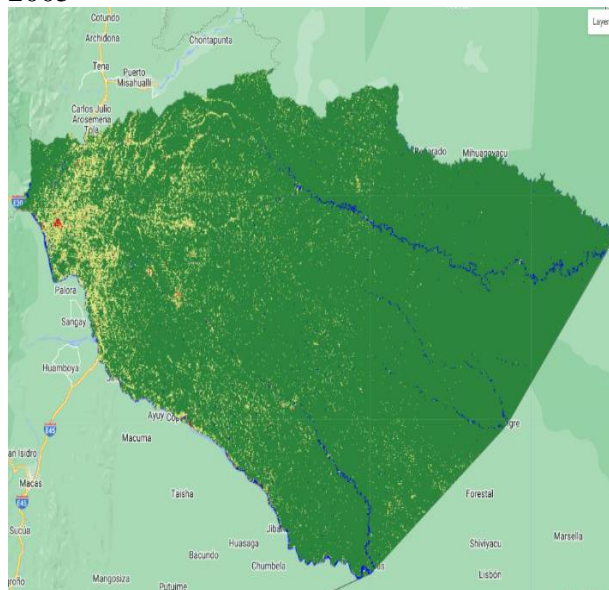


Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

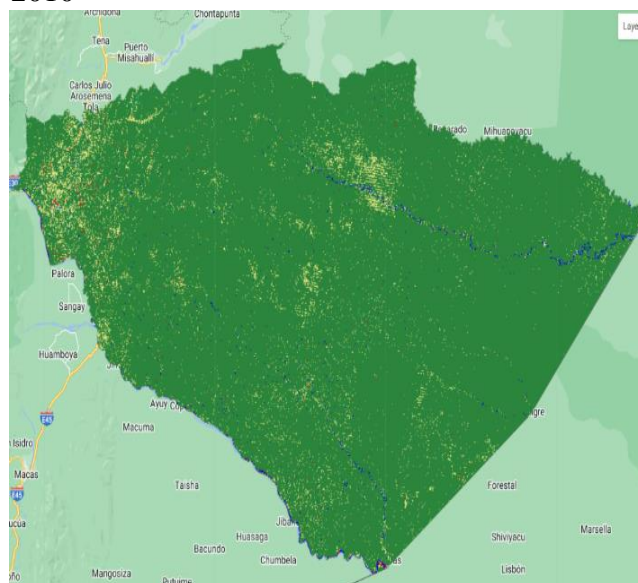
**Figura 59**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el período 2005 – 2010

2005



2010

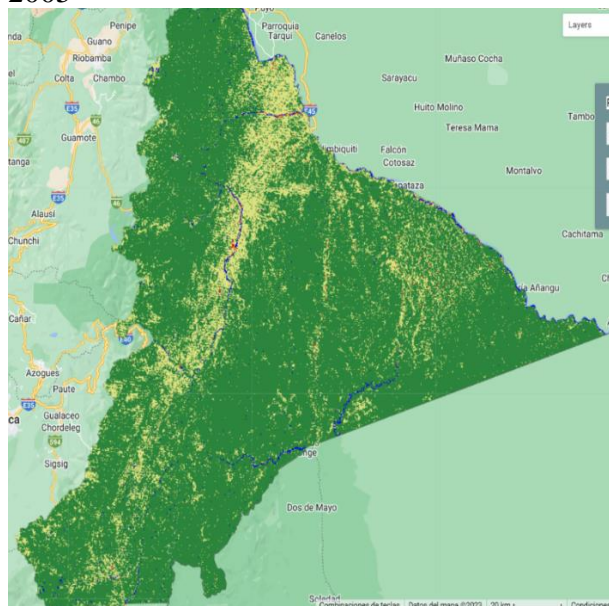


Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

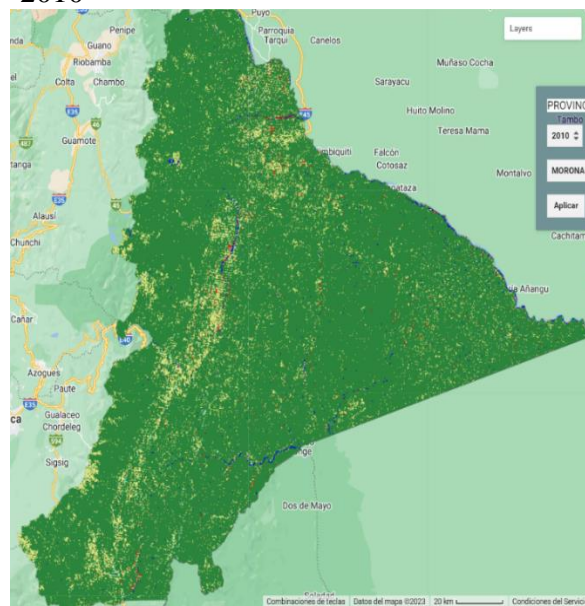
**Figura 60**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el período 2005 – 2010

2005



2010

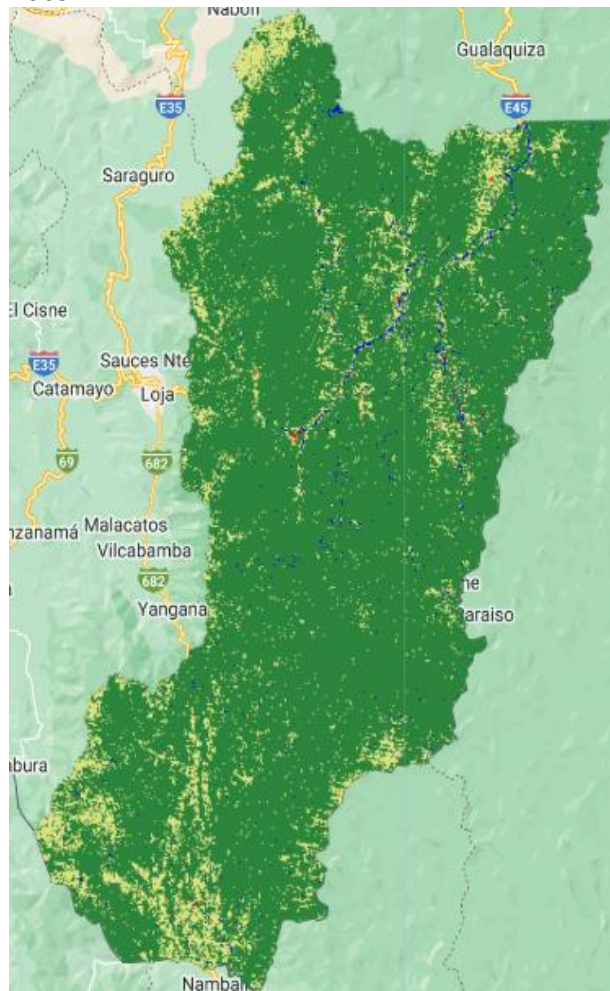


Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

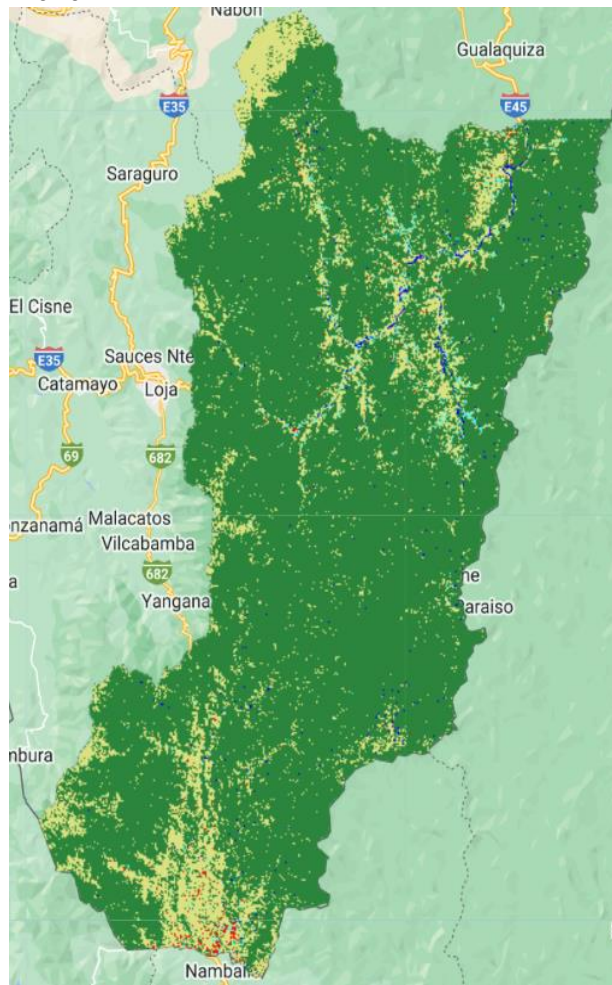
**Figura 61**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2005 – 2010*

2005



2010



Nota: Mapa del periodo 2005-2010. Fuente: Autores

### 4.3.3 *Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2010-2016*

La muestra de áreas respectivas de cada categoría de suelo o cobertura vegetal en los años 2010 y 2016 (Tabla 24).

**Tabla 24**

*Cambio de cobertura de uso de suelo en el período 2010 – 2016*

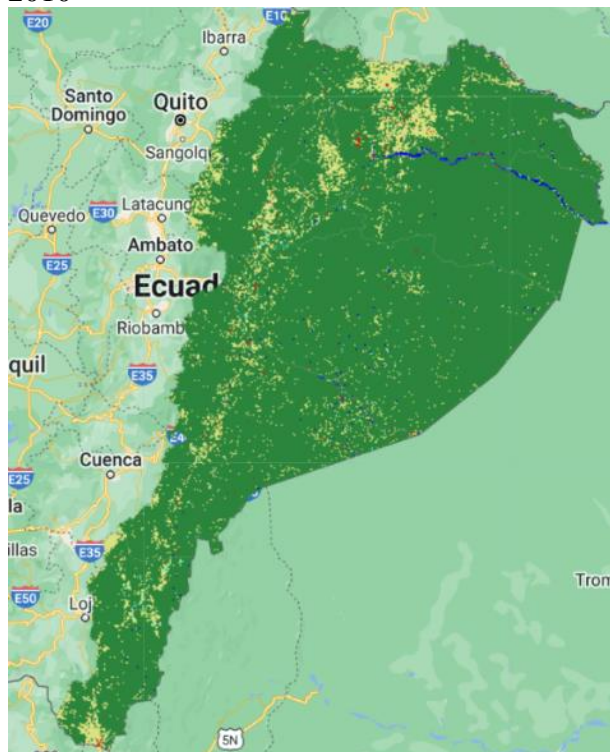
Uso de suelo y cobertura vegetal	Área ha		Reducción o Incremento de clases de suelo	Reducción o Incremento de clases de suelo (%)
	2010	2016		
Bosque natural	10409125	10141476	-267648,75	-1,154
Cultivos	995050,92	1232667,9	237617	1,024
Infraestructura Urbana y Petrolera	74513,86	76602,69	2088,83	0,009
Ríos	97470,92	108737,29	11266,37	0,049
Minería	21157,27	44102,33	22945,06	0,099

Nota: Cambio de cobertura de uso de suelo. Fuente: Autores

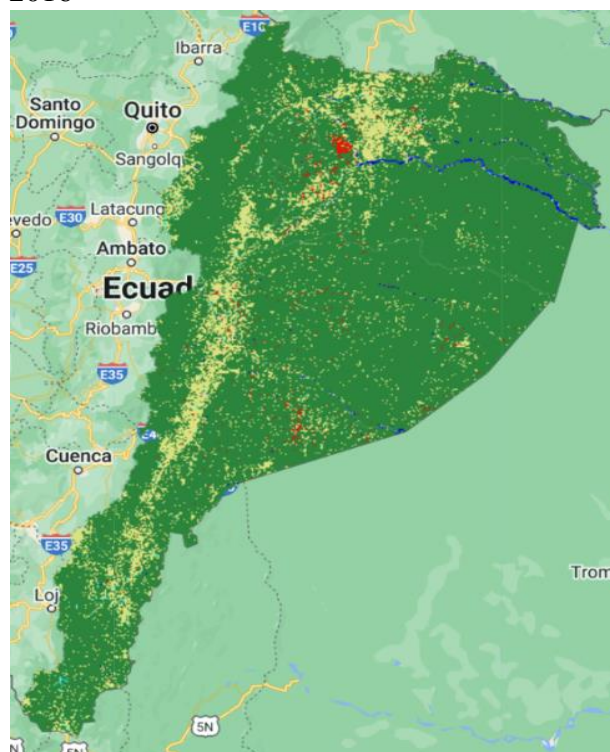
**Figura 62**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al período 2010 – 2016

2010



2016

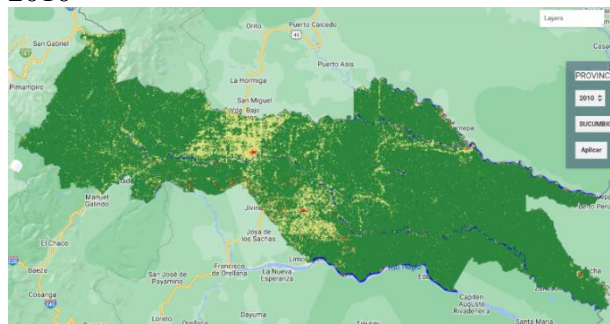


Nota: Grafico del periodo 2010-2016. Fuente: Autores

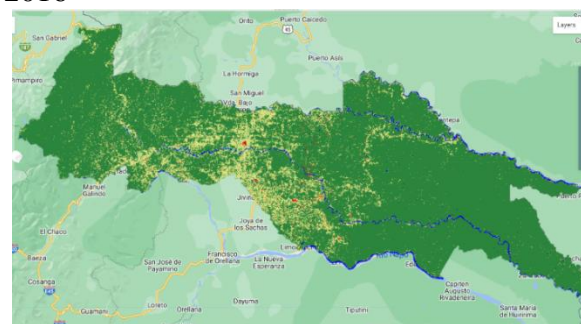
**Figura 63**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de en el período 2010 – 2016

2010



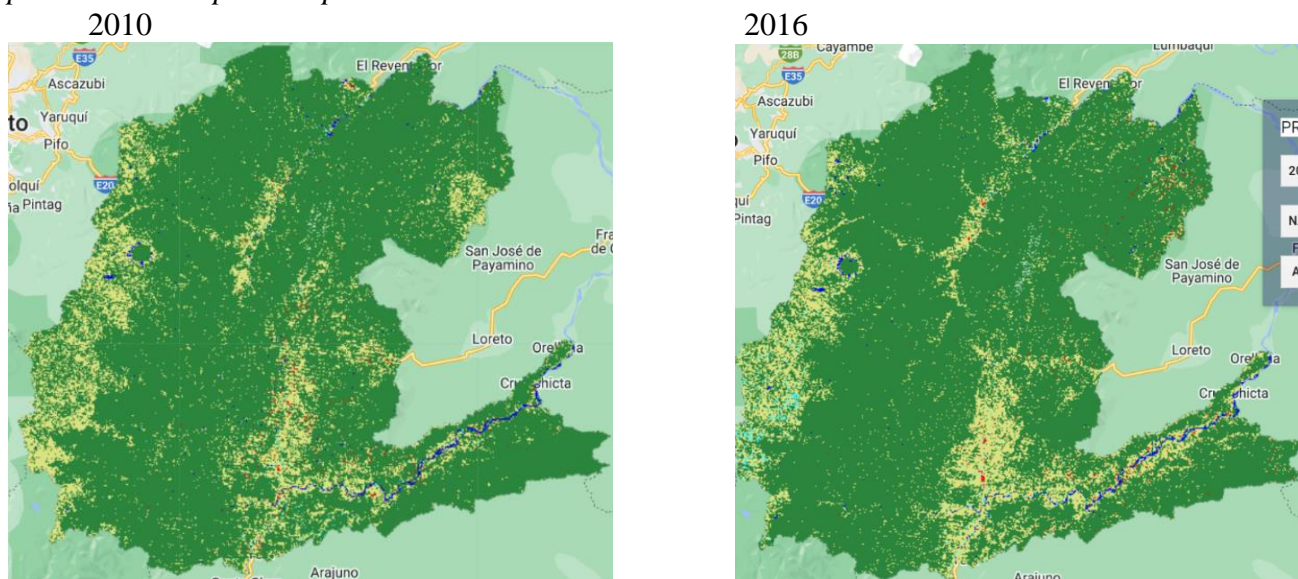
2016



Nota: Grafico del periodo 2010-2016 Fuente: Autores

**Figura 64**

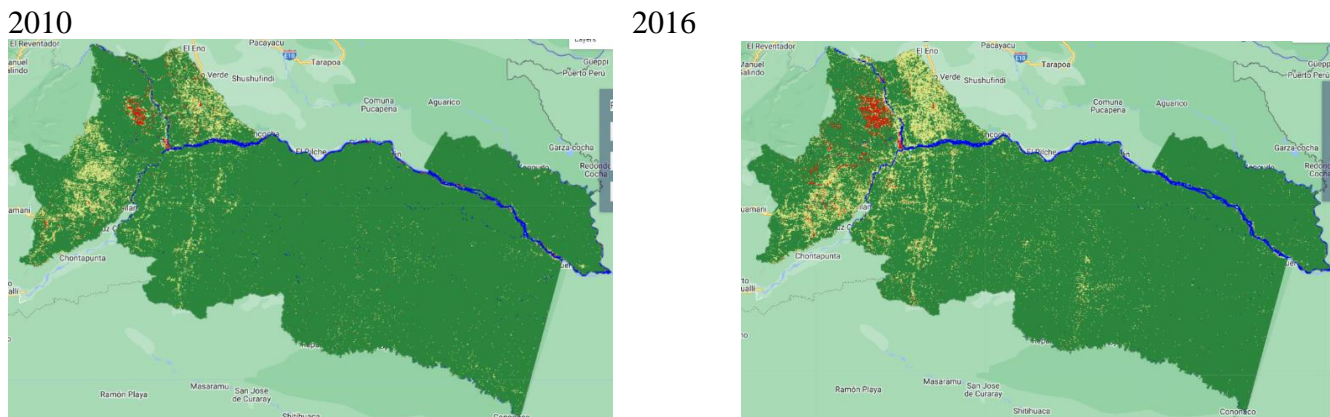
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el período 2010 – 2016



Nota: Grafico del periodo 2010-2016 Fuente: Autores

**Figura 65**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el período 2010 – 2016

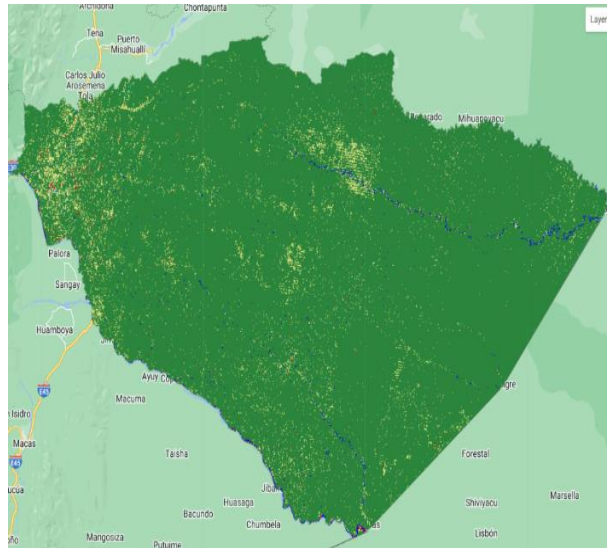


Nota: Grafico del periodo 2010-2016 Fuente: Autores

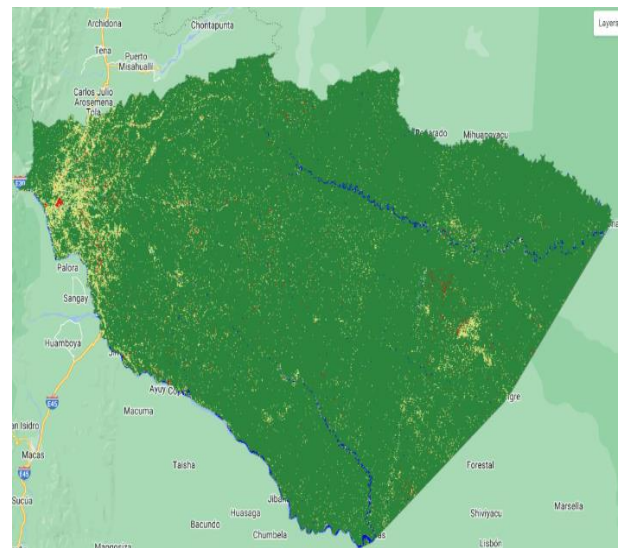
**Figura 66**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el período 2010 – 2016*

2010



2016

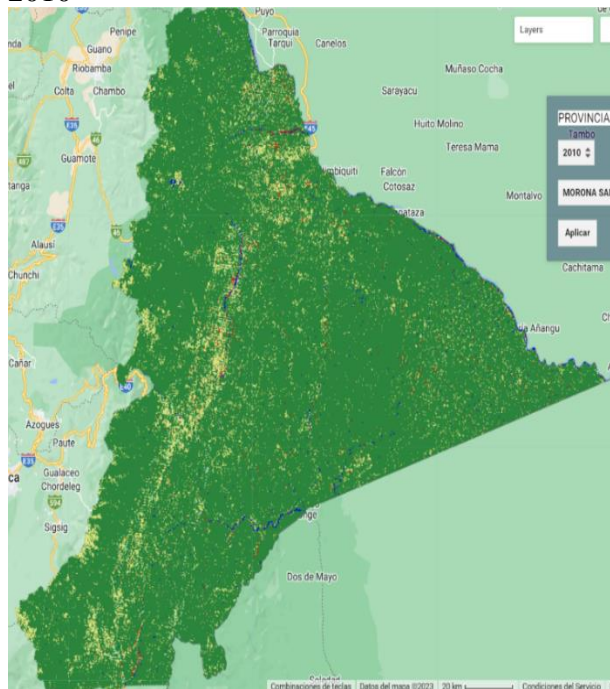


Nota : Grafico del periodo 2010-2016. Fuente: Autores

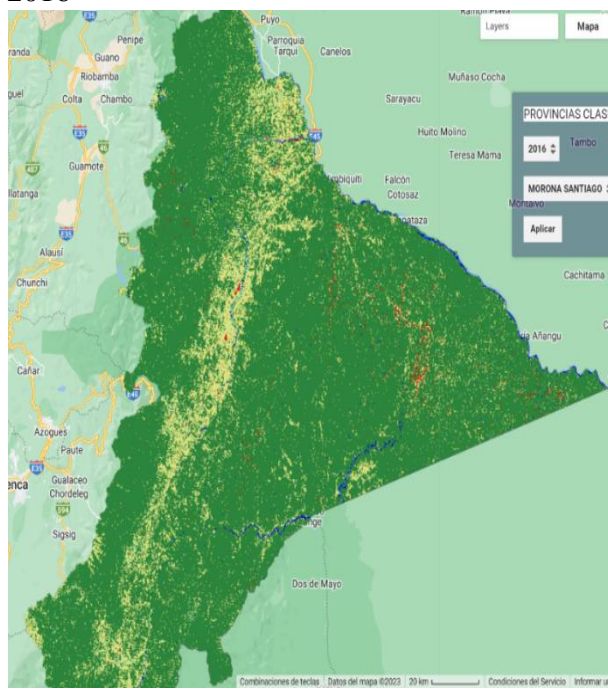


**Figura 67**  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el período 2010 – 2016*

2010



2016

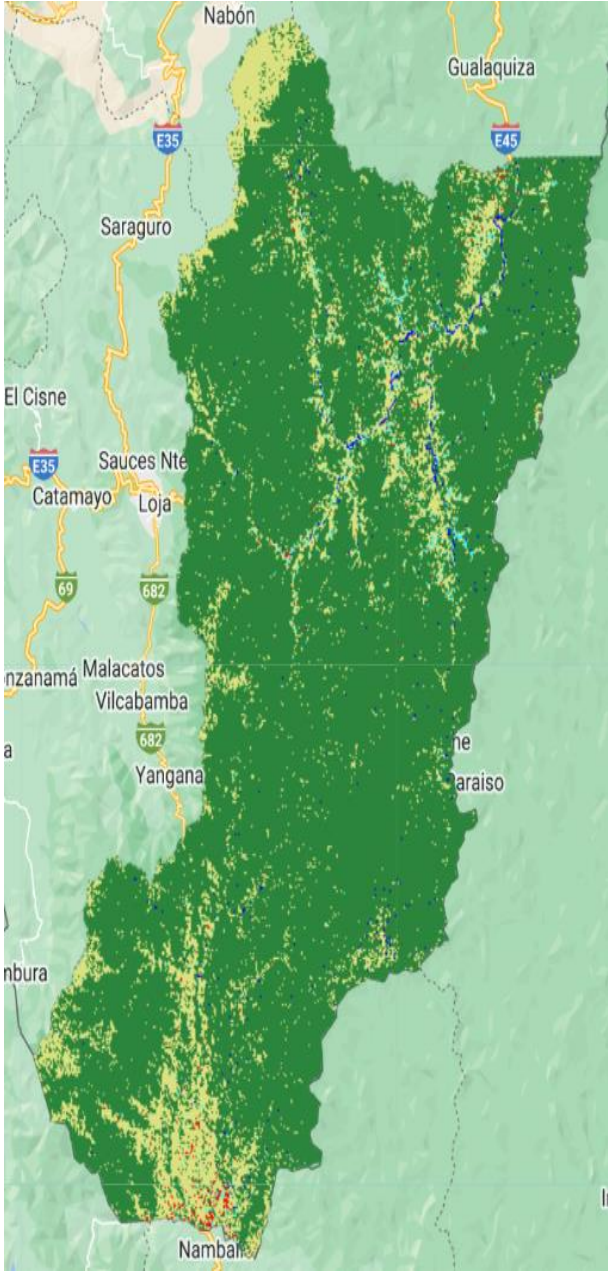


Notas: Grafico del periodo 2010-2016. Fuente: Autores

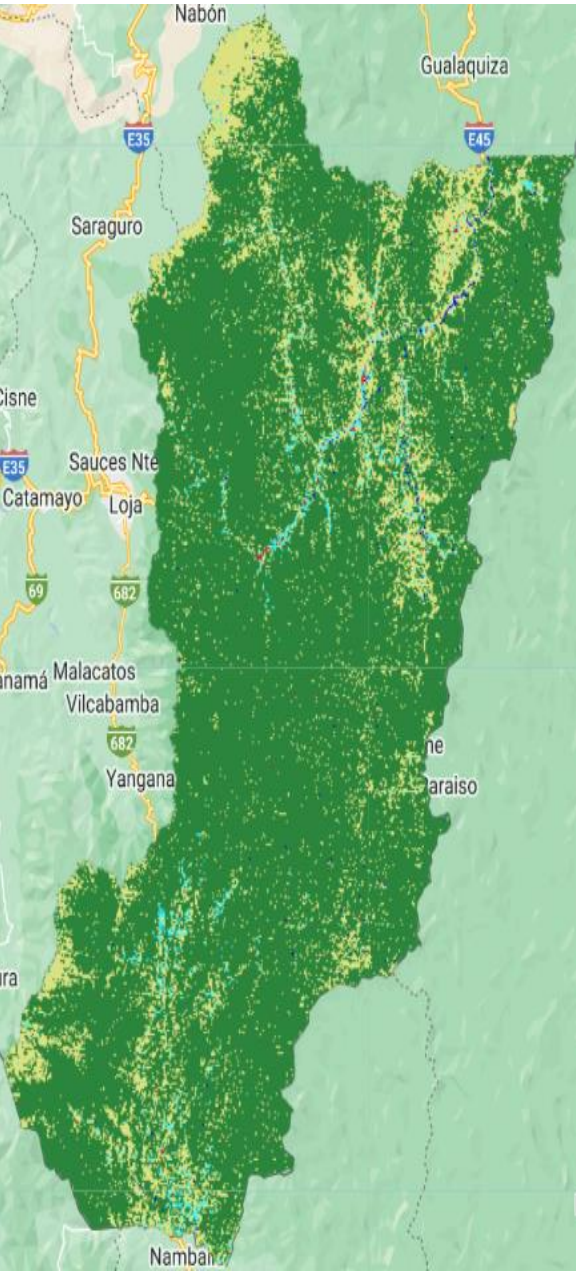
**Figura 68**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2010 – 2016

2010



2016



Nota: Grafico del periodo 2010-2016. Fuente: Autores

#### 4.3.4 *Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2016-2022*

La muestra de áreas respectivas de cada categoría de suelo o cobertura vegetal en los años 2016 y 2022 (Tabla 25).

**Tabla 25**

*Cambio de cobertura de uso de suelo en el período 2016 – 2022*

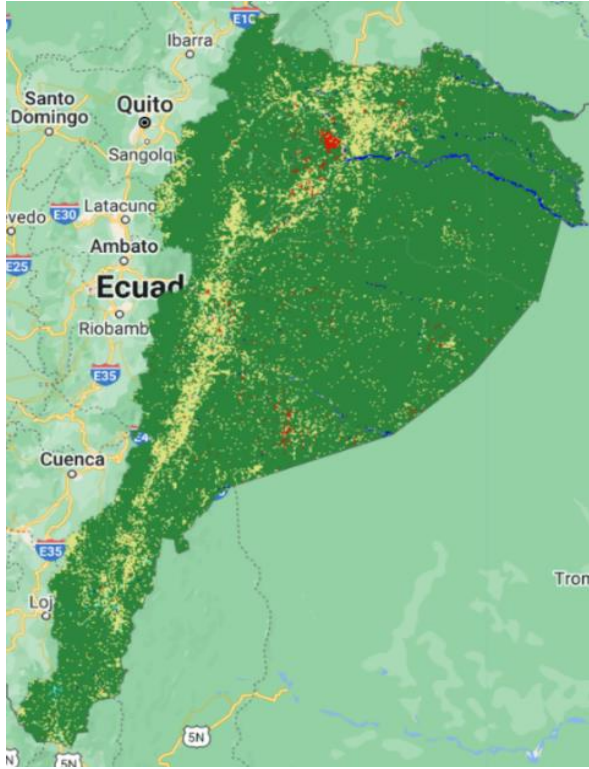
Uso de suelo y cobertura vegetal	Área ha		Reducción o Incremento de clases de suelo	Reducción o Incremento de clases de suelo (%)
	2016	2022		
Bosque natural	10141476	10185624	44148,36	0,190
Cultivos	1232667,9	1133787,6	-98880,36	-0,426
Infraestructura Urbana y Petrolera	76602,69	119827,46	43224,77	0,186
Ríos	108737,29	106403,61	-2333,68	-0,010
Minería	44102,33	52924,64	8822,31	0,038

Nota: Cambio de cobertura de uso de suelo. Fuente: Autores

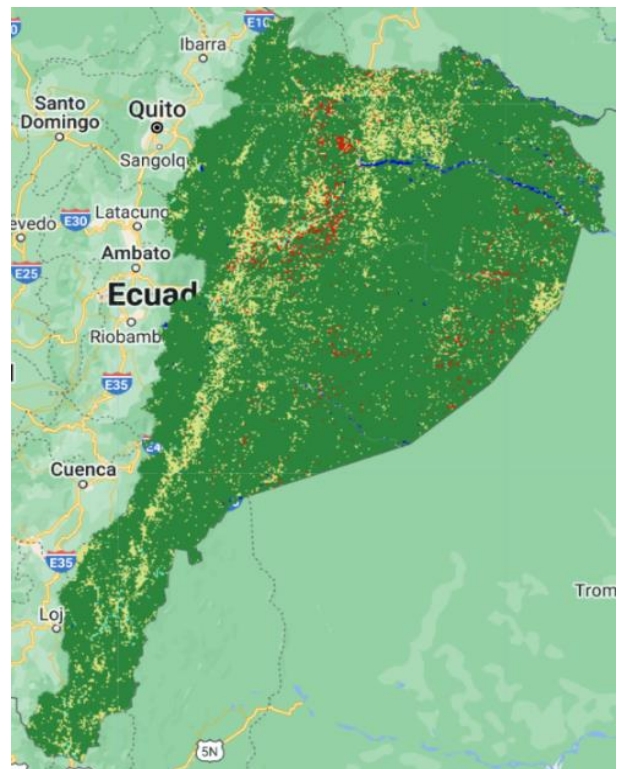
**Figura 69**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al período 2016 – 2022

2016



2022



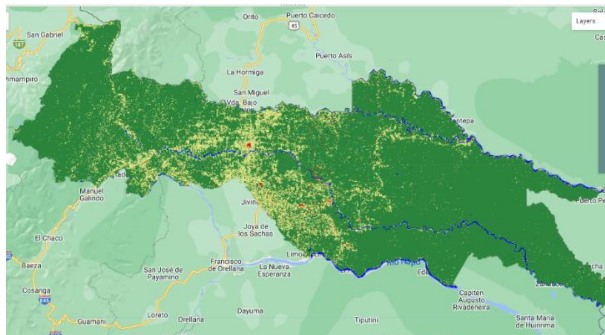
Nota: Mapa del periodo 2016-2022.

Fuente: Autores

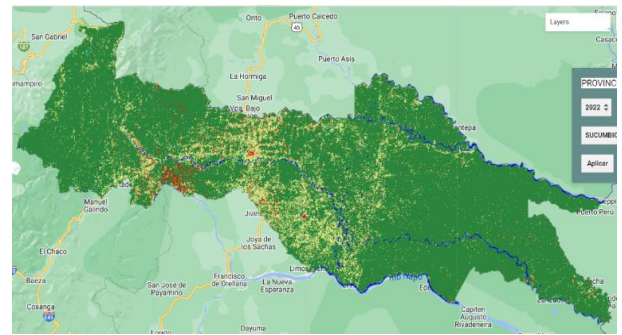
**Figura 70**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbios en el período 2016 – 2022

2016



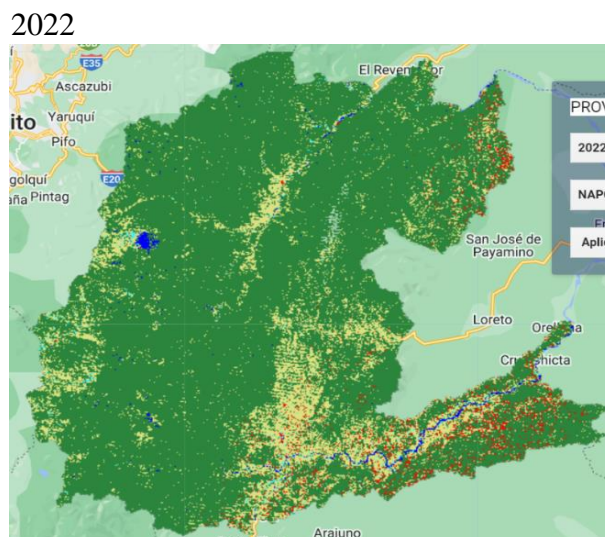
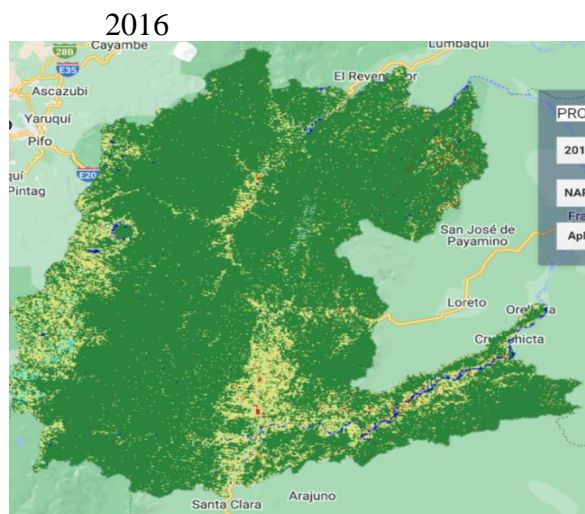
2022



Nota: Mapa del periodo 2016-2022. Fuente: Autores

**Figura 71**

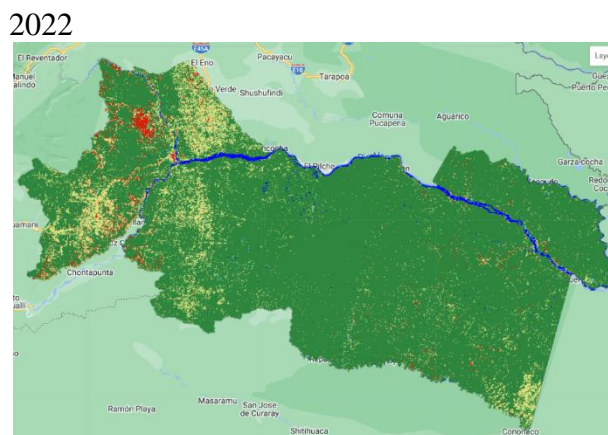
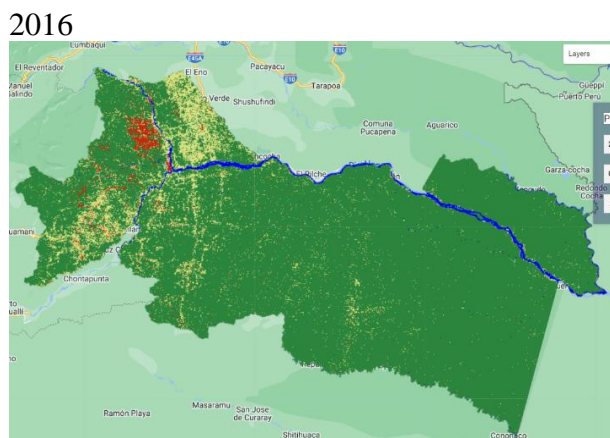
Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el período 2016 – 2022



Nota: Mapa del periodo 2016-2022. Fuente: Autores

**Figura 72**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de en el período 2016 – 2022

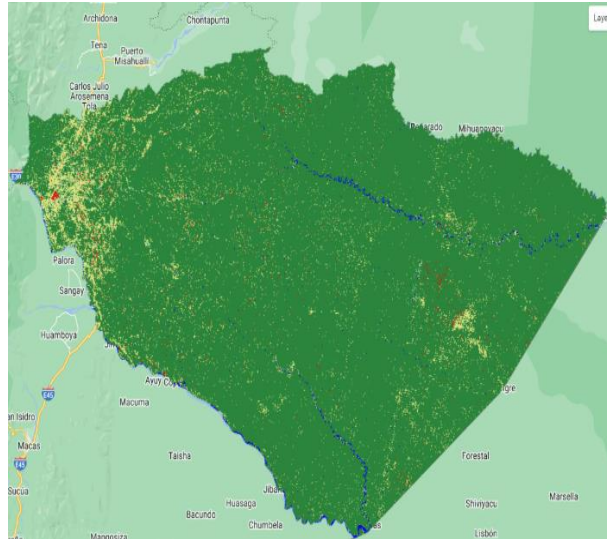


Nota: Mapa del periodo 2016-2022. Fuente: Autores

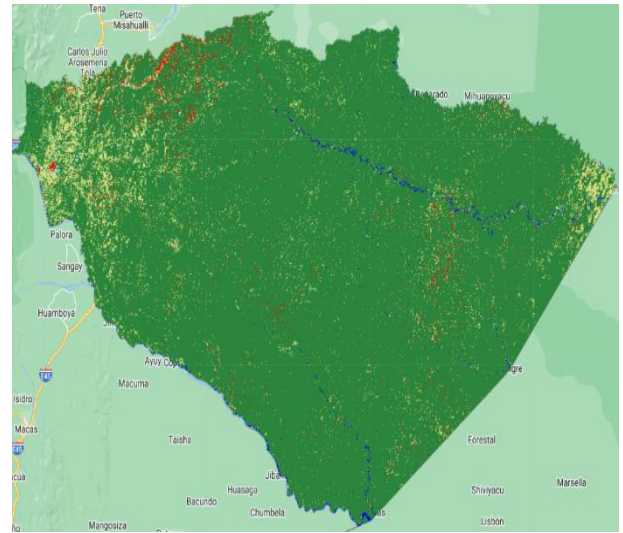
**Figura 73**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el período 2016 – 2022

2016



2022

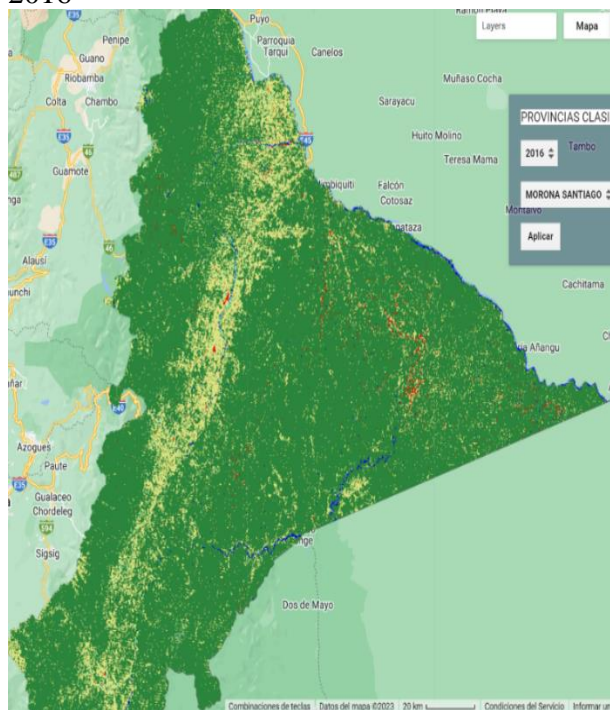


Nota: Mapa del periodo 2016-2022. Fuente: Autores

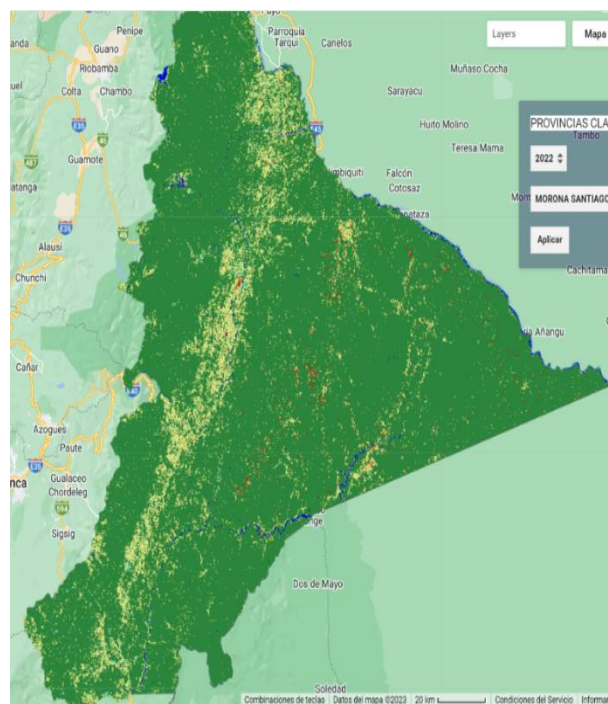
**Figura 74**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el período 2016 – 2022

2016



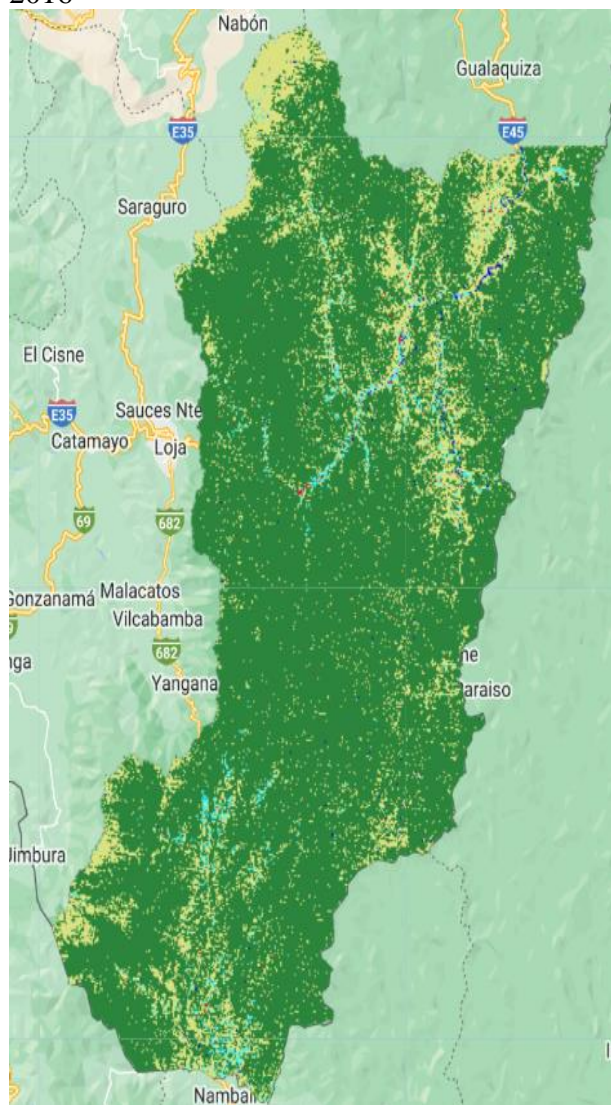
2022



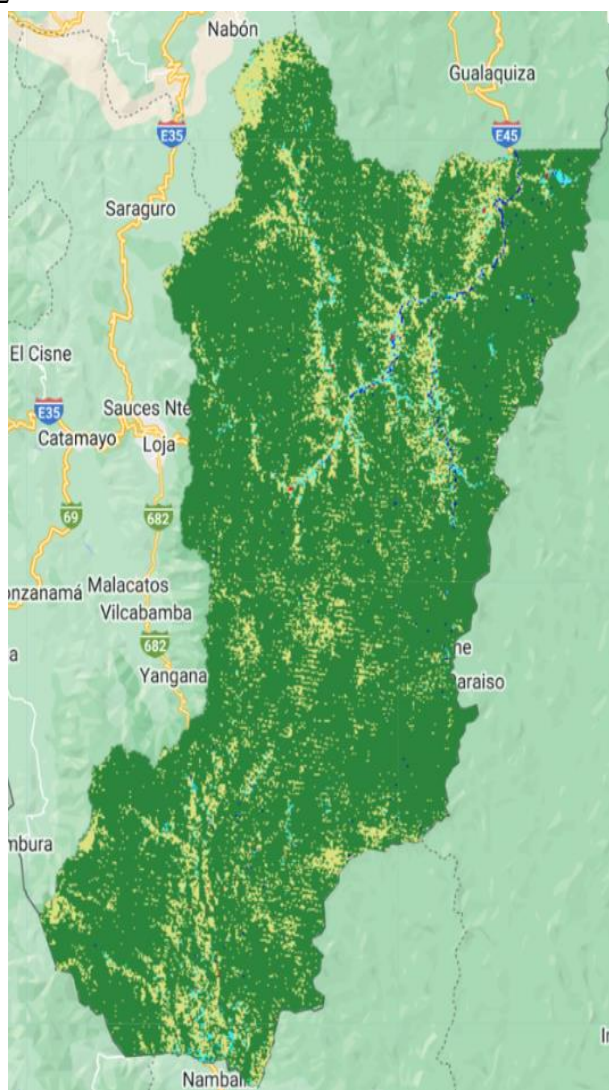
Nota-: Mapa del periodo 2016-2022. Fuente: Autores

**Figura 75**  
*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2016 – 2022*

2016



2022



Nota: Mapa del periodo 2016-2022 Fuente: Autores



#### 4.3.5 *Análisis de la Modificación de la Cobertura del Uso del Suelo durante el Período 2000-2022*

A continuación, se exhibe una tabla que muestra las áreas respectivas de cada categoría de suelo o cobertura vegetal en los años 2000 – 2022 (Tabla 26).

**Tabla 26**

*Cambio de cobertura de uso de suelo en el período 2000 – 2022*

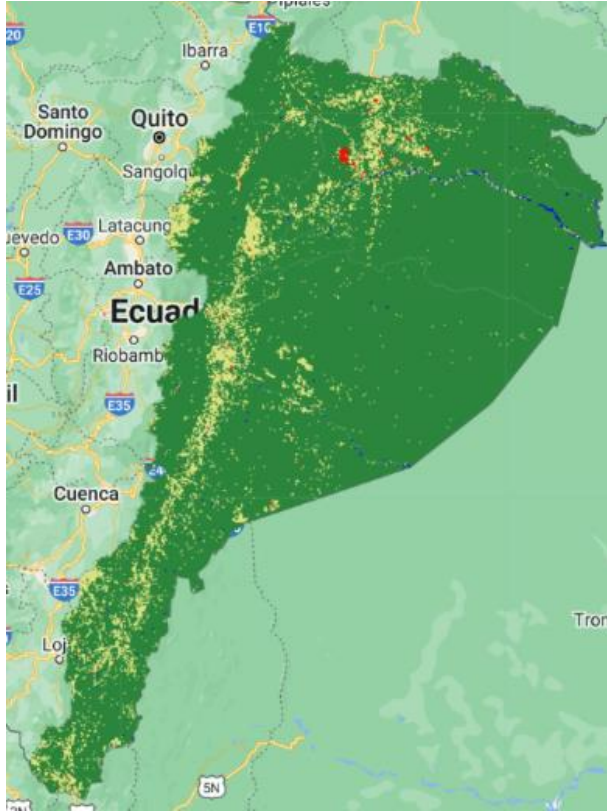
Uso de suelo y cobertura vegetal	Área ha		Reducción o Incremento de clases de suelo	Reducción o Incremento de clases de suelo (%)
	2000	2022		
Bosque natural	10369047	10185624	-183422,72	0,791
Cultivos	1091845,8	1133787,6	41941,81	0,181
Infraestructura Urbana y Petrolera	33692,57	119827,46	86134,89	0,371
Ríos	98363,41	106403,61	8040,2	0,035
Minería	162,72	52924,64	52761,92	0,228

Nota: Cambio de cobertura de uso de suelo. Fuente: Autores

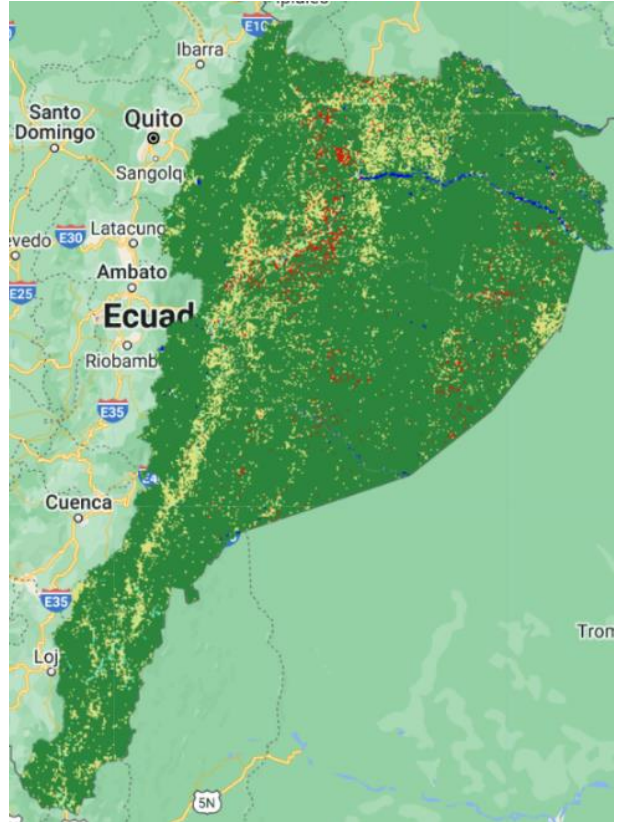
**Figura 76**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente al período 2000 – 2022

2000



2022

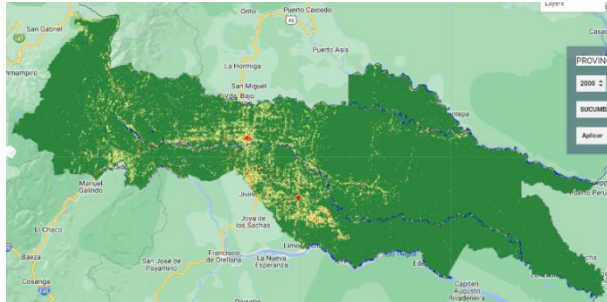


Nota: Grafico del periodo 2000-2022 Fuente: Autores

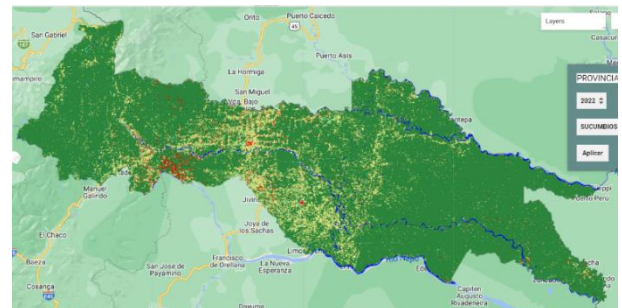
**Figura 77**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Sucumbíos en el período 2000 – 2022

2000



2022

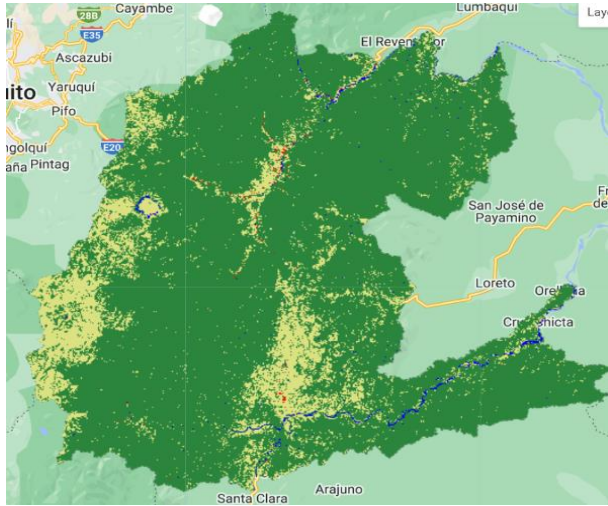


Nota: Grafico del periodo 2000-2022. Fuente: Autores

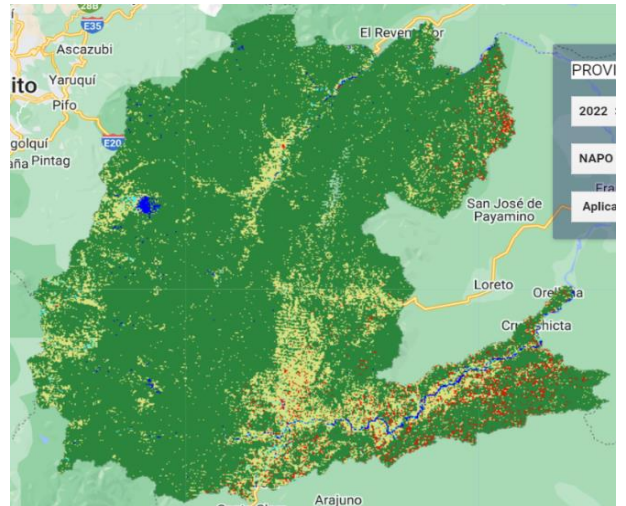
**Figura 78**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Napo en el período 2000 – 2022

2000



2022

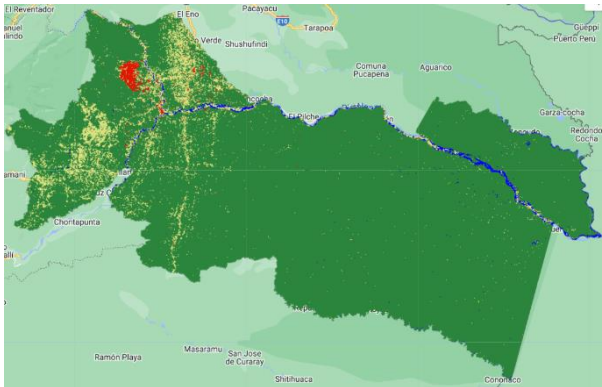


Nota: Grafico del periodo 2000-2022. Fuente: Autores

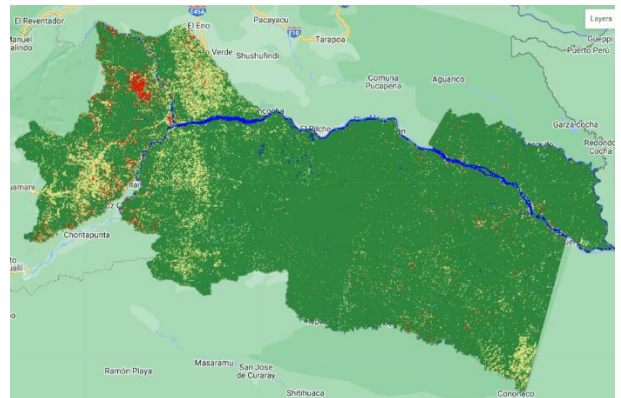
**Figura 79**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Orellana en el período 2000 – 2022

2000



2022

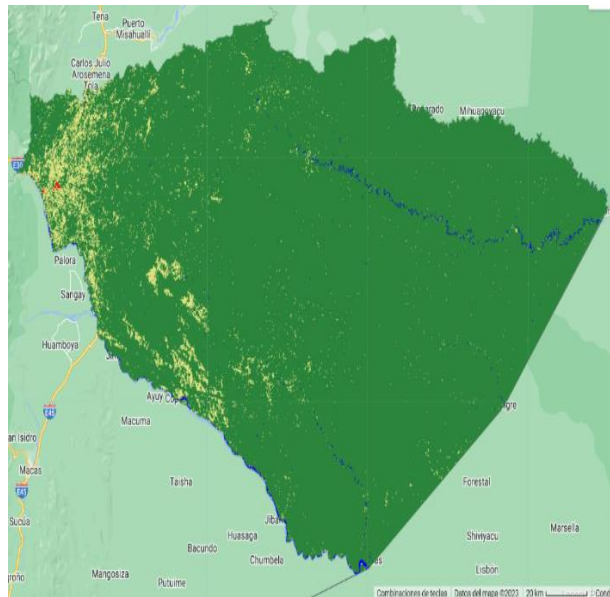


Nota: Grafico del periodo 2000-2022. Fuente: Autores

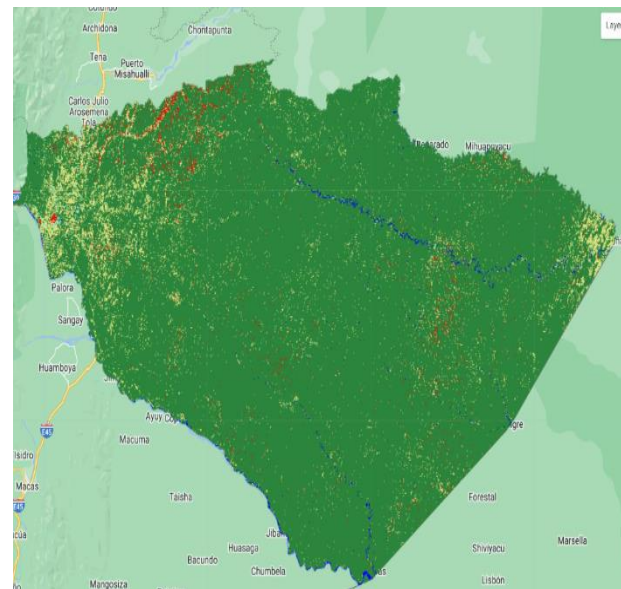
**Figura 80**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Pastaza en el período 2000 – 2022*

2000



2022

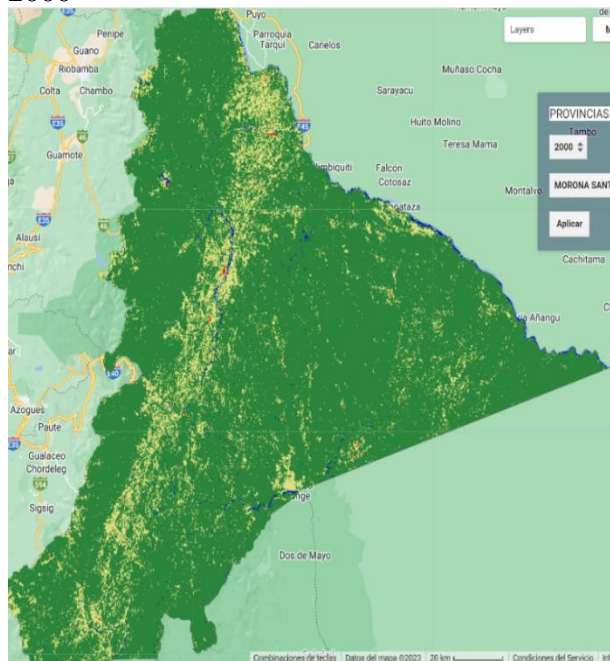


Nota: Grafico del periodo 2000-2022 Fuente: Autores

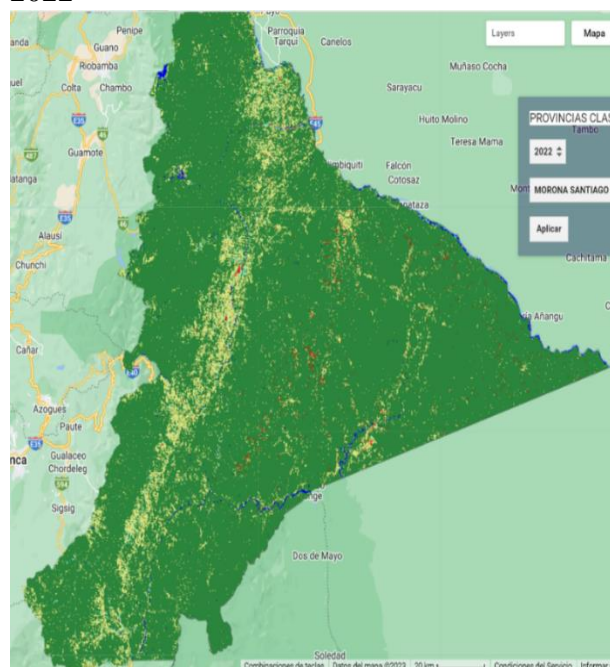
**Figura 81**

Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Morona Santiago en el período 2000 – 2022

2000



2022

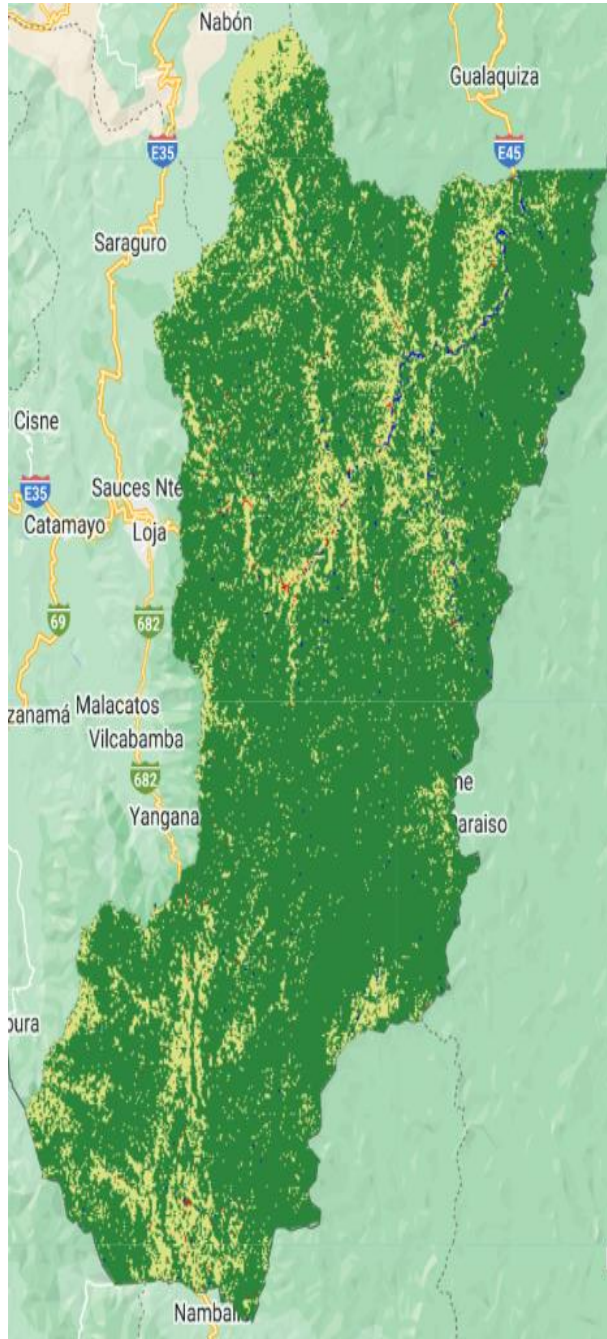


Nota: Grafico del periodo 2000-2022. Fuente: Autores

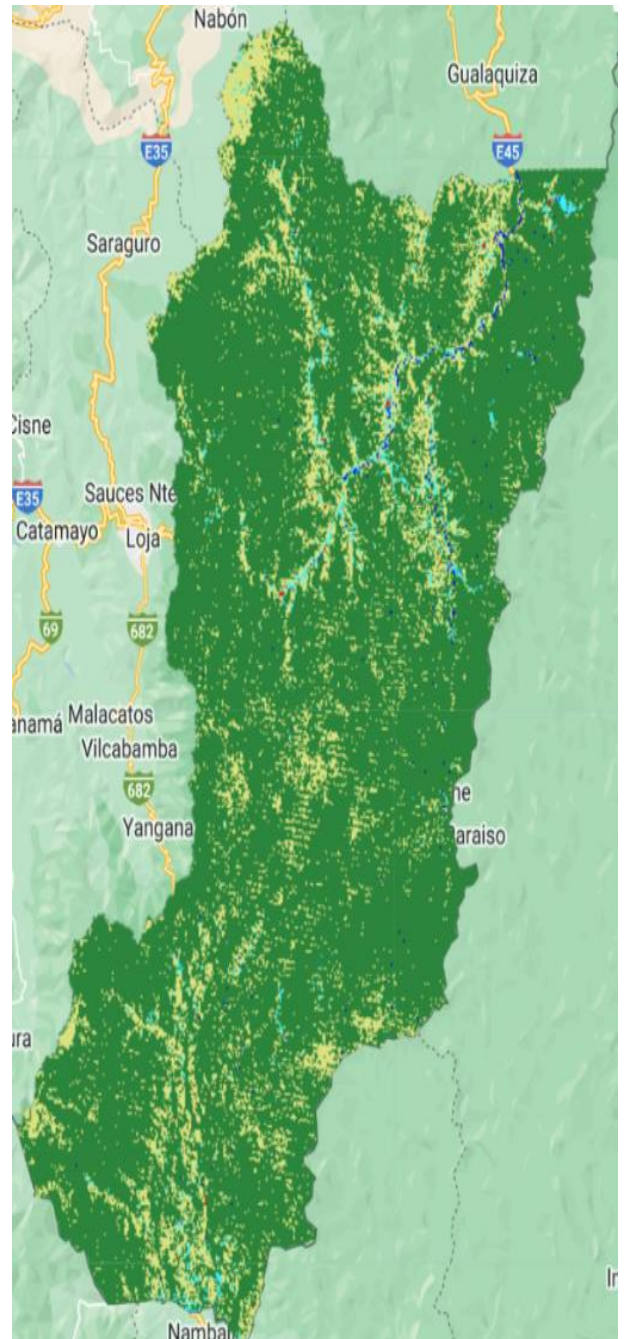
**Figura 82**

*Mapa que presenta la clasificación del uso del suelo y la cobertura vegetal correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2000 – 2022*

2000



2022



Nota: Grafico del periodo 2000-2022 Fuente: Autores

#### 4.4 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal

##### 4.4.1 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal Calculada en la Zona de Estudio

Se determinó la tasa mediante la aplicación de la ecuación propuesta. Los resultados muestran en las provincias estudiadas, durante los períodos 2000-2005, 2010-2016 y 2000-2022, existe una disminución en la cobertura vegetal y forestal debido a la actividad humana y a la deforestación no controlada. Sin embargo, en los períodos de 2005-2010 y 2016-2022 se observó un aumento en la cobertura forestal, lo cual se atribuye a la implementación de campañas de concientización a través del Plan de Reforestación y la colaboración con la asociación Ishpingo. En el año 2000, la tasa anual de deforestación fue de -0,696%. Transcurridos 22 años, la deforestación redujo un porcentaje de -0,081%. Esta información se presenta en la tabla 27 para una mejor visualización.

**Tabla 27**

*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal en la zona de estudio*

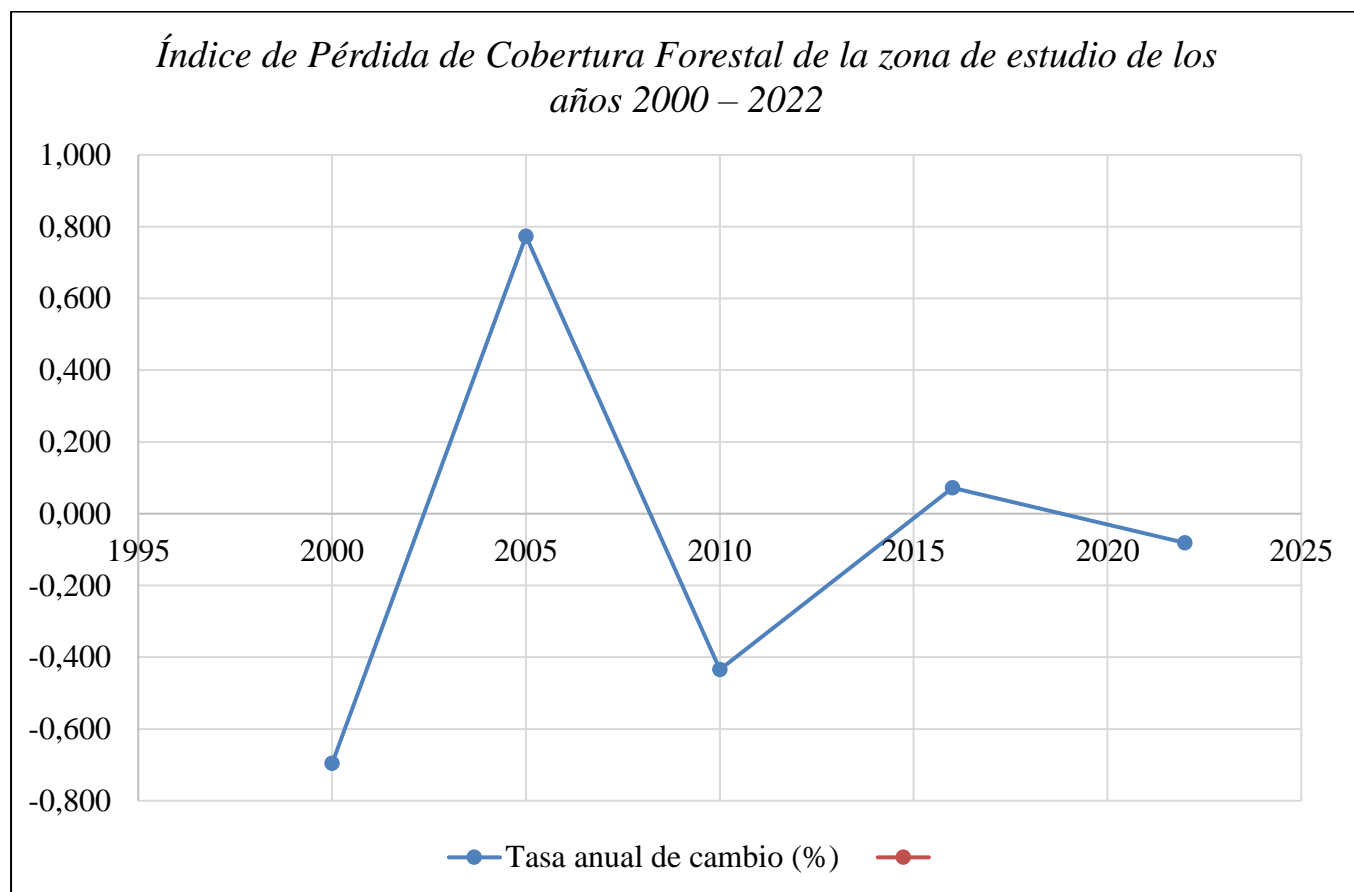
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	10369047,1	2000-2005	-0,696
2005	10014368,56	2005-2010	0,773
2010	10409124,77	2010-2016	-0,434
2016	10141476,02	2016-2022	0,072
2022	10185624,38	2000-2022	-0,081

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal Fuente: Autores

La representación gráfica de la figura 84 visualiza claramente la variación en la cobertura vegetal, evidenciada por los valores negativos en la tasa de cambio anual. Estos datos indican la expansión de la deforestación en la región bajo estudio durante el período de análisis de 22 años.

**Figura 83**

*Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la zona de estudio de los años 2000 – 2022*



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

#### **4.4.1.1 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Sucumbíos en el Período 2000 – 2022.**

Se efectuó un procedimiento idéntico para calcular la tasa anual de cambio en porcentaje de las extensiones de bosques en la provincia de Pastaza. Los resultados correspondientes se



exponen en la tabla 28 y se visualizan en la figura 85, abarcando un período de análisis de 5 y 6 años. Estos datos resaltan principalmente la disminución de la cobertura vegetal y forestal, en contraste con la reforestación que se llevó a cabo en dicha provincia.

**Tabla 28**

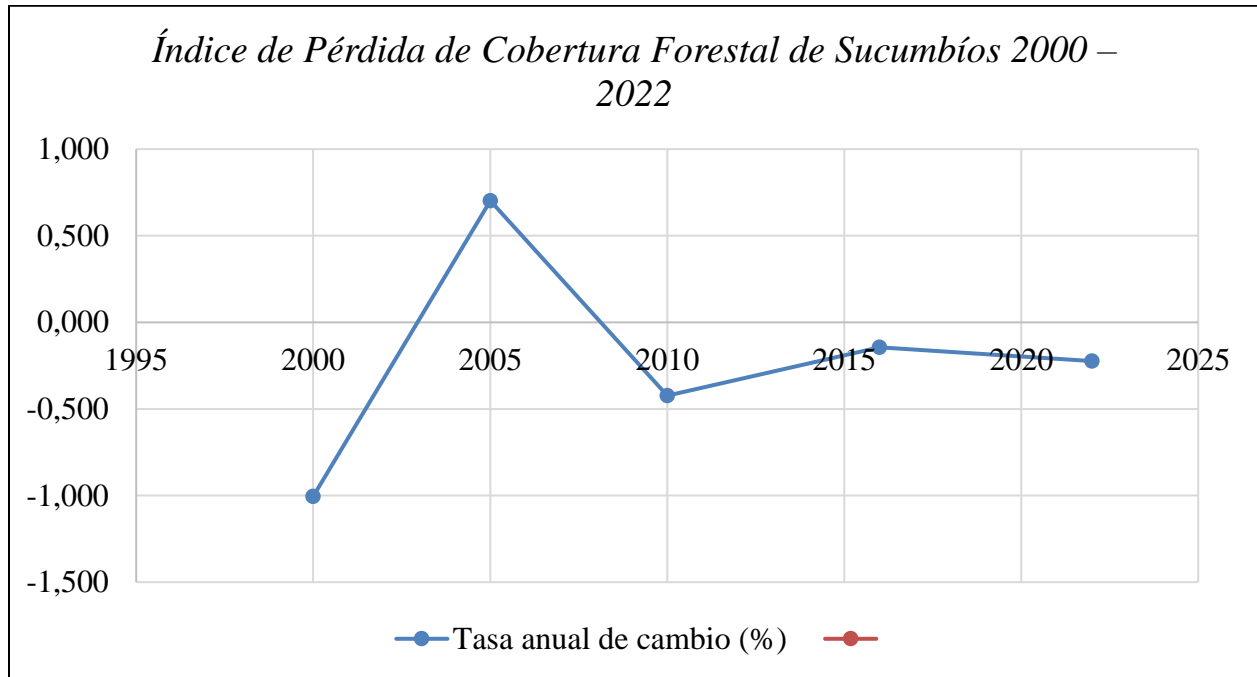
*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Sucumbíos en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Sucumbíos periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	1615317,98	2000-2005	-1,005
2005	1536192,09	2005-2010	0,702
2010	1591057,38	2010-2016	-0,423
2016	1551187,54	2016-2022	-0,143
2022	1537901,91	2000-2022	-0,223

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal . Fuente: Autores

**Figura 84**

Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Sucumbíos 2000 – 2022



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

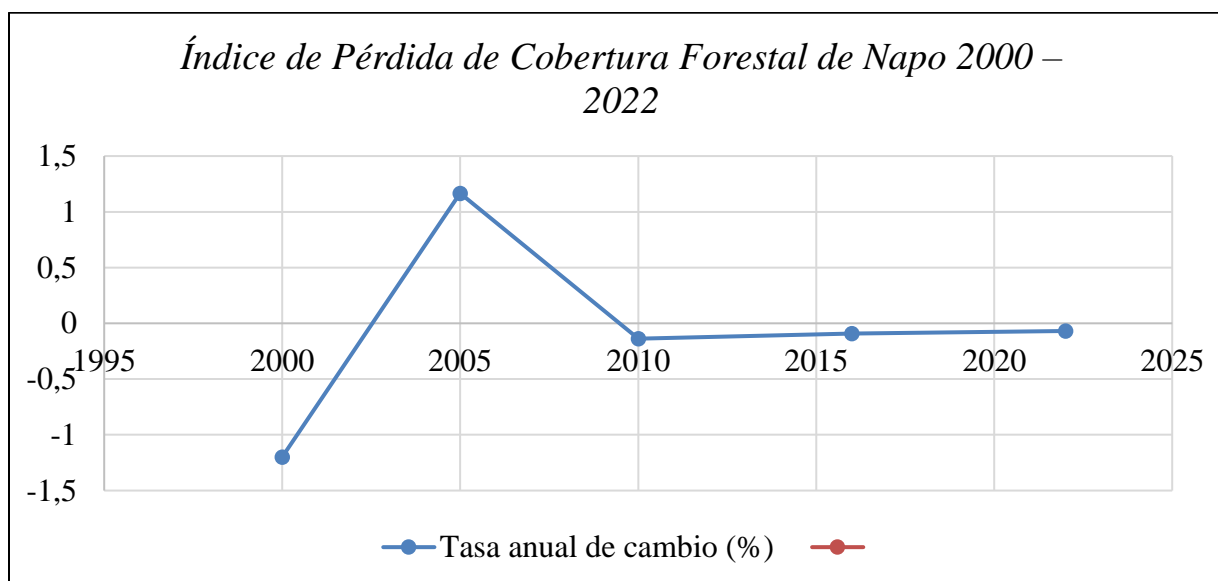
#### 4.4.1.2 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Napo en el Período 2000 – 2022.

Se aplicó la misma metodología de cálculo para determinar la tasa anual de cambio en porcentaje de las áreas de bosques en la provincia de Napo. Los resultados se exhiben en la tabla 29 y se representan gráficamente en la figura 86, abarcando un período de análisis de 5 y 6 años. Estos datos ponen en relieve principalmente la disminución de la cobertura vegetal y forestal, en contraposición con la reforestación que tuvo lugar en esta provincia.

**Tabla 29***Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Napo en el período 2000 – 2022*

Provincia de Napo periodo 2000-2022			
Años	Áreas Bosque (ha)	Periodo de calculo	Tasa anual de cambio (%)
2000	1051271,71	2000-2005	-1,198965365
2005	990101,63	2005-2010	1,166494125
2010	1049566,29	2010-2016	-0,138175653
2016	1040900,79	2016-2022	-0,092068537
2022	1035166,59	2000-2022	-0,070173697

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 85***Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Napo 2000 – 2022*

Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autore

#### 4.4.1.3 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Orellana en el Período 2000 – 2022.

Se aplicó un procedimiento similar para calcular la tasa anual de cambio en porcentaje de las extensiones de bosques en la provincia de Orellana. Los resultados correspondientes se exponen en la tabla 30 y se representan gráficamente en la figura 87, abarcando un período de

análisis de 5 y 6 años. Estos datos resaltan principalmente la disminución de la cobertura vegetal y forestal, en contraste con la reforestación que tuvo lugar en dicha provincia.

**Tabla 30**

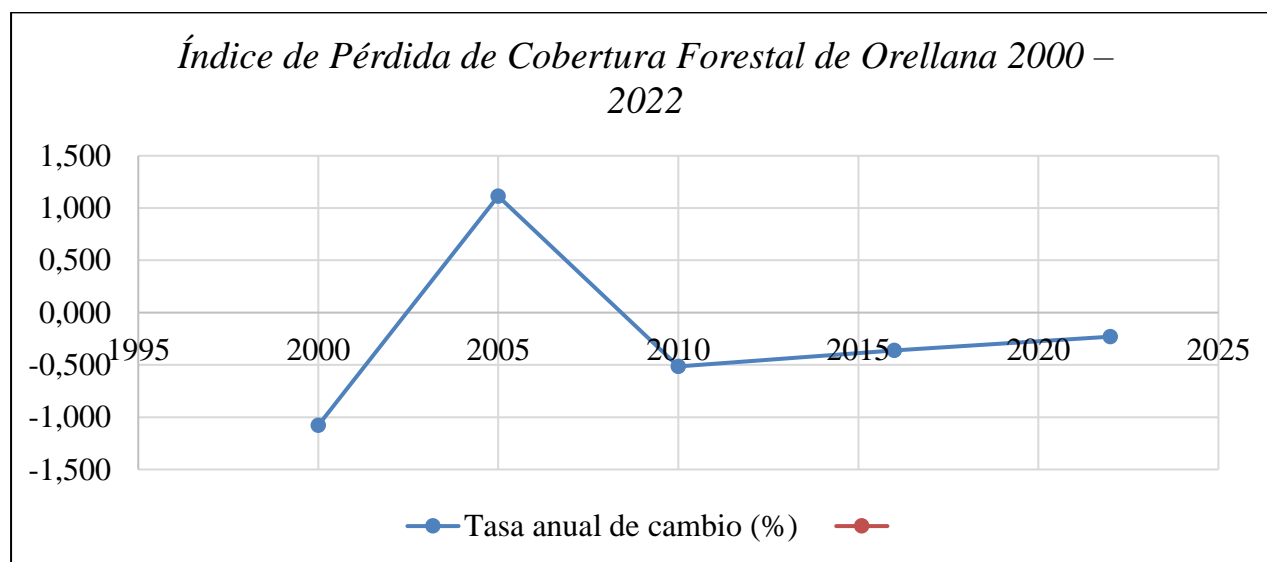
*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Orellana en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Orellana periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	1982479,66	2000-2005	-1,078
2005	1878467,89	2005-2010	1,114
2010	1986043,9	2010-2016	-0,516
2016	1925539,45	2016-2022	-0,362
2022	1884183,25	2000-2022	-0,231

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 86**

*Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Orellana 2000 – 2022*



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

#### 4.4.1.4 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Pastaza en el Período 2000 – 2022.

Se aplicó un análisis similar para determinar la tasa anual de cambio en porcentaje de las áreas de bosques en la provincia de Pastaza. Los resultados correspondientes se exponen en la tabla 31 y se representan gráficamente en la figura 88, abarcando un período de análisis de 5 y 6 años. Estos datos resaltan principalmente la disminución de la cobertura vegetal y forestal, en contraste con la reforestación que tuvo lugar en dicha provincia.

**Tabla 31**

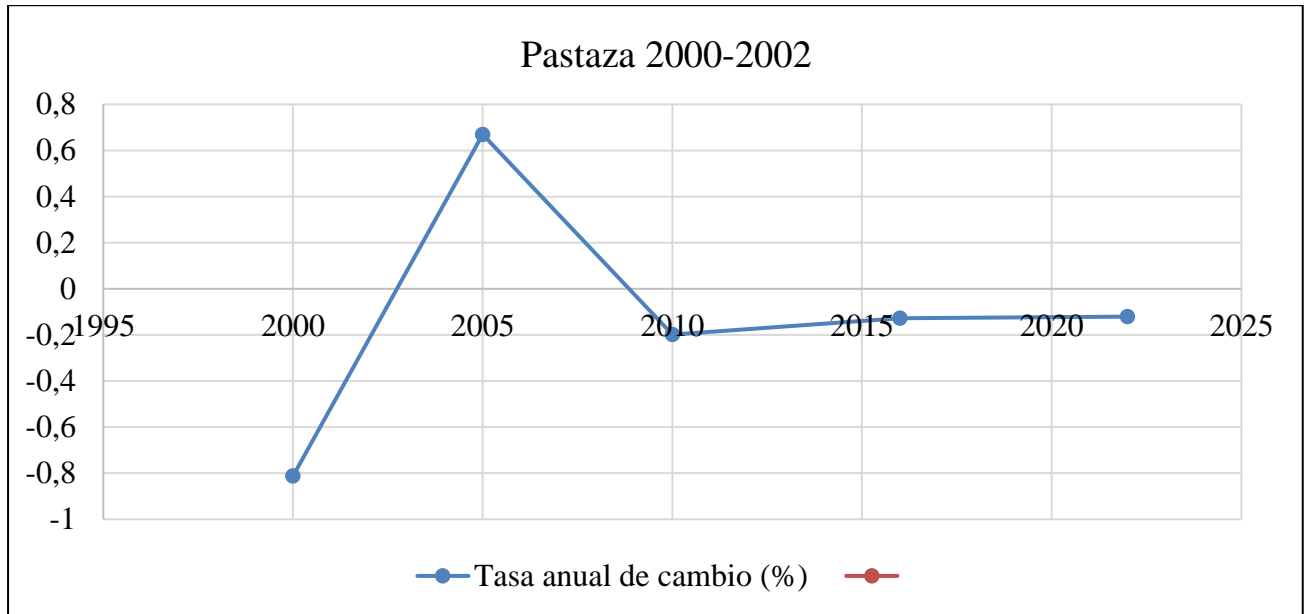
*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Pastaza en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Pastaza periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	2799137,53	2000-2005	-0,81234968
2005	2687721,64	2005-2010	0,669677931
2010	2779240,69	2010-2016	-0,198475107
2016	2746340,37	2016-2022	-0,127752153
2022	2725369,79	2000-2022	-0,121396469

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 87**

*Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Pastaza 2000 – 2022*



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

#### **4.4.1.5 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Morona Santiago en el Período 2000 – 2022.**

Se aplicó un procedimiento idéntico para calcular la tasa anual de cambio en porcentaje de las extensiones de bosques en la provincia de Morona Santiago. Los resultados correspondientes se exponen en la tabla 32 y se representan gráficamente en la figura 89, abarcando un período de análisis de 5 y 6 años. Estos datos evidencian un crecimiento, en contraposición con las demás provincias bajo estudio, así como una disminución en la cobertura vegetal y forestal en la mencionada provincia.

**Tabla 32**

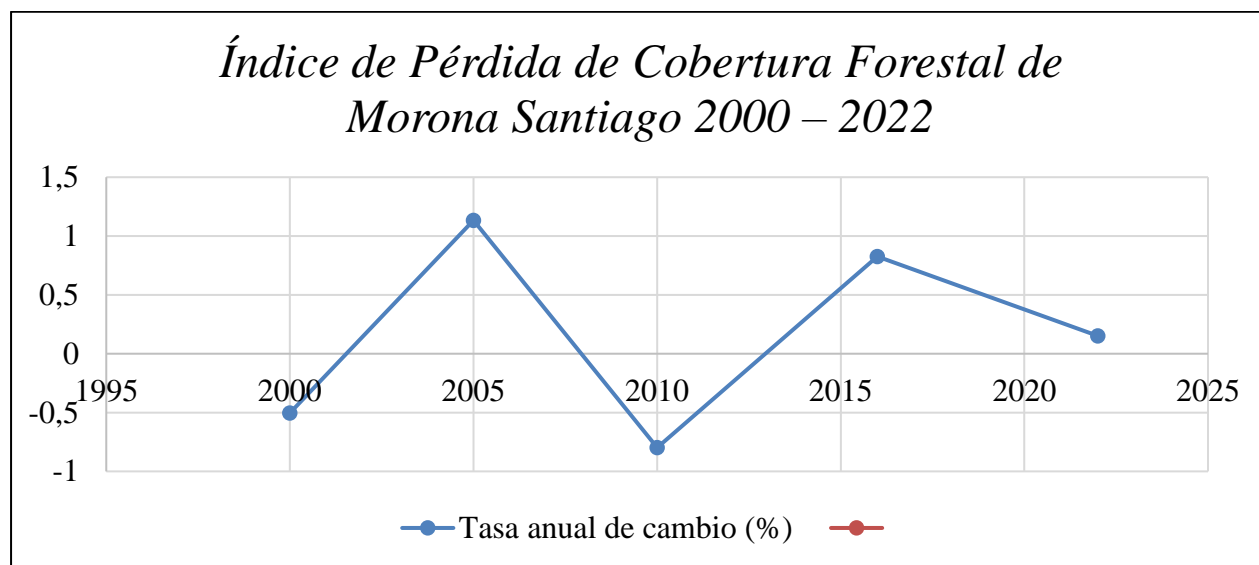
*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Morona Santiago en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Morona Santiago periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	2057965,43	2000-2005	-0,504584354
2005	2006694,06	2005-2010	1,133661895
2010	2123725,2	2010-2016	-0,798186559
2016	2024414,5	2016-2022	0,824798064
2022	2127118,84	2000-2022	0,150229852

Nota: Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 88**

*Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Morona Santiago 2000 – 2022*



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

#### 4.4.1.6 Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de la Provincia de Zamora Chichipe en el Período 2000 – 2022

Se aplicó un análisis similar para determinar la tasa anual de cambio en porcentaje de las áreas de bosques en la provincia de Zamora Chichipe. Los resultados correspondientes se exponen en la tabla 33 y se representan gráficamente en la figura 90, abarcando un período de análisis de 5 y 6 años. Estos datos evidencian un crecimiento en contraste con las otras provincias bajo estudio, así como una disminución en la cobertura vegetal y forestal que tuvo lugar en esta provincia.

**Tabla 33**

*Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Zamora Chichipe en el período 2000 – 2022*

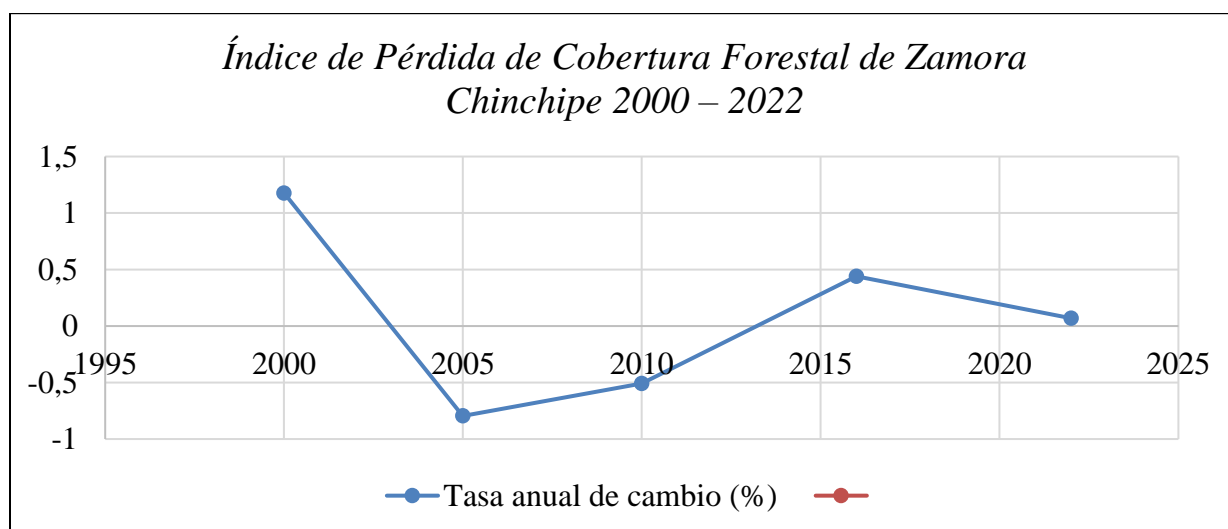
<b>Provincia de Zamora Chichipe periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Tasa anual de cambio (%)</b>
2000	862874,79	2000-2005	1,177269324
2005	915191,25	2005-2010	-0,795787526
2010	879491,31	2010-2016	-0,507911355
2016	853093,37	2016-2022	0,439410997
2022	875884	2000-2022	0,068018493

Nota : Índice de Pérdida de Cobertura Forestal Fuente: Autores



**Figura 89**

Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal de Zamora Chinchipe 2000 – 2022



Nota: Gráfico del Índice de Pérdida de Cobertura Forestal Fuente: Autores

#### 4.5 Tasa Media Anual de Deforestación

##### 4.5.1 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de Análisis 2000 - 2022

Los resultados del análisis muestran que, durante el periodo de estudio de 22 años, la tasa promedio anual de pérdida de cobertura forestal ha sido menor que la tasa de aumento de la reforestación. En concreto, la deforestación anual se situó en -86,309.302 hectáreas, mientras que el incremento en la cobertura vegetal se estableció en 123,881.229 hectáreas.

**Tabla 34**

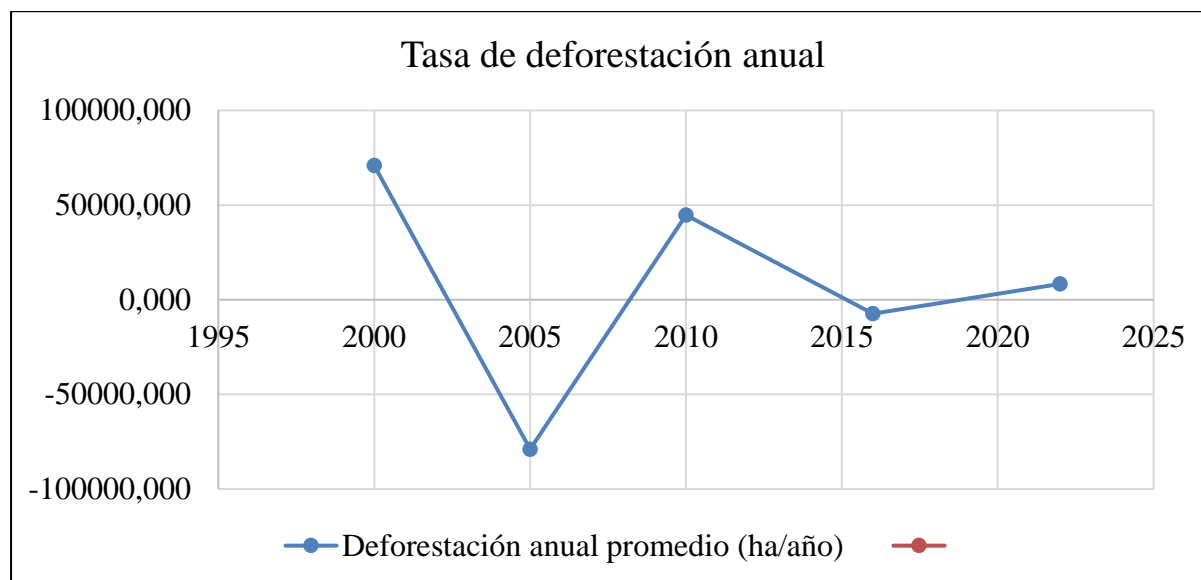
*Tasa media anual de deforestación en el período 2000 – 2022*

Años	Áreas Bosque	Periodo de calculo	Deforestación anual promedio (ha/año)
2000	10369047,1	2000-2005	70935,708
2005	10014368,56	2005-2010	-78951,242
2010	10409124,77	2010-2016	44608,125
2016	10141476,02	2016-2022	-7358,060
2022	10185624,38	2000-2022	8337,396

Nota: Tasa media anual de deforestación Fuente: Autores

**Figura 90**

Grafico de tasa media anual de deforestación del período 2000 – 2022



Nota: Grafico de tasa media anual. Fuente: Autores

#### 4.5.1.1 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Sucumbíos en el Período 2000 – 2022.

La provincia bajo estudio presenta una tasa de deforestación inferior a la de reforestación, con un total de 17,230.277 hectáreas. En la figura 91 se representa la variación de la deforestación a lo largo de los últimos 22 años.

**Tabla 35**

*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Sucumbíos en el período 2000 – 2022*

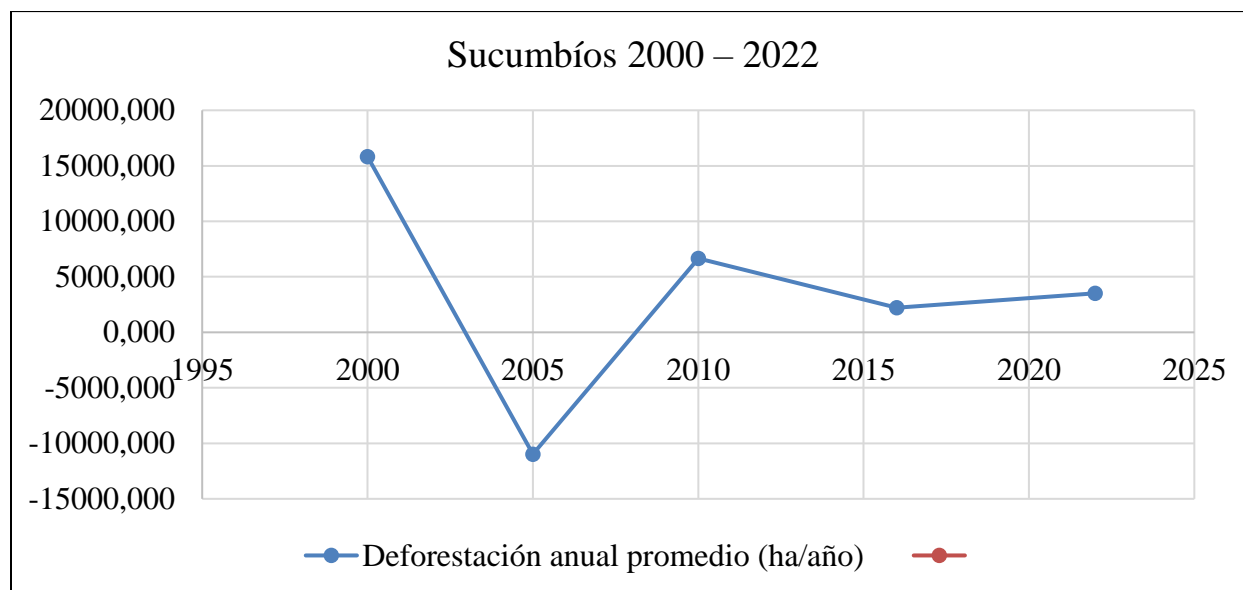
Provincia de Sucumbíos periodo 2000-2022			
Años	Áreas Bosque (ha)	Periodo de calculo	Deforestación anual promedio (ha/año)
2000	1615317,98	2000-2005	15825,178
2005	1536192,09	2005-2010	-10973,058
2010	1591057,38	2010-2016	6644,973
2016	1551187,54	2016-2022	2214,272

2022	1537901,91	2000-2022	3518,912
------	------------	-----------	----------

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 91**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Sucumbíos 2000 – 2022*



Nota: Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal Fuente: Autores

**4.5.1.2 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Napo en el Período 2000 – 2022.**

La provincia objeto de estudio presenta una tasa de deforestación inferior a la de reforestación, con una extensión total de 3,473.085 hectáreas. La figura 92 ilustra las fluctuaciones en la deforestación a lo largo de los últimos 22 años.

**Tabla 36**

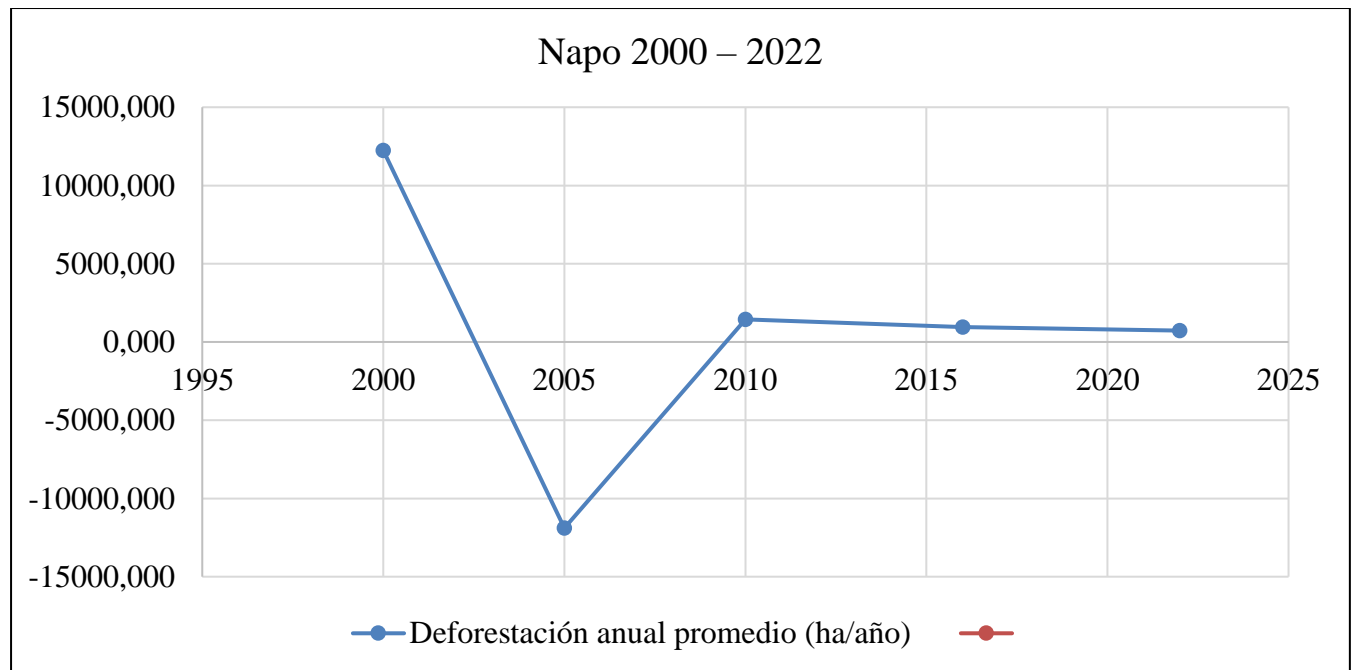
*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Napo en el período 2000 – 2022*

Provincia de Napo periodo 2000-2022			
Años	Áreas Bosque (ha)	Periodo de calculo	Deforestación anual promedio (ha/año)
2000	1051271,71	2000-2005	12234,016
2005	990101,63	2005-2010	-11892,932
2010	1049566,29	2010-2016	1444,250
2016	1040900,79	2016-2022	955,700
2022	1035166,59	2000-2022	732,051

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal.Fuente: Autores

**Figura 92**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Napo 2000 – 2022*



Nota: Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal.Fuente: Autores

#### 4.5.1.3 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Orellana en el período 2000 – 2022.

La provincia bajo estudio presenta una tasa de deforestación inferior a la de reforestación, abarcando un área total de 20,731.946 hectáreas. La figura 93 representa las variaciones en la deforestación a lo largo de los últimos 22 años.

**Tabla 37**

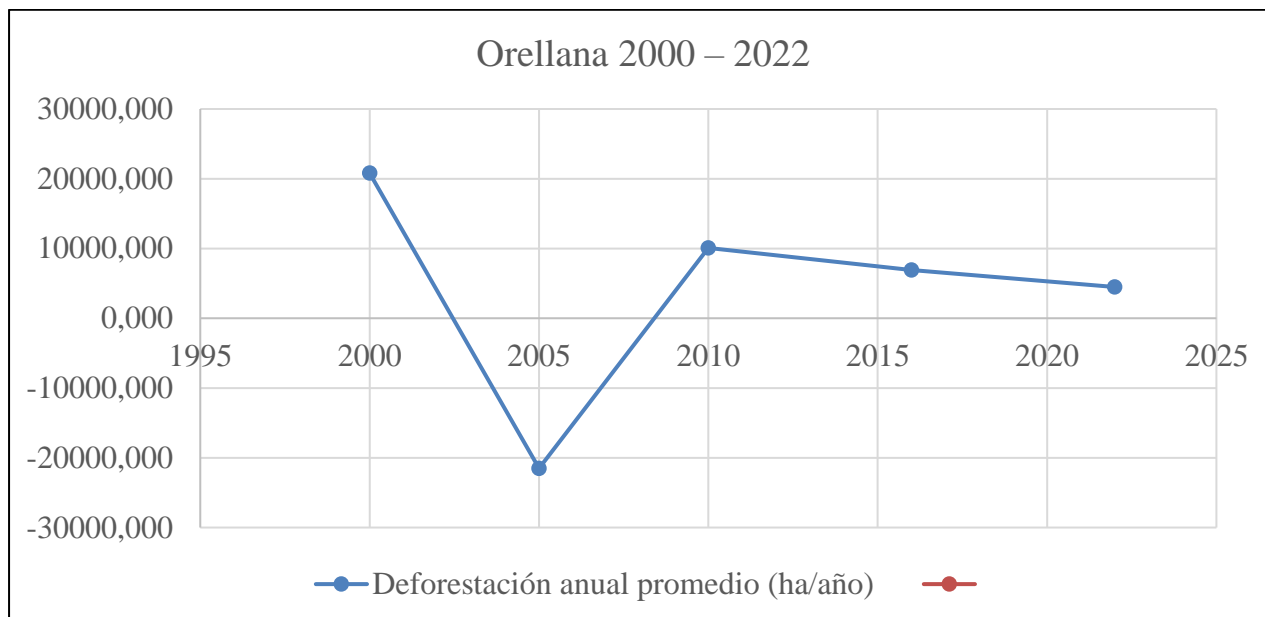
*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Orellana en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Orellana periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Deforestación anual promedio (ha/año)</b>
2000	1982479,66	2000-2005	20802,354
2005	1878467,89	2005-2010	-21515,202
2010	1986043,9	2010-2016	10084,075
2016	1925539,45	2016-2022	6892,700
2022	1884183,25	2000-2022	4468,019

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 93**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Orellana 2000 – 2022*



Nota Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal Fuente: Autores

#### 4.5.1.4 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Pastaza en el período 2000 – 2022.

La provincia examinada exhibe una tasa de deforestación inferior a la de reforestación, abarcando un total de 16,310.930 hectáreas. La figura 94 representa las fluctuaciones en la deforestación a lo largo de los últimos 22 años.

**Tabla 38**

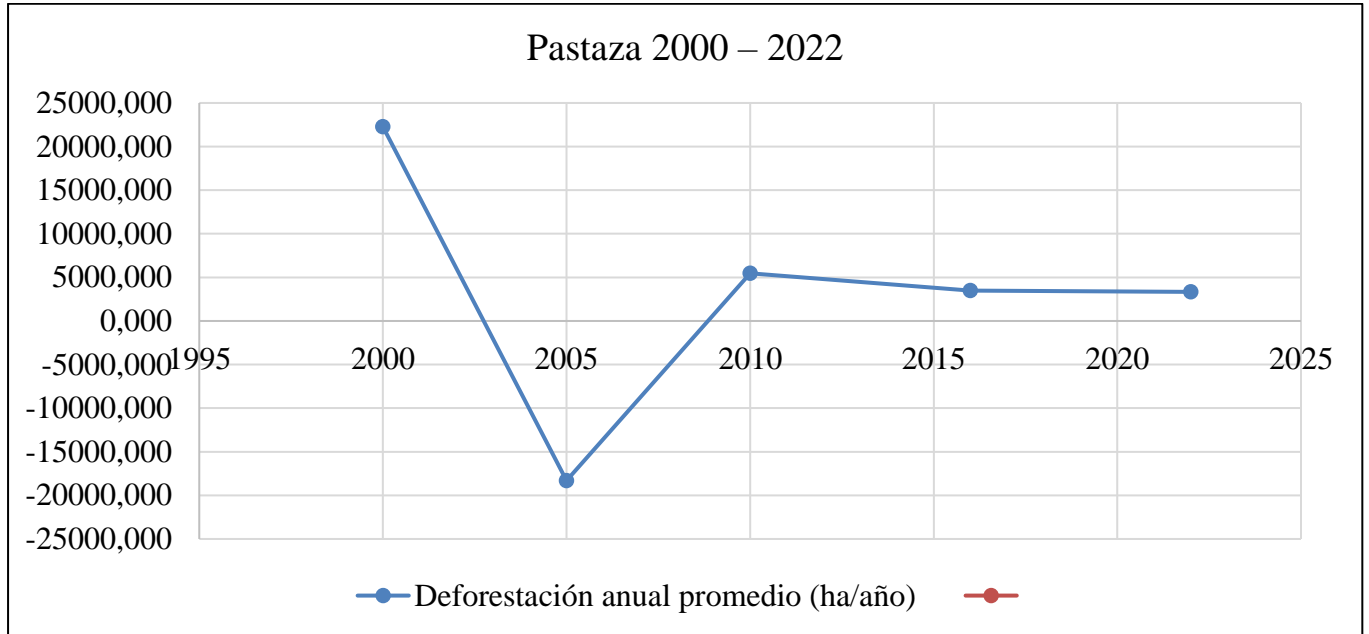
*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Pastaza en el período 2000 – 2022*

Provincia de Pastaza periodo 2000-2022			
Años	Áreas Bosque (ha)	Periodo de calculo	Deforestación anual promedio (ha/año)
2000	2799137,53	2000-2005	22283,178
2005	2687721,64	2005-2010	-18303,810
2010	2779240,69	2010-2016	5483,387
2016	2746340,37	2016-2022	3495,097
2022	2725369,79	2000-2022	3353,079

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 94**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Pastaza 2000 – 2022*



Nota: Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**4.5.1.5 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Morona Santiago en el período 2000 – 2022.**

En la provincia objeto de análisis, se registra una tasa de deforestación total de - 16,860.897 hectáreas. La figura 95 ilustra las fluctuaciones en la deforestación durante los últimos 22 años.

**Tabla 39**

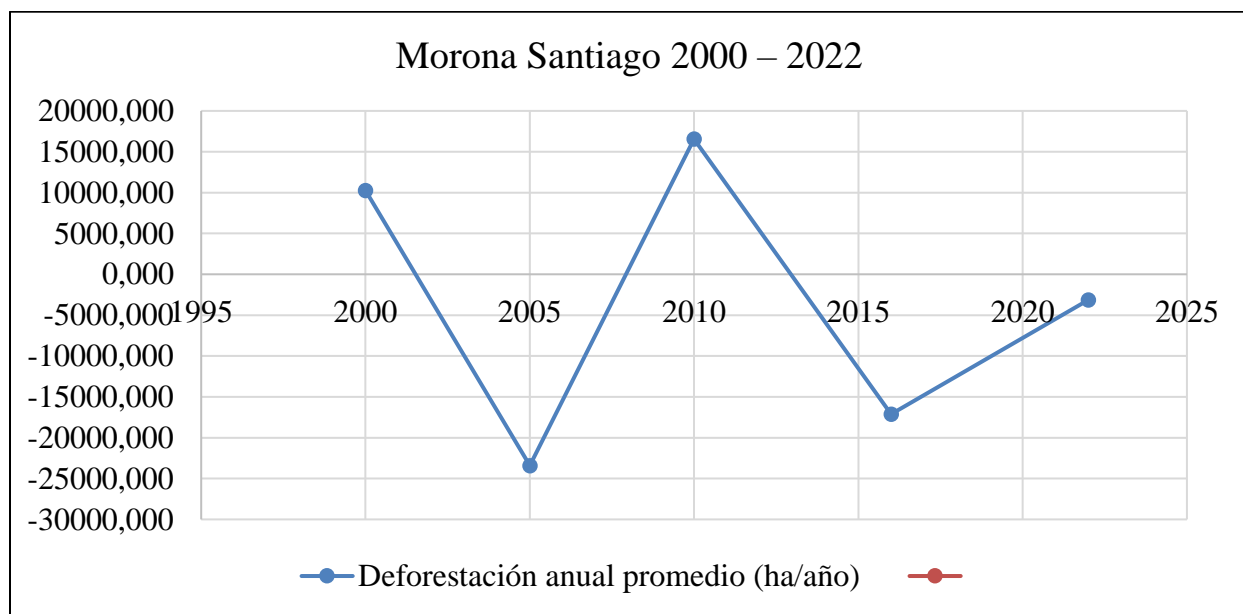
*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Morona Santiago en el período 2000 – 2022*

Provincia de Morona Santiago periodo 2000-2022			
Años	Áreas Bosque (ha)	Periodo de calculo	Deforestación anual promedio (ha/año)
2000	2057965,43	2000-2005	10254,274
2005	2006694,06	2005-2010	-23406,228
2010	2123725,2	2010-2016	16551,783
2016	2024414,5	2016-2022	-17117,390
2022	2127118,84	2000-2022	-3143,337

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal.Fuente: Autores

**Figura 95**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Pastaza Morona Santiago 2000 – 2022*



Nota: Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal.Fuente: Autores



#### 4.5.1.6 Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2000 – 2022.

En la provincia sometida a análisis, se registra una tasa de deforestación total de - 3,313.413 hectáreas. La figura 96 ilustra las fluctuaciones en la deforestación a lo largo de los últimos 22 años.

#### **Tabla 40**

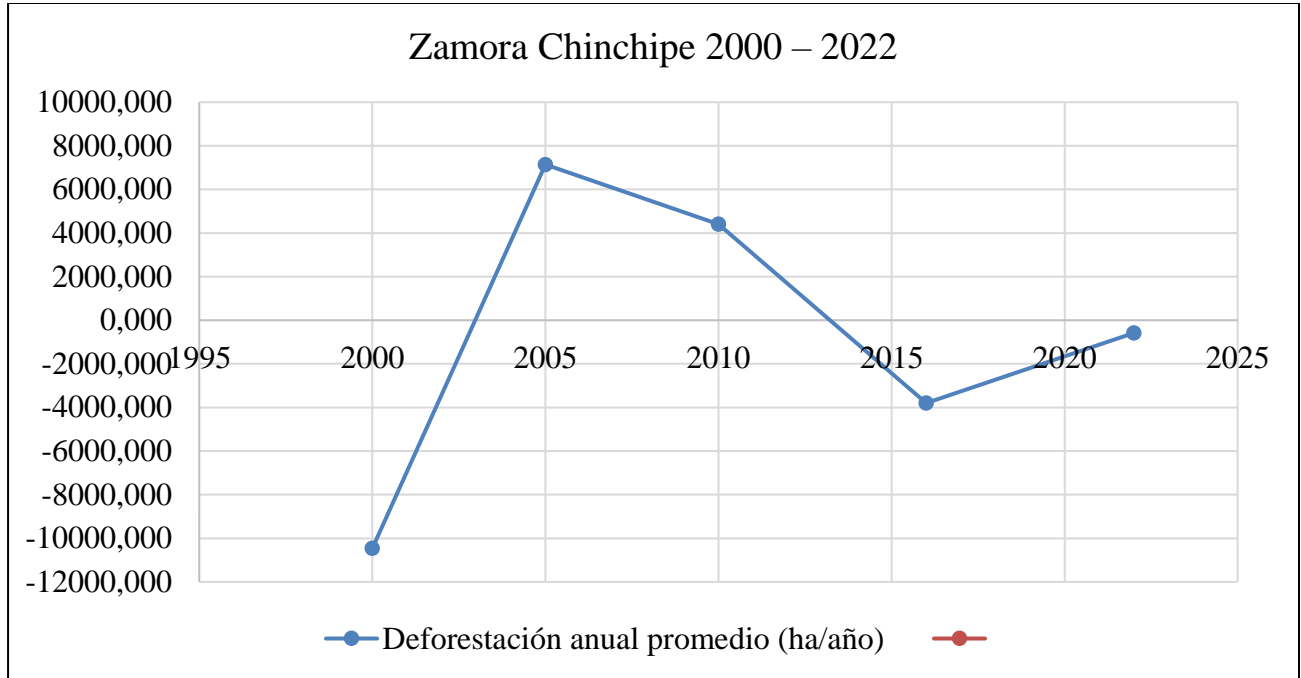
*Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Zamora Chinchipe en el período 2000 – 2022*

<b>Provincia de Zamora Chinchipe periodo 2000-2022</b>			
<b>Años</b>	<b>Áreas Bosque (ha)</b>	<b>Periodo de calculo</b>	<b>Deforestación anual promedio (ha/año)</b>
2000	862874,79	2000-2005	-10463,292
2005	915191,25	2005-2010	7139,988
2010	879491,31	2010-2016	4399,657
2016	853093,37	2016-2022	-3798,438
2022	875884	2000-2022	-591,328

Nota: Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

**Figura 96**

*Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal en el Área de la provincia de Zamora Chinchipe 2000 – 2022*



Nota: Grafico de Pérdida de Cobertura Forestal. Fuente: Autores

## 4.6 **Discusión**

En el marco de esta investigación de titulación, se llevará a cabo un análisis detallado de la cobertura y uso del suelo en la región Amazónica de Ecuador durante el período comprendido entre los años 2000 y 2022. Para este propósito, se emplearán datos satelitales provenientes de las imágenes capturadas por los satélites Landsat 7 y 8. La elección de estas imágenes satelitales se basa en su amplia disponibilidad, alta resolución espacial y su capacidad para capturar las características esenciales de la región Amazónica.

A lo largo del proceso de análisis, se implementaron una variedad de técnicas de procesamiento y clasificación de imágenes con el propósito de generar mapas altamente precisos y detallados que reflejaran la cobertura del suelo en diferentes momentos temporales. Estos mapas resultantes fueron cruciales para identificar y cuantificar los cambios que ocurrieron en la región a lo largo del período bajo estudio.

Los resultados obtenidos desvelaron patrones y tendencias significativas en el uso del suelo en la región Amazónica. Se pudieron apreciar cambios notables, tales como la expansión de áreas destinadas a la agricultura, la deforestación, la regeneración natural, así como otros cambios vinculados a actividades humanas y procesos naturales.

Es relevante subrayar que la precisión de estos resultados está sujeta a diversos factores, incluyendo la calidad de las imágenes empleadas, las técnicas de clasificación utilizadas y la interpretación de los datos. Se llevaron a cabo medidas para minimizar posibles errores y aumentar la confiabilidad de los resultados, mediante el uso de técnicas de validación cruzada y la comparación con otras fuentes de información disponibles.

Estos descubrimientos tienen implicaciones de alta relevancia para la gestión y planificación del uso del suelo en la región Amazónica de Ecuador. Proporcionan una base sólida

de datos que puede ser empleada para tomar decisiones informadas en áreas de conservación, desarrollo sostenible y reducción de impactos ambientales.

Para la realización de los mapas de nuestro trabajo basándonos en el PDOT de la provincia de Napo, el cual ayudó a basarnos de manera significativa en el proceso de nuestro programa ya que con los valores de las hectáreas de bosques y el resto de las categorías del PDOT se pudo conseguir que en el programa se asemejen los valores obtenidos en la clasificación con los valores de hectáreas del PDOT.

Se implementaron polígonos muestrales que abarcaron una mayor cantidad de áreas de pixelado en las imágenes, con el objetivo de capacitar al programa de acuerdo con los requisitos específicos de nuestro estudio de caso. Esta estrategia permitió lograr una clasificación más precisa en distintas áreas, lo que a su vez facilitó una mejor visualización de las diversas categorías en las imágenes obtenidas. Además, se aplicaron el índice kappa y la matriz de confusión para evaluar la confianza en los resultados obtenidos y asegurar que la metodología utilizada sea adecuada para este tipo de estudio.

En cuanto a la precisión de la clasificación, se utilizaron los resultados de la matriz de confusión y el cálculo del índice kappa para determinar sus respectivos valores y evaluar la calidad de la clasificación, en el estudio realizado tenemos un índice kappa muy alto y esto se debe a que existen categorías más extensas que otras como es el caso de bosque que es la categoría más extensa y al realizar la validación esta categoría maximiza el valor del índice kappa pero a su vez minimiza los errores de las categorías restantes, por lo tanto, el programa realizado tiene más fallas que las que se muestran en realidad con los índices kappa altos.

Para tener un valor del índice kappa relevante en el estudio realizamos un muestreo aleatorio estratificado que permitió dividir las muestras y seleccionar datos proporcionales, por lo

tanto utilizamos una base muestral de 60 puntos con el fin de tener una mejor idea de los errores que se encuentran en la clasificación es así que se pudo hacer una comparativa entre los índices kappa elevados que fueron obtenidos mediante los polígonos y los índices kappa obtenidos del muestreo aleatorio estratificado, observamos que existe una reducción muy significativa del índice kappa por lo tanto podemos denotar que mientras más polígonos o puntos sean agregados a las categorías el valor del índice kappa aumenta.

El programa ofrece un análisis detallado de los cambios en la cobertura y uso del suelo en las distintas provincias a lo largo de los diferentes periodos estudiados. Se nota un claro aumento o disminución en las diversas categorías debido a la calidad de las imágenes y a la base muestral de los polígonos, lo que mejora la precisión en ciertos años, pero también hace que se aumenten errores en los años posteriores.

Según los resultados derivados de la aplicación de la ecuación propuesta, se ha logrado determinar la tasa de variación en la cobertura vegetal y forestal en las provincias objeto de estudio. Durante los intervalos temporales de 2000-2005, 2010-2016 y 2000-2022, se pudo identificar un decrecimiento en la cobertura vegetal y forestal, atribuible a la influencia de actividades humanas y la carencia de un control adecuado sobre la deforestación. No obstante, se evidenció un incremento en la cobertura forestal durante los períodos de 2005-2010 y 2016-2022, resultado directo del éxito de las campañas de concienciación impulsadas en colaboración con la asociación Ishpingo mediante el Plan de Reforestación.

En el año 2000, se registró una tasa anual de deforestación de -0,696%, lo cual señala una disminución significativa en la cobertura forestal. A lo largo de los 22 años de estudio, esta tasa continuó decreciendo hasta alcanzar un valor de -0,081%, indicando una mejora en las prácticas de preservación y conservación de los recursos forestales en la región estudiada. Estos resultados

resaltan la importancia crucial de implementar medidas de reforestación y fomentar la concienciación para mitigar la pérdida de vegetación y contribuir a un manejo sostenible de los recursos naturales.

Durante el período 2000 y 2022, el análisis revela que la tasa de reforestación superó a la tasa promedio anual de deforestación. En estos 22 años, se observó una disminución de - 86,309.302 hectáreas en las áreas deforestadas, mientras que se registró un incremento notable de 123,881.229 hectáreas en la cobertura vegetal. Estos hallazgos indican una tendencia positiva en la recuperación de la vegetación y una reducción en la deforestación en la región objeto de investigación.

Se destaca que el bosque natural persiste como la categoría dominante de cobertura de suelo durante todos los años examinados. A lo largo del tiempo, la expansión de los bosques ha experimentado ligeros cambios, pero sigue manteniéndose como la cobertura predominante. Los porcentajes de cobertura forestal varían desde aproximadamente un 85% hasta alrededor de un 89%.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

La información contenida en los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de las provincias de Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe no se renueva de manera regular. Esto conlleva a la carencia de datos recientes sobre la situación actual en dichas provincias.

Debido a las condiciones climáticas y las particularidades de la zona de investigación, que se encuentra en la región Amazónica, fue un desafío encontrar imágenes satelitales con un nivel de nubosidad inferior al 20%. Esto representó una limitación significativa, ya que existían áreas con una visibilidad reducida. Como resultado, durante el proceso de clasificación, se perdieron tanto píxeles individuales como extensiones de terreno considerables debido a estas condiciones adversas.

La aplicación de la matriz de confusión junto al índice Kappa ha brindado información valiosa sobre la precisión y exactitud de la clasificación supervisada llevada a cabo. En cada periodo de análisis, se ha obtenido un porcentaje superior al 0,90, indicando así un nivel satisfactorio de clasificación, aunque es crucial considerar la presencia de errores en las otras categorías, los cuales se ven atenuados por las extensas áreas boscosas. Esta evaluación ha sido comparada con los datos provenientes de la plataforma Mapbiomas, permitiendo así obtener una visión más actualizada del uso del terreno en la zona. El análisis de cobertura y uso del suelo, realizado mediante la utilización de imágenes satelitales Landsat 7 y 8, ha proporcionado información sumamente valiosa sobre los cambios ocurridos en la región Amazónica del Ecuador durante el período estudiado. Los resultados obtenidos contribuyen al entendimiento de los

procesos de cambio en la cobertura del suelo y constituyen una herramienta esencial para la toma de decisiones en la gestión ambiental y territorial.

La data adquirida a través de imágenes satelitales se revela fundamental para el análisis temporal de transformaciones en el uso del suelo, dado que con frecuencia no se dispone de otras fuentes de datos históricos para llevar a cabo tales investigaciones. Previo a la clasificación, es esencial comprender detalladamente el proceso de procesamiento de las imágenes satelitales. Para lograr una clasificación precisa, se requiere un conocimiento profundo del territorio y una experiencia sólida en el ámbito de las Tecnologías de la Información Geográfica.

Los mapas de realizados en la plataforma Google Earth Engine permitieron observar las zonas que han sido sustituidas por otros usos de suelo, en donde se demostró que las zonas mineras como las zonas hidrocarburíferas se ha expandido y esto se puede observar en el link de la aplicación <https://westersteve.users.earthengine.app/view/programa-region-amazónica>.

En el año 2000 se tiene como cobertura vegetal en el bosque un 87%, cultivos 10%, petroleras 0.32% y minería 0.051% mientras que en el año 2022 tenemos una cantidad de cobertura vegetal en los bosques de 86%, mientras que los cultivos se mantienen igual al 10%, las petroleras tienen un gran aumento del 0.89% y en las minerías existe un aumento significativo de 0.56%.

El en año 2005 es el año que tiene mayor cantidad de deforestación ya que tiene un 85% en la cobertura de bosque, mientras que los cultivos tienen significativamente un aumento de 12.67%, mientras que las petroleras tienen poco aumento con un 0.59% y también las minerías no tienen un gran aumento a diferencia del año 2000 con un 0.016%.



En relación al porcentaje de cambio en la cobertura de uso de suelo durante el período 2000-2022, los resultados del estudio indican lo siguiente: La superficie ocupada por bosque natural inicialmente fue del 89,44%, y a lo largo de los 22 años se redujo a un 87,81%. Los cultivos ocuparon el 10,85% en el año 2000, experimentando un leve decrecimiento hasta el 10,80% en el año 2022. La presencia de Infraestructura Urbana y Petrolera fue del 0,29% en el año 2000, pero se observó un aumento notable al alcanzar el 1,033% en el año 2022. La zona de ríos representó el 0,783% en el año 2000, experimentando un incremento a un 0,89% en el año 2022. Finalmente, la zona minera tenía inicialmente un porcentaje de área de 0,001% en el año 2000, pero en 2022, este porcentaje aumentó considerablemente, llegando a ser del 0,45%.

En las tasas anuales de cambio en la provincia de Orellana en el año 2010 y 2016 existe una gran tasa de deforestación, mientras que en la provincia de Zamora Chinchipe en el año 2010 tiene una tasa de deforestación más pequeña que las otras provincias de estudio.

Durante el período de 2000 a 2022, la tasa de deforestación, calculada mediante la fórmula propuesta, indicó una disminución en la cobertura de bosque natural en las provincias examinadas. Inicialmente, en el año 2000, se observó una tasa de deforestación de -0,696%, que se redujo a -0,081% después de 22 años. La deforestación anual promedio en las provincias de estudio durante este período se estimó en aproximadamente 8337,396 hectáreas por año. Estos resultados subrayan la importancia de considerar estos índices para comprender el impacto de la deforestación en la región a lo largo del tiempo.

Se pueden extraer las siguientes conclusiones a partir del análisis multitemporal de los periodos estudiados (2000-2005, 2005-2010, 2010-2016 y 2016-2022) en las provincias analizadas:

2000-2005: Hubo una disminución en la extensión del bosque natural de 354,678.54 hectáreas, mientras que los cultivos aumentaron en 297,730.73 hectáreas. La infraestructura urbana y petrolera creció en 33,586.84 hectáreas, los ríos aumentaron en 28,392.15 hectáreas y la zona de minerías creció en 1,368.16 hectáreas.

2005-2010: Se registró un incremento en la extensión del bosque natural de 394,756.21 hectáreas, mientras que los cultivos disminuyeron en 394,525.56 hectáreas. La infraestructura urbana y petrolera aumentó en 7,234.45 hectáreas, los ríos disminuyeron en 29,284.64 hectáreas y la zona de minerías creció en 19,626.39 hectáreas.

2010-2016: Se observó una disminución en la extensión del bosque natural de 267,648.75 hectáreas, mientras que los cultivos aumentaron en 237,617 hectáreas. La infraestructura urbana y petrolera creció en 2,088.83 hectáreas, los ríos aumentaron en 11,266.37 hectáreas y la zona de minerías creció en 22,945.06 hectáreas.

2016-2022: Hubo un aumento en la extensión del bosque natural de 44,148.36 hectáreas, mientras que los cultivos disminuyeron en 98,880.36 hectáreas. La infraestructura urbana y petrolera aumentó en 43,224.77 hectáreas, los ríos disminuyeron en 2,333.68 hectáreas y la zona de minerías creció en 8,822.31 hectáreas.

Análisis multitemporal 2000-2022: Se identificó una disminución en la extensión del bosque natural de 183,422.72 hectáreas, mientras que los cultivos aumentaron en 41,941.81 hectáreas. La infraestructura urbana y petrolera creció en 86,134.89 hectáreas, los ríos aumentaron en 8,040.2 hectáreas y la zona de minerías creció en 52,761.92 hectáreas.

En conclusión, el análisis multitemporal evidencia una tendencia preocupante en la disminución de la extensión del bosque natural, siendo esta una amenaza significativa para la preservación de la Amazonia ecuatoriana. Los datos destacan el impacto de actividades como

hidrocarburos y minería en la región, lo que refuerza la necesidad de medidas efectivas para la conservación de este valioso ecosistema.

## **5.2 Recomendaciones**

Realizar este estudio en otras provincias de Ecuador tiene como finalidad obtener información y evaluar la adaptación en diferentes regiones del país. Esto permitirá consolidar y establecerlo como un referente metodológico para investigaciones sobre cambios en el suelo y análisis multitemporales.

El aprovechamiento de los resultados obtenidos en este proyecto de tesis es esencial para la próxima implementación del Plan de Ordenamiento Territorial en las provincias investigadas. Para mantener la vigencia y efectividad de estas estrategias, es imperativo establecer una práctica regular de actualización de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOTs) en toda la región Amazónica. Es crucial generar mapas anuales que detallen de manera precisa los diferentes tipos y la clasificación de la cobertura vegetal en la zona de estudio. Estos mapas proveerán valiosa información que respaldará la creación de planes, presentaciones, proyectos y programas relacionados con el ámbito de investigación abordado.

En las futuras iteraciones de los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOTs) u otros proyectos concernientes al ámbito ambiental y forestal, se recomienda realizar un exhaustivo análisis de la legislación vigente que regula el ordenamiento territorial y los usos asignados para las áreas urbanas y rurales del suelo.

Observar el programa didáctico que se encuentra realizado nuestro trabajo, que está todo nuestra investigación y este se puede usar para otros tipos de estudios a continuación el link <https://westersteve.users.earthengine.app/view/programa-region-amazonica>

## 6. BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Arias, H., Mora Zamora, R., & Vargas Bolaños, C. (2015). METODOLOGÍA PARA LA CORRECCIÓN ATMOSFÉRICA DE IMÁGENES ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 Y LANDSAT 8 CON EL MÓDULO FLAASH DEL SOFTWARE ENVI. ATMOSPHERIC CORRECTION METHODOLOGY FOR ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 AND LANDSAT 8 IMAGES WITH ENVI FLAASH MODULE SOFTWARE. *Revista geográfica de América Central*, 2(53). <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Alvarado, G., & Espinoza, I. (Junio de 2018). Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llavircay y planteamiento de acciones para su manejo y gestión. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15634>
- Ariza, A. (Enero de 2013). Descripción y corrección de productos landsat 8 LDCM. doi:10.13140/RG.2.2.21308.44167
- Ayad, Y. (2005). Remote sensing and GIS in modeling visual landscape change: a case study of the northwestern arid coast of Egypt. *Landscape and Urban Planning*, 73(4), 307-325. doi:<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.08.002>
- Barrera Zuñiga Raul Alejandro, G. O. D. (Junio-2015). Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales en la banda de los 400 a 700 nanómetros para aplicaciones de percepción remota. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
- Bocco, G. (julio-septiembre de 1998). Naturaleza y sociedad. Escalas de espacio y tiempo. *Ciencias*, 51, 54-59. Obtenido de <https://www.revistacienciasunam.com/en/108-revistas/revista-ciencias-51/902-naturaleza-y-sociedad-escalas-de-espacio-y-tiempo.html>
- Bongiovanni, R., Mantovani, E. C., Best, S., & Roel, A. (2006). Agricultura de precisión : integrando conocimientos para una agricultura moderna y sostenible. *Bte-Cfb-Cd-100*, 13–22. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68412>
- Calderón, A., Gabriela, K., Culqui, G., & Lourdes, C. (16-jun-2022). Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama. Universidad Técnica de Ambato.
- Chuvieco, E. (2010). Wildland fire danger. Estimation and mapping. The role of the remote sensing data. Series in remote sensing. . En E. Chuvieco, Wildland fire danger. Estimation and mapping. The role of the remote sensing data. Series in remote sensing. . Barcelona: Ariel Ciencia España.
- CITE-FLACSO. (2016). La prosperidad en las ciudades de Ecuador. Primer reporte del Índice de prosperidad urbana (CPI) para 27 ciudades ecuatorianas. Quito.

- Decreto Ejecutivo 120. (2009). REGLAMENTO DEL REGIMEN ESPECIAL DE PEQUEÑA MINERIA Estado: Vigente. 1–13. LexisFinder
- Díaz, M., Figueroa, R., Vidal, M., Suárez, M., & Climent, M. (Junio de 2018). CO2 emission and biomass loss, associated to the occurrence of forest fires in the Biobío Region, Chile: An approach from Ecosystem Services (ES). *Gayana Botánica*, 75(1). doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432018000100482>
- Domínguez, C. A. (1975). El clima amazónico y su influencia sobre el régimen hidrográfico y la utilización de suelos. *Revista Colombiana de Antropología*, 19, 371–396. <https://doi.org/10.22380/2539472x.1667> Repositorio Digital INIAP: Identificador inválido. (s. f.). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5453/1/Por+qu%C3%A9+son+fr%C3%A1giles+los+suelos+de+la+amazonia+ecuatoriana.pdf>
- Eastman, R. (2012). IDRISI Selva. Guía para SIG y procesamiento de imágenes. Clark University, 53(9), 321.
- FAO. (2015). EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS FORESTALES MUNDIALES 2015. Obtenido de Informe de organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: <https://www.fao.org/3/az203s/az203s.pdf>
- Flores, A. (13 de Diciembre de 2018). Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal e influencia del Programa Socio Bosque, en la Parroquia Nono, periodo 1990-2016. Obtenido de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/15890>
- Flores, G., Rincon, A., Cardona, P., & Alzate, A. (Junio de 2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *Dyna*, 84(201). doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- Fungi web Ecuador. (n.d.). Bioweb.Bio. Retrieved January 18, 2023, from <https://bioweb.bio/fungiweb/GeografiaClima/>
- Galeas, R., Guevara, J. E., Arias, G., Beltrán, L., Benítez, L., Guerrero, E., Lozada, J., Ortega, F., Pérez, D., Periche, O., Salazar, J., Tapia, C., Vizcaíno, M. J., Melo, P., Herrera, X., Castro, R., Loarte, G., Aguirre, C., Fernández, D., ... Santiana, J. (2012). Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Gob.Ec: [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- GeoService. (2016). GSP PERÚ. Obtenido de [http://gspperu.com/pdf/res\\_landsat7etm.pdf](http://gspperu.com/pdf/res_landsat7etm.pdf)

Google Earth, G. (2009). Obtenido de [https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es\\_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth\\_pro\\_ds.pdf](https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth_pro_ds.pdf)

Google Earth, G. (2009). Obtenido de [https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es\\_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth\\_pro\\_ds.pdf](https://static.googleusercontent.com/media/www.google.com/es//intl/es_ar/enterprise/earthmaps/pdf/earth_pro_ds.pdf)

Huacani Calsin, W., Meza Peña, N. P., Escobedo Silva, F., Vilca Mansilla, E., Calizaya Llatasi, E. E., Calizaya Llatasi, F. G., & Huanca Checca, F. (2022). Degradación Forestal por la Minería, Mediante Google Earth Engine Periodo 2000-2020 – Caso Manu, Madre de Dios. Memorias de La Conferencia Iberoamericana de Complejidad, Informática y Cibernética.

Iniciales, D., Proyecto, D. E. L., & Problema, D. Y. (2018). 1 Datos Iniciales Del Proyecto. 1.1. 1–100. [https://www.atencionintegral.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/PROYECTO-DE-PROTECCION-ESPECIAL\\_HIJOS\\_PPL.pdf](https://www.atencionintegral.gob.ec/wp-content/uploads/2020/02/PROYECTO-DE-PROTECCION-ESPECIAL_HIJOS_PPL.pdf)

Instructivo Otorgamiento Concesiones Mineras Minerales Metalicos.(30 de marzo del 2016). Obtenido de : <https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/09/Instructivo-Otorgamiento-Concesiones.pdf>

International Institute for Environment and Development. (2002). Minería artesanal y en pequeña escala. MMSD Abriendo Brecha, Capítulo 1, 431–458. <http://pubs.iied.org/pdfs/G00687.pdf>

I. R., Rodriguez, V. (2022). Clasificación de imágenes espaciales mediante visión artificial: [https://oa.upm.es/71155/1/TFG\\_ISABEL\\_ROMON\\_JACOB.pdf](https://oa.upm.es/71155/1/TFG_ISABEL_ROMON_JACOB.pdf)

L. y Janette Ulloa, V. L. A. F. E. J. C. (2013). AMAZONÍA ECUATORIANA BAJO PRESIÓN. EcoCiencia. [https://www.amazoniasocioambiental.org/wp-content/uploads/2017/01/AmazoniaEcuatoriana\\_bajo\\_presion.pdf](https://www.amazoniasocioambiental.org/wp-content/uploads/2017/01/AmazoniaEcuatoriana_bajo_presion.pdf)

Manuel, J., & Muñoz, S. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. *Pensamiento Matemático*, VI(2), 1–18.

María Vallejos, D., Gallego, M. S. F., Barbieri, B. A., Laura Bruzzone, L., Ramos, B. S., & Baeza, S. (2021). MAPBIOMAS PAMPA SUDAMERICANO: Inia.Uy. Retrieved May 31, 2023, from <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15770/1/Revista-INIA-65-Junio-2021-19.pdf>

Martín, N. J., & Pérez, G. (2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. *Cultivos Tropicales*, 30(1), 00–00. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362009000100003](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003)

- Mejia, V., Orellana, D., & Cabrera, P. (2021). Cambio de uso de suelo en la Amazonía norte del Ecuador: un análisis a través de imágenes satelitales nocturnas VIIRS e imágenes LANDSAT. *Universidad-Verdad*, 78, 10–29. <https://doi.org/10.33324/uv.v1i1.3555>
- Ministerio de Energía y Recursos no Renovables. (2016). Reglamento Ambiental de Actividades Hidrocarburíferas. Registro Oficial Suplemento 213, 2982, 54. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Ministerio de Minería de Ecuador. (2016). Plan Nacional de Desarrollo del Sector Minero, 494: <https://drive.google.com/file/d/0B9t02UvtK83SbDA3a1FwZmpBY1k/view>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2020). Línea de base nacional. Línea de base nacional para la minería artesanal y en pequeña escala de Oro en Ecuador, 33–80. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>
- Montserrat, D., & Delgado, G. (2015). Análisis de cambios de usos de suelo multitemporal en el Cantón Cuenca, from <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/4935/1/11374.pdf>
- Nacional, A. (2014). Segundo Suplemento Sumario : 31. [www.asamblea.gob.ec](http://www.asamblea.gob.ec)
- Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre Diversidad Biológica. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 1–17. <http://www.cbd.int/convention/convention.shtml>
- NASA LANDSAT SCIENCE, Landsat 7. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/>.
- NASA LANDSAT SCIENCE, Landsat 8 Overview. [en línea]. 2018. Disponible en: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/landsat-8-overview/>.
- Odsterritorioecuador.(2016) Plan integral para la amazonia: <https://odsterritorioecuador.ec/wp-content/uploads/2019/04/PLAN-INTEGRAL-PARA-LA-AMAZONIA.pdf>
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Obtenido de <https://volaya.github.io/libro-sig/>
- Ospina, V., Torres, B., Kothke, M., Kapp, G., Fischer, R., & Gunter, S. (2017). Sistema socio productivo de gobernanza en la comunidad kichwa 1'Shiwakucha", Pastaza Ecuador. *Revista amazónica Ciencia y Tecnología* , 5-8.
- Pereyra Fausto, G. (2015). Sector minería. *Boletín Científico de La Escuela Superior Atotonilco de Tula*, 2(4). <https://doi.org/10.29057/esat.v2i4.1469>
- Pérez, D. (2007). Introducción a los sensores remotos- Aplicaciones en geología . Buenos Aires : Univ. Buenos Aires .

- Perilla, G. A., & Mas, J.-F. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geograficas*, 101. <https://doi.org/10.14350/rig.59929>
- Perilla, Gabriel Alejandro, & Mas, Jean-François. (2020). Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones geográficas*, (101), e59929. Epub 02 de octubre de 2020. <https://doi.org/10.14350/rig.59929>
- PIA. (2022) Plan Integral para la Amazonía. Obtenido de Plan Integral para la Amazonía Actualizado (2021-2025): [https://www.secretariadelamazonia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/PIA\\_Digital-2022.pdf](https://www.secretariadelamazonia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/09/PIA_Digital-2022.pdf)
- Richards, J., & Jia, X. (2006). *Remote sensing digital image analysis an introduction* . Springer Verlag Heidelberg.
- Rodrigo, J. A. (Octubre de 2020). Random Forest con Python. Obtenido de [https://www.cienciadedatos.net/documentos/py08\\_random\\_forest\\_python.html#:~:text=Un%20modelo%20Random%20Forest%20est%C3%A1%20formado%20por%20un%20conjunto%20\(ensemble,con%20unos%20datos%20ligeramente%20distintos](https://www.cienciadedatos.net/documentos/py08_random_forest_python.html#:~:text=Un%20modelo%20Random%20Forest%20est%C3%A1%20formado%20por%20un%20conjunto%20(ensemble,con%20unos%20datos%20ligeramente%20distintos).
- Rodriguez , O., & Arredondo, H. (2005). *Manual para el manejo y procesamiento de imágenes satelitales obtenidas del sensor remoto MODIS de la NASA, aplicado en estudios de Ingeniería Civil:Tesis* . Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Rodríguez, D. (2019, June 21). Región Amazónica de Ecuador: características, provincias, culturas. Lifeder. <https://www.lifeder.com/region-amazonica-ecuador/>
- Salati, E. (1990). Amazonia. In *The Earth as transformed by human action*. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226024134.003.0017>
- Sánchez Jara, P. (2012). UNIVERSIDAD DE CUENCA. Edu.Ec, from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/779/1/ti839.pdf>
- Santana, L. M., & Salas, J. (2007). Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes LANDSAT. *GeoFocus*, 7, 281–313.
- Santana, L. M., & Salas, J. (2007). Análisis de cambios en la ocupación del suelo ocurridos en sabanas de Colombia entre 1987 y 2001, usando imágenes LANDSAT. *GeoFocus*, 7, 281–313.
- Sarría, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia, departamento de Geografía. *Sistemas de Información Geográfica*, 239. <https://bit.ly/3sPPZ11>



- Soria, M. V., & Matar, M. A. (2016). Nociones Sobre Teledetección. 1–79. <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/cartografiaaplicadaminas/wp-content/uploads/2016/10/Apuntes-de-cátedra-para-Cartografía-Aplicada.pdf>
- SOT.(2018) Ley orgánica para la planificación integral de la circunscripción territorial especial amazónica: [https://www.sot.gob.ec/sotadmin2/\\_lib/file/doc/LEY\\_ORGÁNICA%20PARA%20LA%20PLANIFICACIÓN%20INTEGRAL%20DE%20LA%20CIRCUNSCRIPCIÓN%20TERRITORIAL%20ESPECIAL%20AMAZONICA.pdf](https://www.sot.gob.ec/sotadmin2/_lib/file/doc/LEY_ORGÁNICA%20PARA%20LA%20PLANIFICACIÓN%20INTEGRAL%20DE%20LA%20CIRCUNSCRIPCIÓN%20TERRITORIAL%20ESPECIAL%20AMAZONICA.pdf)
- Tristán, P., Wainschenker, R., & Doorn, J. (2008). Normalización de Imágenes Satelitales en el Análisis Multi-Temporal. Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación, X, 315–319. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/20582>
- UNCPBA. (2012). Resoluciones en teledetección. Curso Sensores Remotos, 1, 5.
- Universidad de Murcia. (2003). Correcciones a las imágenes de satélites. Apuntes de La Asignatura Teledetección En Geografía, 79–88.
- Valverde Chávez, B. R. (2022). Análisis de la dinámica de deforestación ocurrida en los últimos cinco años en la zona intangible “Tagaeri Taromenane” (ZITT) mediante aplicación de tecnologías geoespaciales. 1–81.
- Veneros, J., García, L., Morales, E., Gómez, V., Torres, M., & López-Morales, F. (2020). Application of remote sensors for the analysis of vegetation cover and water bodies. Scielo.Cl. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n4/0718-3429-idesia-38-04-99.pdf>
- Vilatuña, D. M. B., & Quispe, J. M. T. (2021). ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL A PARTIR DE LA IMAGEN SATELITAL SENTINEL-2 Y LANDSAT-8 MEDIANTE EL USO DE ALGORITMOS DE CLASIFICACIÓN, EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL Y RESERVA ECOLÓGICA ARENILLAS. Universidad Politecnica Salesiana
- Villacís B., Carrillo D. País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador. Edición especial revista Analitika. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Quito – Ecuador. 2012 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wpcontent/descargas/Libros/Economia/Nuevacarademo-graficadeecuador.pdf>
- Zambrano, J. L. S., & Aguilera, M. A. Z. (Abril de 2019). Trabajo de grado en modalidad de monografía presentado como requisito parcial para optar por el título de Especialista en Sistemas de Información Geográfica. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

*Figura con el código para realizar la imagen compuesta*

```
var composite = ee.Algorithms.Landsat.simpleComposite({  
  collection: SAT7,  
  asFloat: true  
});  
  
layer = ui.Map.Layer (composite, {bands: [objetos.Selector.b1.getValue(),  
objetos.Selector.b2.getValue(),objetos.Selector.b3.getValue()]}, "LANDSAT 7");
```



Nota: código para realizar la imagen compuesta. Fuente: Autores

## Anexo 2

### Figura del código de los diccionarios

```
//Satelites "LANDSAT/LE07/C02/T1", "LANDSAT/LC08/C02/T1" "LANDSAT/LC08/C01/T1_RT"
var coleccion0= {
  "LANDSAT 7 (2000-2023)" : [], // "LANDSAT/LE07/C02/T1_RT_TOA"
  "LANDSAT 8 (2013-2021)" : [] // "LANDSAT/LC08/C01/T1_RT"
};

//Diccionario Provincias//
var Provincias = {
  "AZUAY" : [01],
  "BOLIVAR" : [02],
  "CAÑAR" : [03],
  "CARCHI" : [04],
  "CHIMBORAZO" : [06],
  "COTOPAXI" : [05],
  "EL ORO" : [07],
  "ESMERALDAS" : [8],
  "GALAPAGOS" : [20],
  "GUAYAS" : [9],
  "IMBABURA" : [10],
  "LOJA" : [11],
  "LOS RIOS" : [12],
  "MANABI" : [13],
  "MORONA SANTIAGO" : [14],
  "NAPO" : [15],
  "ORELLANA" : [22],
  "PASTAZA" : [16],
  "PICHINCHA" : [17],
  "SANTA ELENA" : [24],
  "SANTO DOMINGO DE LOS TSACHILAS" : [23],
  "SUCUMBIOS" : [21],
  "TUNGURAHUA" : [18],
  "ZAMORA CHINCHIPE" : [19]
};

//Diccionario de widgets//
var Bandas7 = {
  "B1" : [],
  "B2" : [],
  "B3" : [],
  "B4" : [],
  "B5" : [],
  "B6_VCID_1" : [],
  "B6_VCID_2" : [],
  "B7" : [],
  "B8" : []
}

var Bandas8 = {
  "B1" : [],
  "B2" : [],
  "B3" : [],
  "B4" : [],
  "B5" : [],
  "B6" : [],
  "B7" : [],
  "B8" : [],
  "B9" : [],
  "B10" : [],
  "B11" : []
}
```

Nota: código de los diccionarios. Fuente: Autores

## Anexo 3

### Figura del código de diccionario de satélites, provincias y bandas

```
var objetos = {
  label: ui.Label("VISOR LANDSAT:", {}),
  SelectorSatelite: ui.Select({ items: Object.keys(coleccion0), placeholder: "Seleccione Satelite", onChange: function(){}},
  SelectorProvincia: ui.Select({ items: Object.keys(Provincias), placeholder: "Seleccione Provincia", onChange: function(i){
  Map.addLayer((ecuador.filter(ee.Filter.inList("DPA_DESPRO", [i]))),{color: "gray"}, "Provincia", true, 0.2);
  Map.centerObject(ecuador.filter(ee.Filter.inList("DPA_DESPRO", [i])), 9);
  })),
  SliderFecha: ui.DateSlider({start: "2000-01-01", end: ee.Date(Date.now()), period: 365, onChange: function(){}},
  label1: ui.Label("BANDAS LANDSAT 7: ", {}),
  Selector: {
    b1: ui.Select({items: Object.keys(Bandas7), placeholder: " ", onChange: function(){}},
    b2: ui.Select({items: Object.keys(Bandas7), placeholder: " ", onChange: function(){}},
    b3: ui.Select({items: Object.keys(Bandas7), placeholder: " ", onChange: function(){}},
  },
  label2: ui.Label("BANDAS LANDSAT 8: ", {}),
  Selector2: {
    b1: ui.Select({items: Object.keys(Bandas8), placeholder: " ", onChange: function(){}},
    b2: ui.Select({items: Object.keys(Bandas8), placeholder: " ", onChange: function(){}},
    b3: ui.Select({items: Object.keys(Bandas8), placeholder: " ", onChange: function(){}},
  },
  cerrarpanel: ui.Button({
    label:"Cerrar",
    onClick: function(click){
      panel.style().set("shown", false);|
      objetos.abrirpanel.style().set("shown", true);
    },
    style:{}},
  abrirpanel: ui.Button({
    label:"Abrir",
    onClick: function(click){
      panel.style().set("shown", true);
      objetos.abrirpanel.style().set("shown", false);
    },
    style:{backgroundColor: '00005555', position: "top-left"}});
};
```

Nota: Código de diccionario de satélites, provincias y bandas Fuente: Autores

## Anexo 4

### Figura del código del panel de bandas

```
var panelbandas7 = ui.Panel({widgets: [
objetos.Selector.b1,
objetos.Selector.b2,
objetos.Selector.b3],
layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'), style: {backgroundColor: '00000000'}});

var panelbandas8= ui.Panel({widgets: [
objetos.Selector2.b1,
objetos.Selector2.b2,
objetos.Selector2.b3],
layout: ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'), style: {backgroundColor: '00000000'}});
```

Nota: Código del panel de bandas Fuente: Autores

## Anexo 5

### Figura de código de botón de aplicar

```
var boton = ui.Button({label:"Aplicar", onClick:function(image){
var sat = objetos.SelectorSatelite.getValue();
var provin = objetos.SelectorProvincia.getValue();
var band = [objetos.Selector.b1.getValue(), objetos.Selector.b2.getValue(), objetos.Selector.b3.getValue()];
//var Etiquetas,Titulo,Simbologia,TextoLeyenda,CajaLeyenda,i,Leyenda,Simbolos
var layer;
```

Nota: código de botón de aplicar Fuente: Autores

## Anexo 6

### Figura del código de comando IF

```
if(sat == "LANDSAT 7 (2000-2023)") {
var SAT7 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C02/T1")
.filterDate(ee.Date(objetos.SliderFecha.getValue()[0]).format('YYYY-MM-dd'),
ee.Date(objetos.SliderFecha.getValue()[1]).format('YYYY-MM-dd'));
```

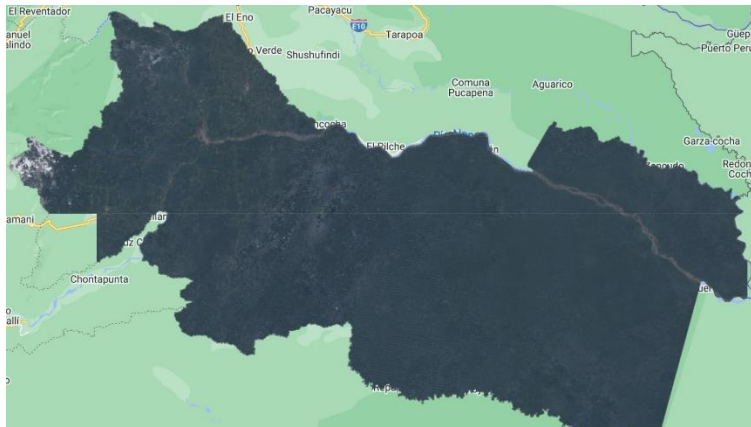
Nota: código de comando IF Fuente: Autores

## Anexo 7

### Figura del código de aplicación de imagen compuesta

```
var provincias7= ee.FeatureCollection("users/WesterSteve/Provincias")
.filter(ee.Filter.eq('DPA_DESPRO', provin)) // Exactly the same as above.
.first();

var LANDSAT7prov = SAT7
.select("LANDSAT 7 (2000-2023)")
.filterBounds (provincias7);
Map.addLayer(composite.clip(provincias7), {min:0,
max: 0.5, gamma: 1.5, bands: [objetos.Selector.b1.getValue(), objetos.Selector.b2.getValue(),
objetos.Selector.b3.getValue()]}, "LANDSAT 7");
```



Nota: código de aplicación de imagen compuesta.Fuente: Autores

## Anexo 8

### Figura de código de la clasificación supervisada

```
//Clasificación Supervisada
var muestras = bosque2000.merge(cultivos2000)
.merge(Infraestructura_urb_petr2000).merge(rios2000).merge(mineria2000);
print(muestras, 'muestras');

var bandas = ['B1', 'B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6_VCID_1', 'B6_VCID_2', 'B7', 'B8'];

var entrenamiento = composite.select(bandas).sampleRegions({
  collection: muestras,
  properties: ['class'],
  scale: 30});

// Clasificador Random Forest.
var clasificador = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
  features: entrenamiento,
  classProperty: 'class',
  inputProperties: bandas});

// Clasificar las imágenes de entrada.
var clasificado = composite.select(bandas).classify(clasificador);

var classVis = {
  min: 0,
  max: 4,
  palette: ['#2c853c', '#dce281', '#e21905', '#0000ff', '#39f2ff']};

// Resultado de la clasificación y la imagen de entrada.
Map.addLayer(clasificado.clip(provincias), classVis, 'Clasificacion');
```

Nota: código de la clasificación supervisada.Fuente: Autores

## Anexo 9

### Figura del código para el cálculo de área

```

var nombre = ["Bosque", "Cultivos", "Infraestructura urbana y Petrolera", "Rios", "Mineria"];
var renombre = clasificado.eq([0,1,2,3,4]).rename(nombre);
print(renombre);

//Calculo del area
var area = renombre.multiply(ee.Image.pixelArea().divide(10000));
var areaporclase = area.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  geometry: provincias,
  scale: 30,
  crs: "EPSG:4326",
  maxPixels: 1e12});

var areatotal = ee.Number(areaporclase);
print(areatotal);

```

Nota: código para el cálculo de área Fuente: Autores

## Anexo 10

### Figura del código de pieChart

```

var a = ee.Array(areaporclase.get("Bosque"));
var b = ee.Array(areaporclase.get("Cultivos"));
var c = ee.Array(areaporclase.get("Infraestructura urbana y Petrolera"));
var d = ee.Array(areaporclase.get("Rios"));
var e = ee.Array(areaporclase.get("Mineria"));
var array = ee.List([a,b,c,d,e]);

var Nombres = ee.List(nombre);
var chart = ui.Chart.array.values(array, 0, Nombres)
.setChartType("PieChart")
.setOptions({title: "Valor de Area por clase",
  colors: ['#2c853c', '#dce281', '#e21905', '#0000ff', '#39f2ff'],
  is3D: true});
print(chart);

```

Nota: Código de pieChart Fuente: Autores

## Anexo 11

### *Figura del código de matrices de validación*

```
// Estimar la matriz de confusión que represente la precisión de la clasificación.
print('Matriz de error del entrenamiento ', clasificador.confusionMatrix());
print('Precisión del entrenamiento ', clasificador.confusionMatrix().accuracy());

//Evaluación del clasificador
var muestrasrandom = entrenamiento.randomColumn('random');

//Reserva de datos para la validación
var reserva = 0.7; //Aproximadamente 70% de entrenamiento, 30% de validación.
var reservaentrenamiento = muestrasrandom.filter(ee.Filter.lt('random', reserva));
var reservavalidacion = muestrasrandom.filter(ee.Filter.gte('random', reserva));

// Entrenado con el 70% de nuestros datos.
var entrenamientoclassi = ee.Classifier.smileRandomForest(10).train({
  features: reservaentrenamiento,
  classProperty: 'class',
  inputProperties: bandas});

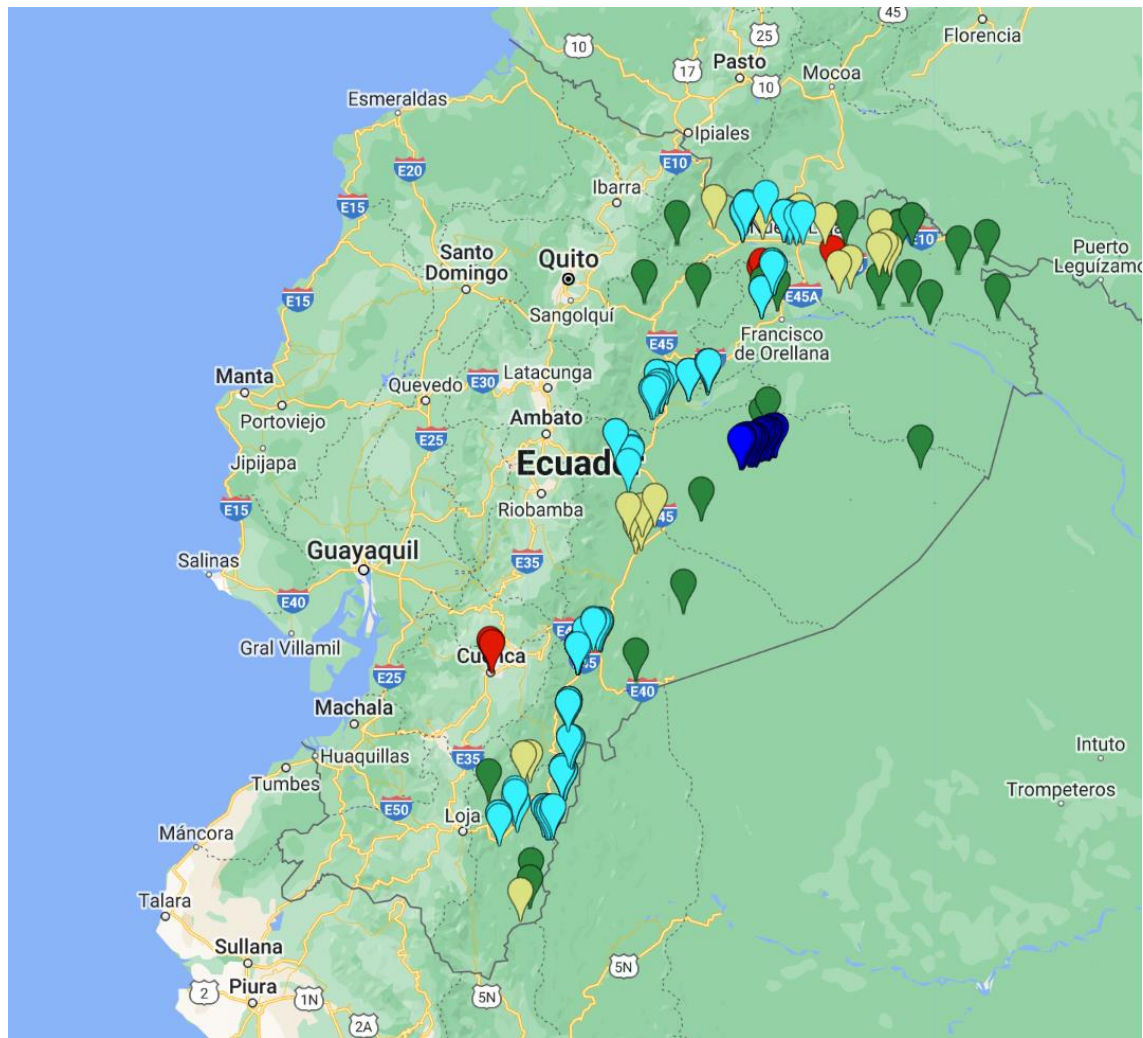
// Clasificación de la FeatureCollection.
var prueba = reservavalidacion.classify(entrenamientoclassi);

// Matriz de confusión.
var matrizconfusion = prueba.errorMatrix('class', 'classification');
print('Matriz de error de la validación', matrizconfusion);
print('Precisión de la validación', matrizconfusion.accuracy());
}
```

Nota: código de matrices de validación Fuente: Autores

## Anexo 12

*Imagen de muestreo mediante polígonos aleatorios.*

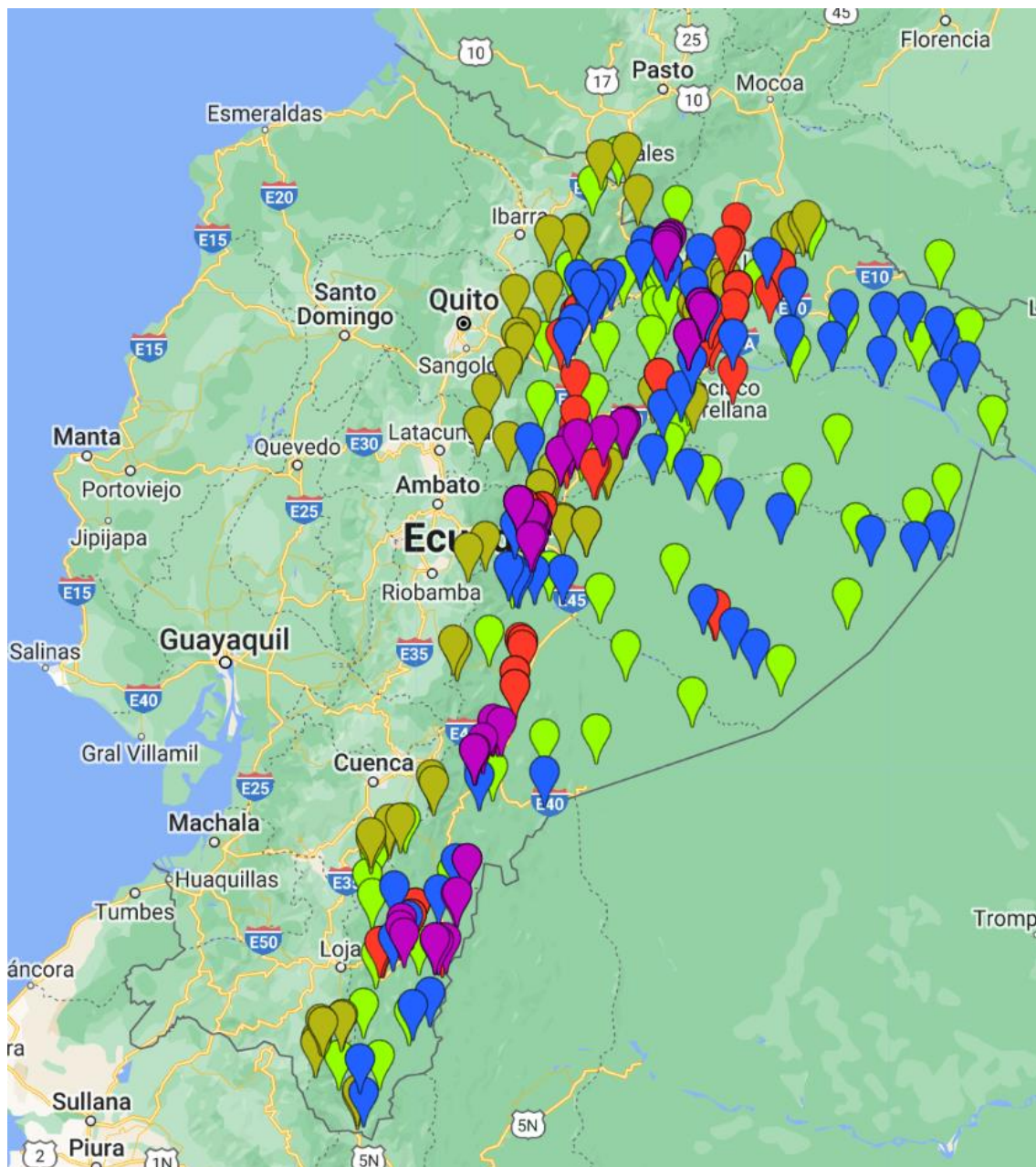


Nota: Imagen de muestreo mediante polígonos aleatorios..Fuente: Autores

### **Anexo 13**

*Imagen de muestreo mediante puntos aleatorios estratificado*





Nota: puntos aleatorios estratificado Fuente: Autores

#### Anexo 14

*Matriz de Confusión y cálculo de Coeficiente Kappa en el año 2000 de muestreo aleatorio estratificado.*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2000</b>						
<b>Clasificación</b>	<b>Bosque natural</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	<b>Ríos</b>	<b>Minería</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Bosque natural</b>	58	0	0	1	1	60
<b>Cultivos</b>	1	56	1	1	1	60
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	0	1	58	0	1	60
<b>Ríos</b>	0	1	0	59	0	60
<b>Minería</b>	1	0	4	1	54	60
<b>TOTAL</b>	60	58	63	62	57	300
<b>Sumatoria de diagonales</b>			285			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			60			
<b>Coeficiente Kappa</b>			0,675			

Nota: muestreo aleatorio estratificado.-.Fuente: Autores

#### Anexo 15

*Matriz de Confusión y cálculo de Coeficiente Kappa en el año 2005 de muestreo aleatorio estratificad*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2005</b>						
<b>Clasificación</b>	<b>Bosque natural</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	<b>Ríos</b>	<b>Minería</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Bosque natural</b>	58	1	0	0	1	60
<b>Cultivos</b>	2	55	1	1	1	60
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	0	1	58	1	0	60
<b>Ríos</b>	0	0	1	59	0	60
<b>Minería</b>	1	2	6	1	50	60
<b>TOTAL</b>	61	59	66	62	52	300
<b>Sumatoria de diagonales</b>			280			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			60			

**Coefficiente Kappa**

0,675

Nota: muestreo aleatorio estratificado Fuente: Autores

**Anexo 16**

*Matriz de Confusión y cálculo de Coeficiente Kappa en el año 2010 de muestreo aleatorio estratificad.*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2010</b>						
<b>Clasificación</b>	<b>Bosque natural</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	<b>Ríos</b>	<b>Minería</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Bosque natural</b>	59	0	0	0	1	60
<b>Cultivos</b>	0	56	2	0	2	60
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	0	0	59	0	0	59
<b>Ríos</b>	0	0	0	60	0	60
<b>Minería</b>	3	1	2	1	53	60
<b>TOTAL</b>	62	57	63	61	56	299
<b>Sumatoria de diagonales</b>			287			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			60			
<b>Coeficiente Kappa</b>			0,743			

Nota: muestreo aleatorio estratificado Fuente: Autores

**Anexo 17**

*Matriz de Confusión y cálculo de Coeficiente Kappa en el año 2016 de muestreo aleatorio estratificad.*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2016</b>						
<b>Clasificación</b>	<b>Bosque natural</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	<b>Ríos</b>	<b>Minería</b>	<b>TOTAL</b>
<b>Bosque natural</b>	60	0	0	0	0	60
<b>Cultivos</b>	3	55	0	0	1	59
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	0	0	60	0	0	60
<b>Ríos</b>	1	0	1	58	0	60
<b>Minería</b>	3	1	8	0	48	60
<b>TOTAL</b>	67	56	69	58	49	299
<b>Sumatoria de diagonales</b>			281			

<b>Numero de muestras recolectadas</b>	380
<b>Coefficiente Kappa</b>	0,691

Nota: muestreo aleatorio estratificado. Fuente: Autores

### **Anexo 18**

*Matriz de Confusión y cálculo de Coeficiente Kappa en el año 2022 de muestreo aleatorio estratificado.*

<b>Matriz de Confusión y Coeficiente Kappa año 2022</b>						
<b>Clasificación</b>	Bosque natural	Cultivos	Infraestructura Urbana y Petrolera	Ríos	Minería	TOTAL
<b>Bosque natural</b>	60	0	0	0	0	60
<b>Cultivos</b>	1	55	1	0	3	60
<b>Infraestructura Urbana y Petrolera</b>	0	1	56	1	2	60
<b>Ríos</b>	1	0	1	58	0	60
<b>Minería</b>	0	1	2	0	57	60
<b>TOTAL</b>	62	57	60	59	62	300
<b>Sumatoria de diagonales</b>			286			
<b>Numero de muestras recolectadas</b>			380			
<b>Coefficiente Kappa</b>			0,711			

Nota: muestreo aleatorio estratificado. Fuente: Autores

Anexo 19:

Manual para utilizar la plataforma Google Earth Engine de manera didáctica



GOOGLE EARTH ENGINE



# **MANUAL DE USO PROGRAMA REGIÓN AMAZÓNICA DEL ECUADOR**

*POR*

*CHUMAÑA CABASCANGO WESTER STEVE  
QUINAUCHO LEÓN CRISTIAN EFRAÍN*



El programa creado a través de la plataforma Google Earth Engine nos permitirá la observación de imágenes Landsat 7 y 8, además de realizar imágenes clasificadas para los años 2000 al 2022 en un intervalo de tiempo de 5 y 6 años.

## INTERFAZ Y USO

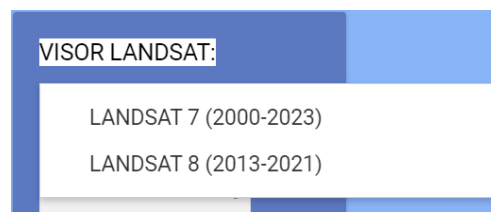
El programa consta de dos paneles interactivos en los que mediante la selección de opciones podremos ejecutar las diferentes acciones a realizar.



En el primer panel denominado VISOR LANDSAT tenemos la posibilidad de observar cualquier imagen de los satélites Landsat 7 y 8 para todo el Ecuador por provincias con un rango temporal de un año, para los años 2000 al 2022.

Para empezar la visualización de imágenes debemos seleccionar en el primer cuadro de selección el satélite que deseamos observar.

Al dar clic en la pestaña notaremos que tenemos dos opciones, LANDSAT 7 (2000-2023) y LANDSAT 8 (2013-2021).



Al seleccionar la primera opción tendremos acceso al catálogo de imágenes del satélite LANDSAT 7 y como observamos en el nombre entre los años 2000 al 2023 esto se debe a que el satélite LANDSAT 7 contiene imágenes de todo el mundo desde enero de 1999 hasta la actualidad y continúa actualizándose constantemente.

En el caso de seleccionar la segunda opción vamos a tener acceso al catálogo de imágenes de LANDSAT 8 pero con la limitación de que sus imágenes satelitales se encuentran disponibles desde el 2013, según páginas con información de los satélites se pueden encontrar imágenes hasta la actualidad lamentablemente en Google Earth Engine no se encuentran disponibles las imágenes para los años 2022 y 2023 por este motivo se colocó en el nombre solo hasta el año 2021.

La segunda opción del visor Landsat es el selector de provincia al dar clic podemos observar que se despliega un listado con todas las provincias del Ecuador al seleccionar una provincia inmediatamente nos llevará a la provincia seleccionada y la enmarcará con un tono gris claro.

**VISOR LANDSAT:**

Seleccione Satellite ▾

Seleccione Provincia ▾

**VISOR LANDSAT:**

Seleccione Satellite ▾

- AZUAY
- BOLIVAR
- CAÑAR
- CARCHI
- CHIMBORAZO
- COTOPAXI
- EL ORO
- ESMERALDAS
- GALAPAGOS
- GUAYAS
- IMBABURA
- LOJA
- LOS RIOS
- MANABI
- MORONA SANTIAGO

**VISOR LANDSAT:**

Seleccione Satellite ▾

AZUAY ▾

2021 2022 2023

01/01/2023

**BANDAS LANDSAT 7:**

▾ ▾ ▾

**BANDAS LANDSAT 8:**

▾ ▾ ▾

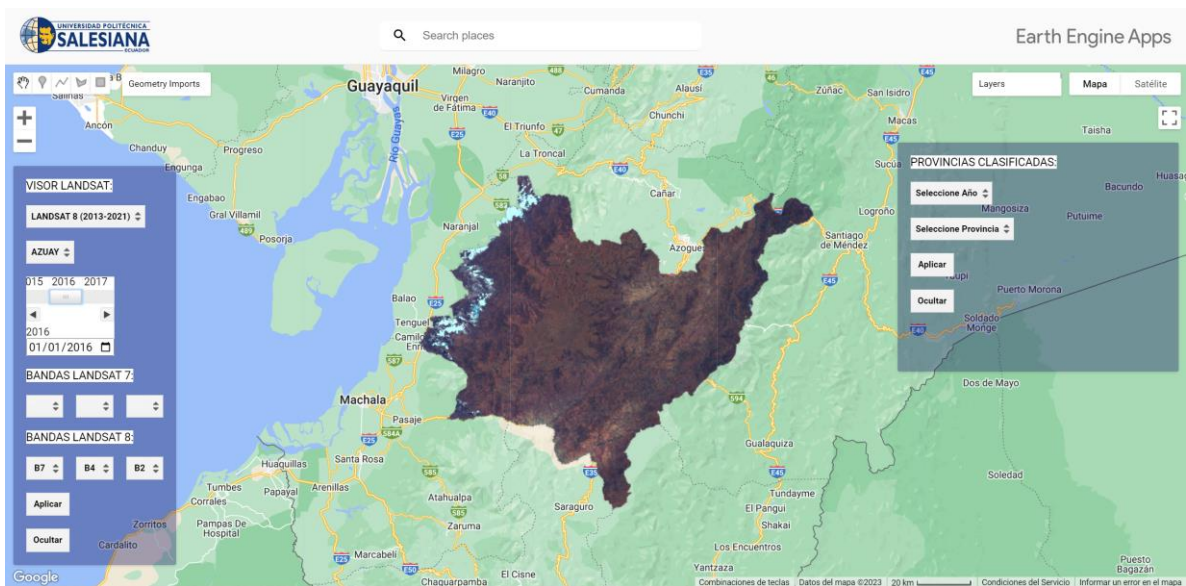
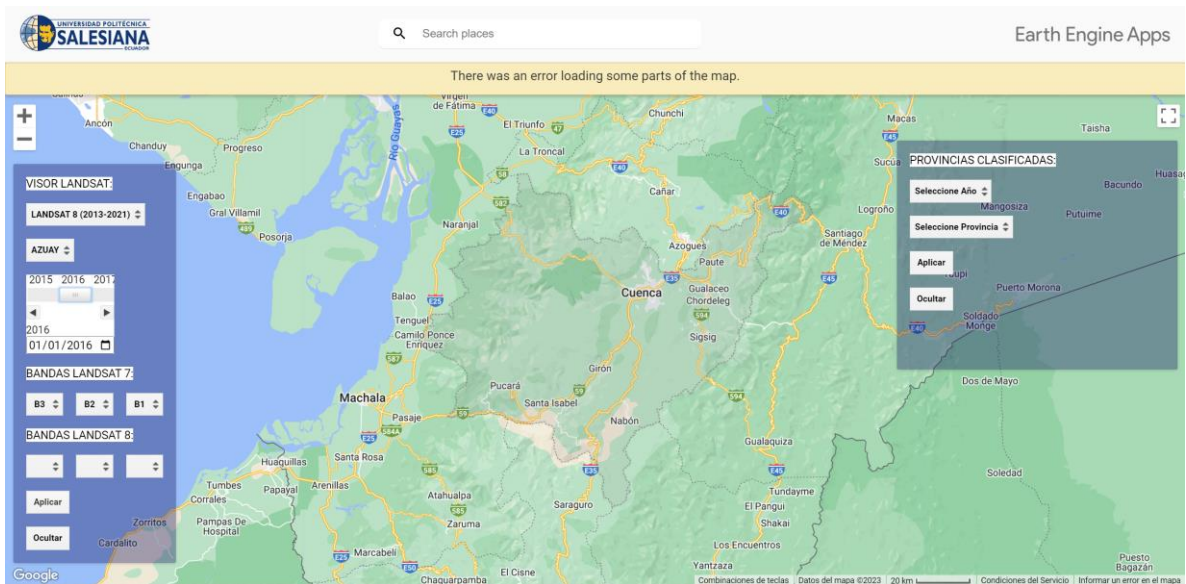
Aplicar



Como tercera opción tenemos la barra de selección de la fecha en donde podemos encontrar los años en los que necesitamos visualizar las imágenes, van desde el 2000 hasta el 2023, en el programa únicamente podemos hacer una selección anual debido a que en el script se colocó una periodicidad de 365 días ya que realizamos una clasificación supervisada y necesitamos observar los cambios de cobertura vegetal de forma anual, pero teniendo en cuenta que las imágenes satelitales se actualizan constantemente se puede trabajar con distintos períodos de tiempo como puede ser cada 15 días o de forma mensual, todo depende de las necesidades del usuario y de lo que se trate el programa que se vaya a elaborar.



La siguiente opción de selección son las bandas para cada satélite, nos encontramos con dos opciones para escoger, en el caso de seleccionar el satélite Landsat 7 deberemos seleccionar las bandas para ese satélite, si por ejemplo seleccionamos el satélite Landsat 8 pero colocamos las bandas del Landsat 7 e intentamos que el programa nos muestre una imagen nos encontramos con un mensaje de error el cual indica que algunas partes del mapa no pudieron cargarse y esto se debe a que no se encontró las bandas de visualización para el satélite seleccionado.



Como dato adicional por si no se tiene conocimiento de que son las bandas de los satélites y cómo funcionan aquí tenemos una breve explicación.

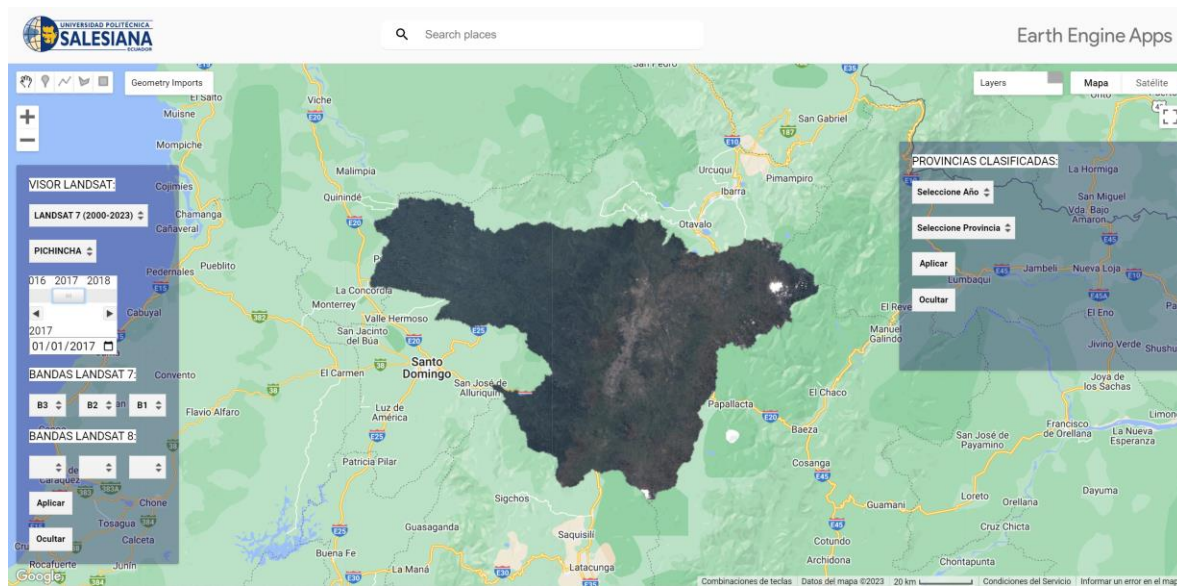
Los sensores remotos de los satélites pueden ser ajustados con el fin de detectar la luz en longitudes de onda que no son visibles a simple vista. Cada banda espectral de un satélite

corresponde a un rango específico de longitudes de onda que transmiten información específica sobre una característica en particular. La combinación de imágenes en el rango visible con distintas bandas nos ayuda con la visualización de datos que de otro modo no sería posible.

Para el Landsat 7 contamos con 8 bandas que nos brindan distintas características conforme lo que el usuario requiera observar, La banda 1 según su región del espectro electromagnético representa el **Azul** Visible y nos ayuda en el mapeo de aguas costeras además de la diferenciación entre suelo y vegetación, banda 2 es el **Verde** Visible se usa en el mapeo de vegetación y calidad de agua, banda 3 es el **Rojo** Visible nos permite la observación de absorción de clorofila, diferenciación de especies vegetales, áreas urbanas, uso de suelo, calidad de agua y agricultura, banda 4 es **Infrarrojo Cercano** usado en Delineamiento de cuerpos de agua, mapeo geológico, áreas incendiadas, áreas húmedas, vegetación y agricultura, banda 5 **Infrarrojo Medio** utilizado en observaciones de uso de suelo, medidas de humedad de vegetación, diferenciación entre nubes y nieve, vegetación y agricultura, banda 6 **Infrarrojo VCID\_1** es una banda de infrarrojos térmicos de baja ganancia además tenemos un rango dinámico ampliado y una resolución radiométrica más baja (sensibilidad), con menos saturación a valores altos de número digital (DN), banda 6 **Infrarrojo VCID\_2** es una banda de infrarrojo térmico de alta ganancia y tiene mayor resolución radiométrica (sensibilidad), aunque tiene un rango dinámico más restringido. banda 7 **Infrarrojo Medio** usado en observación e identificación de minerales, mapeo hidrotermal. Banda 8 **Pancromática Verde y Rojo: Infrarrojo cercano** utilizado para mapeo de grandes áreas: estudios de cambios urbanos.

Con las bandas podemos realizar variadas combinaciones para la observación de diferentes características en las imágenes, vamos a explicar cómo mediante la combinación de bandas podemos acceder a una imagen con colores reales o conocida como RGB.

En la explicación de cada una de las bandas aclaramos que la banda 1 representa el Azul, la banda 2 el verde y la banda 3 el Rojo, las siglas RGB significan (RED, BLUE and GREEN) por lo tanto notamos que para acceder a la combinación RGB debemos colocar las bandas en el orden B3, B2 y B1 de esa forma vamos a observar que al cargar la imagen con las bandas en ese orden obtenemos una imagen con colores reales o parecidos a los del satélite de Google.

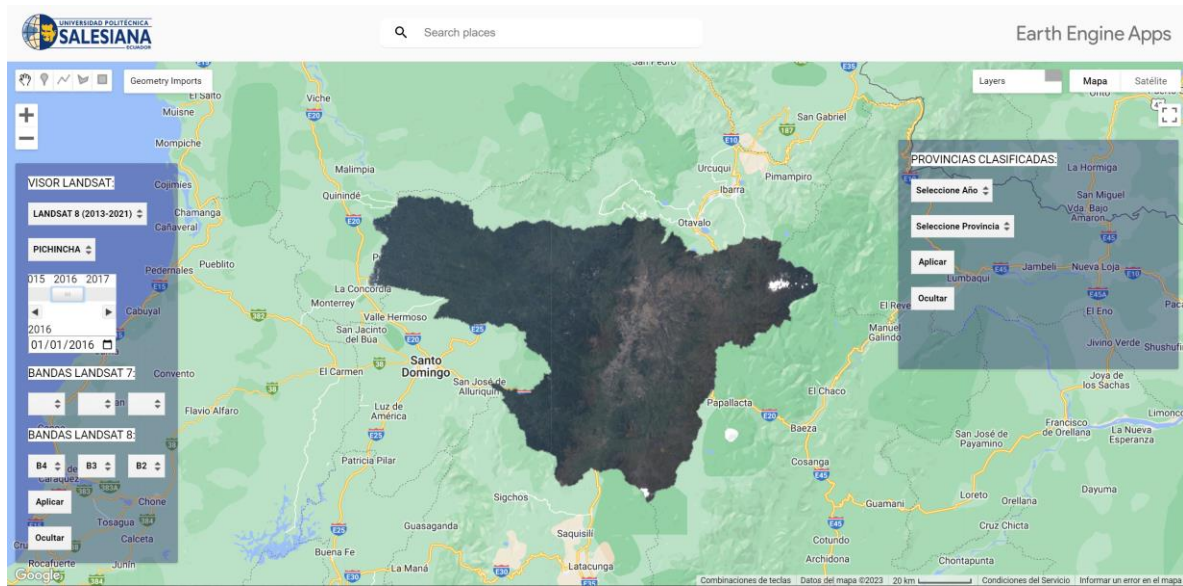


Para el Landsat 8 contamos con 11 bandas además cada satélite cuenta con unas bandas adicionales conocidas como QA\_PIXEL en Landsat 7 y BQA en Landsat 8 que nos permiten mediante las funciones del Google Earth Engine realizar enmascarados de nubes que son imágenes en donde se recortan las nubes de la imagen, el detalle de estas imágenes es que al recortar las nubes de la imagen varios sectores de la imagen quedan inutilizables o con cero visibilidad y para la realización de las imágenes clasificadas hay muchos sectores con errores en el resultado de la clasificación.

Las bandas del Landsat 8 poseen las siguientes descripciones, banda 1 según su Región del Espectro Electromagnético es **Costera**/aerosol usada para estudios costeros y de aerosoles,

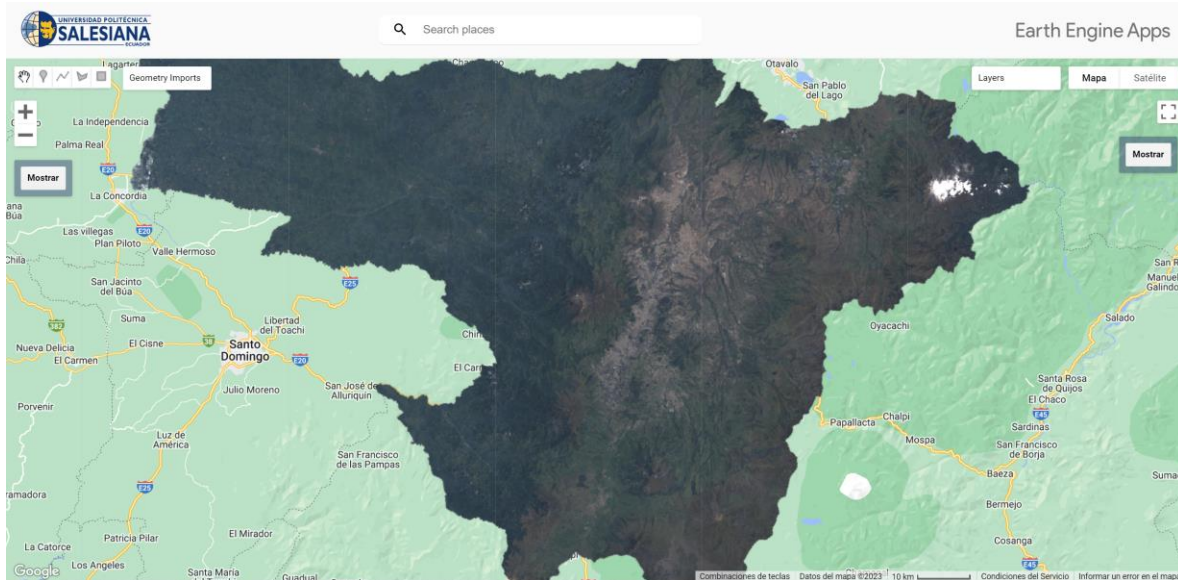
banda 2 **Azul** utilizada en mapeo barométrico, distinguiendo suelo de vegetación y vegetación de coníferas, banda 3 **Verde** enfatiza la vegetación pico, lo cual es útil para evaluar el vigor de las plantas, banda 4 **Rojo** discrimina la pendiente de la vegetación, banda 5 **Infrarrojo Cercano** enfatiza en el contenido de la biomasa y las costa, banda 6 **Infrarrojo onda corta SWIR 1** discrimina el contenido de humedad del suelo y vegetación además penetra en las nubes delgadas, banda 7 **Infrarrojo onda corta SWIR 2** se encarga de mejorar el contenido de humedad del suelo y la vegetación, también penetra en nubes delgadas, banda 8 **Pancromática** definición de imagen más nítida, banda 9 **Cirros** encargada de la detección mejorada de la contaminación por nubes cirros, banda 10 **Infrarrojo onda larga LWIR 1** para mapeos termales y estimación de humedad del suelo y banda 11 **Infrarrojo onda larga LWIR 2** calidad de evaluación para cada píxel en la escena.

En el caso del satélite Landsat 8 según la explicación de sus bandas para la obtención de una imagen con colores reales empleamos la combinación B4, B3 y B2 debido a que son las bandas que nos entregan la imagen con la combinación RGB.



Mediante el botón aplicar en el script se permite que se ejecute todo el código creado para el visor de Landsat y con todas las opciones anteriormente seleccionadas al dar clic nos muestra una imagen en el mapa la cual puede variar dependiendo de los años y las bandas seleccionadas.

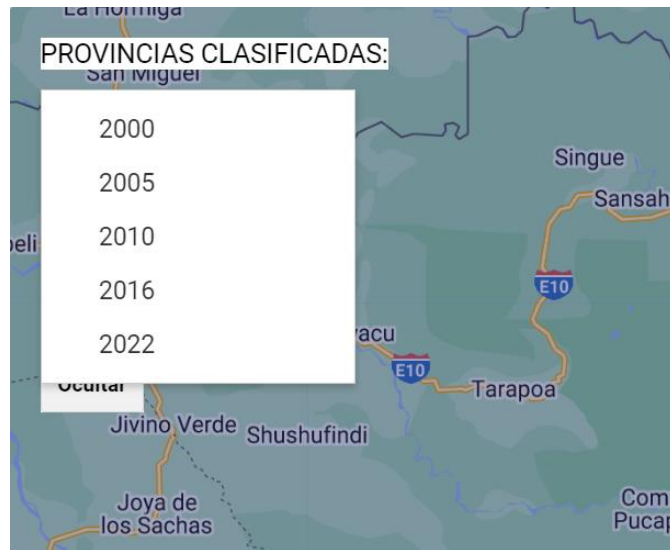
Para finalizar en el panel del Visor Landsat y en el panel de las provincias clasificadas encontramos un botón llamado ocultar que al pulsarlo oculta todo el panel y nos muestra inmediatamente otro botón llamado mostrar, este botón fue creado únicamente con la intención de obtener una visualización más limpia de las imágenes que necesitamos y que no estorben en la vista central los paneles.



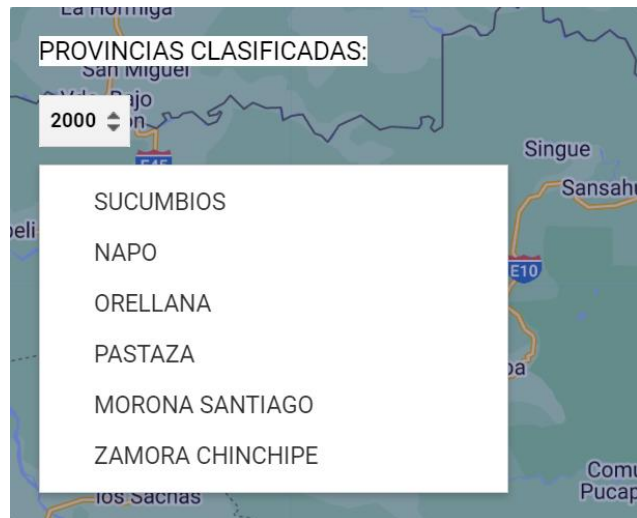
En el panel de las provincias clasificadas encontramos las siguientes opciones.



Al hacer clic en la primera opción conocida como selector de año se nos despliega una lista con los años en donde se trabajó las imágenes clasificadas cubriendo un rango temporal que va desde el 2000 hasta el 2022.

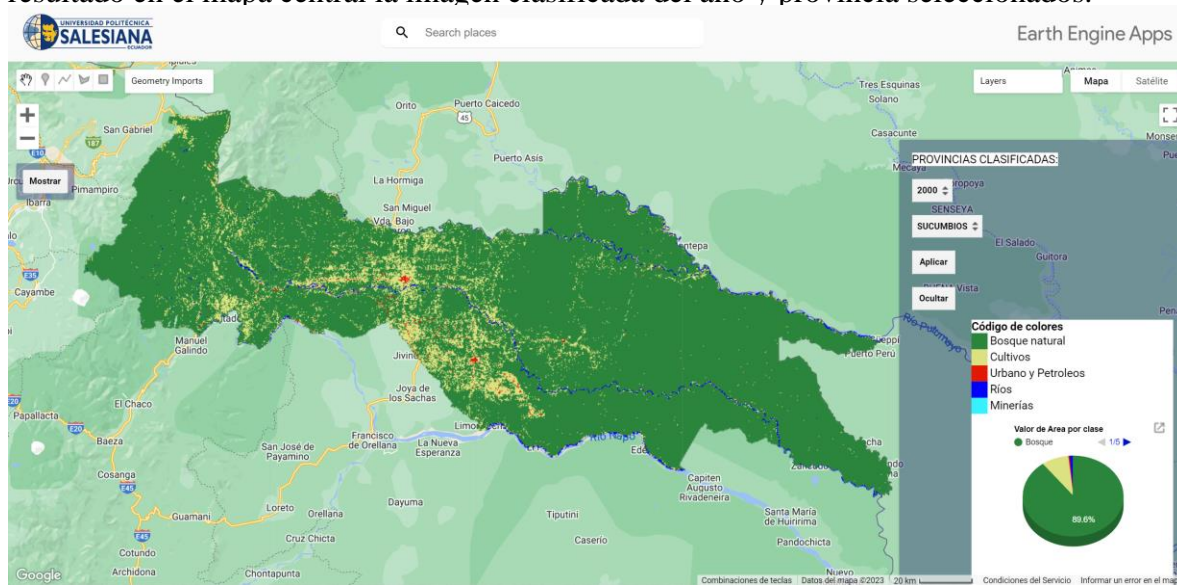


Seleccionamos un año en el que deseemos visualizar las imágenes clasificadas, al hacer clic en la segunda opción accedemos al listado de las provincias en donde se realizó la clasificación supervisada en este caso fue realizado en Sucumbíos, Napo, Orellana, Pastaza, Morona Santiago y Zamora Chinchipe debido a que estas 6 provincias componen toda la región amazónica del Ecuador.

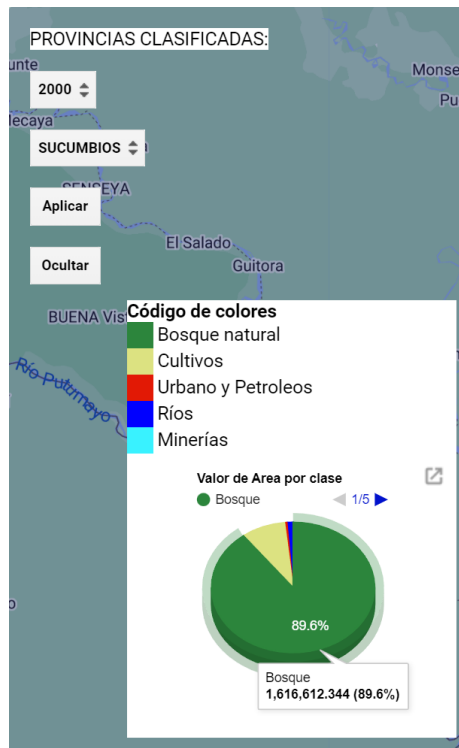




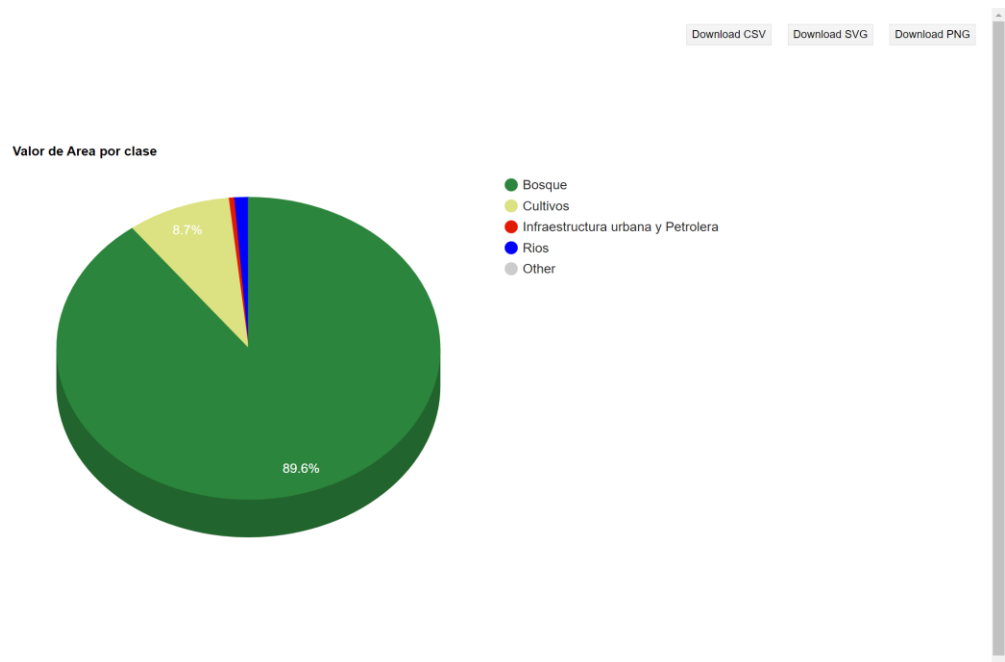
Seleccionamos una de las 6 provincias y al hacer clic en el botón aplicar obtenemos como resultado en el mapa central la imagen clasificada del año y provincia seleccionados.



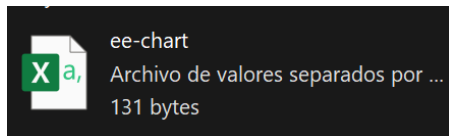
Como podemos observar en la imagen, al hacer clic obtenemos la imagen clasificada, para entender la imagen debemos recurrir a la leyenda que se despliega una vez hacemos clic en aplicar, ahí encontramos el código de colores que componen la imagen clasificada notamos que el verde es la referencia de bosque natural, el amarillo cultivos, el color rojo las infraestructuras urbanas y petroleras, el azul los ríos y el celeste las minerías, además también se despliega un gráfico en forma de pastel en donde podemos observar los porcentajes que componen cada color en el total del área de la provincia, si queremos obtener los valores en hectáreas de cada una de las categorías podemos pasar el cursor sobre el gráfico e inmediatamente nos mostrará en un pequeño cuadro de texto el número en hectáreas y entre paréntesis el valor en porcentaje.



Si deseamos tener una mejor visualización de estos valores tenemos la opción de dar clic en la flecha que se encuentra en la esquina superior derecha del gráfico e inmediatamente nos abrirá una nueva pestaña con el gráfico en toda la parte central facilitándonos la observación de sus valores en hectáreas.

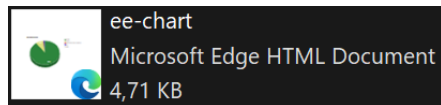


Además, contamos con la posibilidad de descargar un archivo .csv en donde tenemos la información más completa acerca de todos los valores en hectáreas de cada una de las categorías de la imagen debido a que en el gráfico de pastel no se muestran todos los valores porque existen unas categorías que para el año seleccionado tienen un valor infinitesimal.



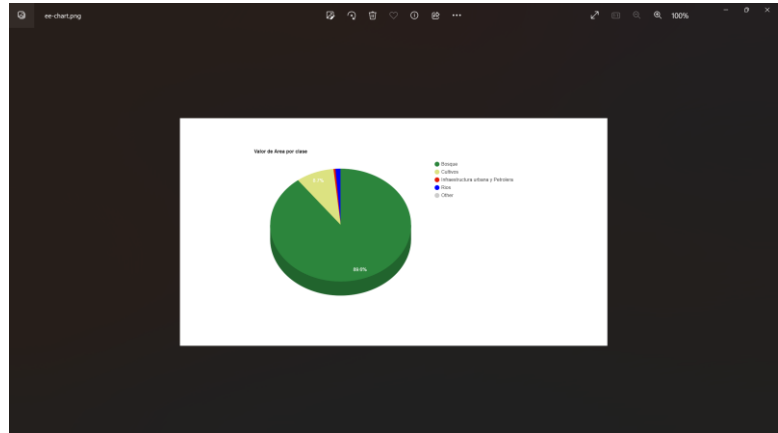
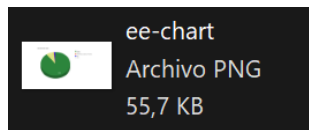
	A	B	C	D
1	,[x]			
2	Bosque,"1,616,612.344"			
3	Cultivos,"157,570.729"			
4	Infraestructura urbana y Petrolera,"8,243.145"			
5	Rios,"21,725.032"			
6	Mineria,16.364			
7				
8				

La descarga de un archivo .svg que es mejor conocido como Gráficos vectoriales escalables y que es un estándar web para definir gráficos basados en vectores en páginas web, es un formato vectorial que es poco conocido pero que es muy útil para su uso online debido a su flexibilidad y por la capacidad que tiene para ofrecer gráficos con calidad.



```
This XML file does not appear to have any style information associated with it. The document tree is shown below.
<svg width="1421" height="757" aria-label="A chart." style="overflow: hidden;">
  <defs id="BOSQUE_20_4">
    <rect x="0" y="0" width="1421" height="757" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </defs>
  <rect text-anchor="start" x="137" y="216.6" font-family="Arial" font-size="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"Valor de Area por clase/text>
    <rect x="137" y="187" width="938" height="38" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </rect>
  <rect x="88" y="187" width="129" height="129" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  <g column-id="Bosque">
    <rect x="88" y="165" width="129" height="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
    <rect x="247" y="187" width="938" height="38" stroke="none" stroke-width="0" fill="022222">Bosque/text</rect>
    <circle cx="856" cy="151" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </g>
  <g column-id="Cultivos">
    <rect x="888" y="191" width="129" height="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
    <rect text-anchor="start" x="878" y="188.6" font-family="Arial" font-size="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="022222">Cultivos/text</rect>
    <circle cx="856" cy="179" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </g>
  <g column-id="Infraestructura urbana y Petrolera">
    <rect x="888" y="197" width="129" height="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
    <rect text-anchor="start" x="878" y="194.6" font-family="Arial" font-size="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="022222">Infraestructura urbana y Petrolera/text</rect>
    <circle cx="856" cy="205" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </g>
  <g column-id="Rios">
    <rect x="888" y="221" width="129" height="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
    <rect text-anchor="start" x="878" y="218.6" font-family="Arial" font-size="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="022222">Rios/text</rect>
    <circle cx="856" cy="211" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </g>
  <g column-id="Mineria">
    <rect x="888" y="245" width="129" height="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
    <rect text-anchor="start" x="878" y="242.6" font-family="Arial" font-size="18" stroke="none" stroke-width="0" fill="022222">Mineria/text</rect>
    <circle cx="856" cy="237" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
  </g>
  <circle cx="856" cy="251" r="8" stroke="none" stroke-width="0" fill="000000"/>
</svg>
```

Por último, la descarga del archivo en formato .png que es un formato de imagen por lo tanto descargamos el gráfico en un archivo de imagen que nos permite su uso y visualización en cualquier plataforma que admita este tipo de archivos.



#### **Anexo 20:**

*Enlace a la aplicación de Google Earth Engine*

<https://westersteve.users.earthengine.app/view/programa-region-amazonica>