



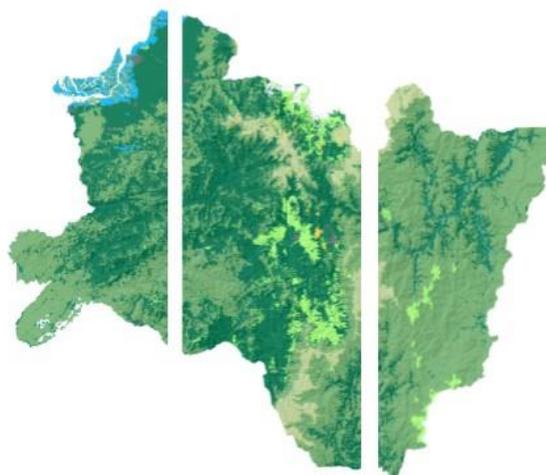
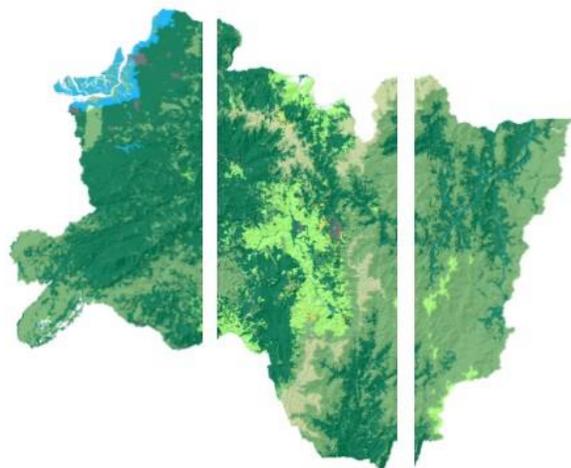
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS CAMBIOS Y FRAGMENTACIONES EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR EN EL PERIODO 2000– 2016



Tesis de Grado Previo a la Obtención del Título de **INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**

AUTOR: LINO CHRISTIAN NARVÁEZ SOZORANGA

DIRECTOR: JUAN ARMANDO MAITA Mg.Sc.

LOJA—ECUADOR

2019



CERTIFICACIÓN

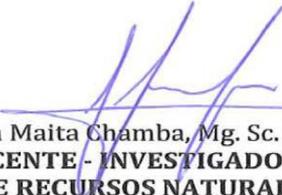
Juan Maita Chamba, Mg. Sc. Geomática.
DIRECTOR DE TESIS

En calidad de director de tesis certifico que el Señor **Lino Christian Narváez Sozoranga**, egresado de la carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de Loja, ha desarrollado el proyecto de tesis titulada **"DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DE ECUADOR EN EL PERIODO 2000-2016"** el mismo que ha sido debidamente revisado y corregido, cumpliendo con todas las normas reglamentarias vigentes y dentro del cronograma establecido

Por tal razón, autorizo su presentación para que se continúe con el proceso que corresponda.

Loja, 12 de abril de 2019.

Atentamente,



Juan Maita Chamba, Mg. Sc. Geomática
**DOCENTE - INVESTIGADOR DE LA FACULTAD AGROPECUARIA
Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES, UNL.**
Cc. Archivo personal



CERTIFICACIÓN

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada **“DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DE ECUADOR EN EL PERIODO 2000-2016”** de autoría del Sr. Egresado Lino Christian Narváz Sozoranga de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, certifican que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por sus miembros.

Por lo tanto, autorizamos al señor egresado, su publicación y difusión.

Loja, 30 de mayo de 2019

Atentamente

Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg. Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Guillermo Chuncho Morocho Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL



AUTORIA

Yo, Lino Christian Narváez Sozoranga, declaro ser autor de la presente tesis titulada **“DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DE ECUADOR EN EL PERIODO 2000-2016”**, y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

.....
Lino Christian Narváez Sozoranga

C.I.: 1900797844

Loja, 03 de junio de 2019



**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO**

Yo, Lino Christian Narváez Sozoranga, declaro ser autor de la presente tesis titulada "DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA Y USO DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DE ECUADOR EN EL PERIODO 2000-2016", como requisito para optar al grado de: Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad. A través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI).

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los tres días del mes de junio de dos mil diecinueve, firma el autor.

Firma:

Autor: Lino Christian Narváez Sozoranga

Número de cédula.: 1900797844

Correo electrónico: lcnarvaezs@unl.edu.ec

Dirección: Loja, Ciudadela Héroes del Cenepa

Teléfono: 0985088391

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Ing. Juan Armando Maita Mg. Sc

Tribunal de Grado: Ing. Oscar Lenin Juela Sivisaca Mg. Sc

Ing. Carlos Guillermo Chunchu Morocho Mg. Sc

Biol. Xavier Alejandro Rojas Ruilova Mg. Sc.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento en especial a mi madre, mi abuelo, mis hermanas, por su cariño y apoyo incondicional que me ayudaron a cumplir esta meta, depositando su entera confianza en cada reto que se presentaba.

Como no agradecer a mis maestros que me inculcaron sus conocimientos éticos y morales llenos de valores que me han permitido crecer como estudiante y persona, y así lograr ser un buen profesional. De igual manera agradezco a mi Director de tesis por su ayuda, por su paciencia y sus valiosas sugerencias en el presente proyecto de investigación.

A los miembros del tribunal calificador, quienes contribuyeron con el asesoramiento correspondiente brindando sus nobles y valiosas sugerencias para reforzar el presente trabajo de investigación.

Y finalmente, eternas gracias a toda mi familia y amigos por todo el apoyo incondicional que me brindaron durante mi vida universitaria.

El autor

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de Titulación principalmente a Dios, por haberme permitido llegar hasta este momento tan importante en mi vida, el ser un profesional.

A toda mi familia en especial a mi madre que con sus consejos y apoyo me ayudaron a seguir adelante y que no debo rendirme ante ninguna adversidad, a mi abuelo y mis hermanas, por estar en todo momento guiándome y dándome la fuerza necesaria para cumplir lo que me he propuesto y llegar a ser quien soy en este momento.

Dedico también a todos mis amigos, compañeros de aula y personas que me apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta valiosa etapa.

El Autor

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	18
II. REVISIÓN DE LITERATURA	20
2.1. Ecosistemas en la Región Sur del Ecuador	20
2.2. Deforestación.....	21
2.3. Fragmentación	21
2.3.1. Métricas de fragmentación	22
2.4. Cambios y uso del suelo	23
2.4.1. Importancia de los cambios y usos del Suelo.....	23
2.5. Cobertura y uso del suelo	24
2.5.1. Sistema de clasificación (leyenda temática).....	24
2.6. Conectividad de áreas naturales	25
2.7. Análisis multitemporal	26
2.8. Modelamiento futuro	26
2.9. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	26
2.9.1. Fragstats.....	27
2.9.2. GUIDOS	27
2.9.3. TerrSet	28
2.10. Representación de los Datos Cartográficos.....	29
2.11. Geoportales	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Materiales	31
3.2. Área de estudio	31
3.3. Base de datos	33
3.4. Metodología.....	33

3.4.1. Metodología para establecer los cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador.....	34
3.4.2. Metodología para establecer el grado y patrones de fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador.....	35
3.4.3. Metodología para establecer un modelo de conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador.....	36
3.4.4. Metodología para modelar un escenario futuro de la cobertura y uso del suelo para el año 2030 en la Región Sur del Ecuador	37
3.1.1. Generación de la base de datos del modelado.....	38
3.1.2. Transiciones potenciales.....	38
3.1.3. Predicción de cambios.....	40
IV. RESULTADOS	42
4.1. Cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador.....	42
4.2. Fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador.....	44
4.3. Conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador.....	46
4.3.1. Conectividad de bosque nativo.....	46
4.3.2. Conectividad de páramo.....	48
4.3.3. Conectividad de vegetación arbustiva.....	49
4.3.4. Conectividad de vegetación herbácea	51
4.3.5. Modelamiento futuro.....	52
V. DISCUSIÓN.....	55
5.1. Cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador.....	55
5.2. Grado y patrones de fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador.....	56
5.3. Modelo de conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador.....	57

5.4. Escenario futuro de la cobertura y uso del suelo para el año 2030 en la Región Sur del Ecuador.....	59
VI. CONCLUSIONES	62
VII. RECOMENDACIONES	63
VIII. BIBLIOGRAFÍA	64
IX. ANEXOS.....	69

INDICE DE CUADROS

Contenido	Pág.
Cuadro 1. Coberturas a nivel I, nivel II y coberturas de trabajo.....	34
Cuadro 2. Métricas de clase seleccionadas de FRAGSTAT.	35
Cuadro 3. Variables seleccionadas y parametrizadas para cada submodelo.	39
Cuadro 4. Rango y leyenda de la probabilidad de cambio para los mapas de predicción suave.	41

INDICE DE TABLAS

Contenido	Pág.
Tabla 1. Superficie y porcentaje de las coberturas de uso del suelo del año 2016.	25
Tabla 2. Información base para el trabajo de investigación en la RSE.....	33
Tabla 3. Variables y número de ejecuciones establecidas de cada submodelo.....	40
Tabla 4. Cambios de CUS en la RSE entre el año 2000 y 2016.	42
Tabla 5. Ganancias (+) y pérdidas (-) de las coberturas naturales en hectáreas.	42
Tabla 6. Variación multitemporal de las clases del MSPA en la cobertura de bosque nativo.	46
Tabla 7. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de páramo.....	48
Tabla 8. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de vegetación arbustiva.	49
Tabla 9. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de vegetación herbácea.	51
Tabla 10. Submodelos con sus respectivos resultados del MLP.....	52
Tabla 11. Probabilidades de cambio de las coberturas naturales para el año 2030.	53

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
<i>Figura 1. Clases MSPA incluidas en el Software GUIDOS.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 2. Ubicación geográfica de la Región Sur del Ecuador.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 3. Proceso metodológico para determinar los cambios de cobertura y uso del suelo en la RSE entre el año 2000 y 2016.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4. Proceso metodológico para determinar el grado y patrones de fragmentación en la RSE.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 5. Proceso metodológico para determinar un modelo de conectividad en la RSE.</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6. Proceso metodológico para modelar un escenario futuro de cambios de cobertura y uso del suelo.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 7. Ganancias y pérdidas netas de Cobertura y Uso del Suelo en la Región Sur del Ecuador entre el año 2000 y 2016 en Ha.</i>	<i>43</i>
<i>Figura 8. Métricas de fragmentación: a) Número de parches; b) Densidad de parches; c) Índice del parche más largo; d) Área media de los parches; e) Índice de forma.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 9. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de bosque nativo del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 10. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de páramo del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 11. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de vegetación arbustiva del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 12. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de vegetación herbácea del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 13. Probabilidad de cambio de las coberturas naturales al año 2030.</i>	<i>53</i>

INDICE DE ANEXOS

Contenido	Pág.
Anexo 1. Matriz de evaluación de las variables.	69
Anexo 2. Reordenamiento de las variables después de las cinco ejecuciones.	69
Anexo 3. Eliminación de las variables de menor influencia ara el submodelo.	70
Anexo 4. Estabilización de las variables entre el orden de entrada de las variables con el promedio.	70
Anexo 5. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Región Sur del Ecuador del año 2000...	71
Anexo 6. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Región Sur del Ecuador del año 2016...	72
Anexo 7. Probabilidades de cambio de la categoría muy alta de las coberturas naturales: a) Bosque nativo, b) Páramo, c) Vegetación arbustiva, d) Vegetación herbácea.	73

**“DINÁMICA Y MODELAMIENTO FUTURO DE LOS
CAMBIOS Y FRAGMENTACIÓN EN LA COBERTURA Y USO
DEL SUELO DE LA REGIÓN SUR DE ECUADOR EN EL
PERIODO 2000-2016”**

RESUMEN

El análisis multitemporal se realizó con la información obtenida del Mapa Interactivo Ambiental presentado por el MAE, mediante los mapas de cobertura y uso del suelo de los años 2000 y 2016, en el cual se perdieron 175 013 hectáreas de bosque nativo, el páramo presentó ganancias de 1 984 hectáreas, posiblemente por los Programas de Socio Bosque implementados desde el año 2008, la vegetación arbustiva, aumentó 81 205 hectáreas y la vegetación herbácea perdió 10 360 hectáreas. La fragmentación fue determinada en el Software FRAGSTAST a nivel de clase con cinco métricas: número de parches, densidad de parches, índice del parche más largo, área media de los parches e índice de forma; al considerar los números de parches como el principal indicador de fragmentación, se puede considerar que desde el año 2000 al 2016 las coberturas naturales presentaron un descenso en cuanto a fragmentación, donde el bosque nativo disminuyó el 1%, así mismo los páramos el 58.3%, el 55.5% en vegetación arbustiva y 66.6% en vegetación herbácea. En cambio, la conectividad fue analizada en el software GUIDOS a través del MSPA, en el mismo periodo, en lo referente al bosque nativo aumentó la superficie de los puentes un 17.1 %, el páramo disminuyó el 39%, la vegetación arbustiva presentó un descenso del 3.7 %, la vegetación herbácea igualmente una disminución del 8.8% en la superficie de los puentes. El modelado futuro se lo realizó en el software TerrSet, mediante la extensión Land Change Modeler para el año 2030 establecido por el IPCC, donde las áreas naturales se verían alteradas con una probabilidad muy alta, afectándose el 4.51 % de la superficie de bosque, el páramo se alteraría el 9.19 %, la vegetación arbustiva y herbácea cambiarían su superficie en el 2.51 y 0.63 % respectivamente.

Palabras clave: Deforestación, análisis temporal, fragmentación, conectividad, modelamiento futuro.

ABSTRACT

The multitemporal analysis was made with the information obtained from the Interactive Environmental Map presented by the MAE, through land cover and land use maps of the years 2000 and 2016, in which 175 013 hectares of native forest were lost, the moorland presented gains of 1 984 hectares. Possibly by the Socio Bosque Programs implemented since 2008, the shrub vegetation increased 81 205 hectares and the herbaceous vegetation lost 10 360 hectares. Fragmentation was determined in the FRAGSTAST Software at the class level with five metrics: number of patches, density of patches, index of the longest patch, average area of the patches and index of form. When considering the numbers of patches as the main indicator of fragmentation, it can be considered that from the year 2000 to 2016 natural coverage showed a decrease in terms of fragmentation, where the native forest decreased 1%, likewise the moorland 58.3%, 55.5% in shrub vegetation and 66.6% in herbaceous vegetation. In contrast, the connectivity was analyzed in the GUIDOS software through the MSPA, in the same period, in relation to the native forest increased the area of the bridges by 17.1%, the moorland decreased by 39%, the shrub vegetation presented a decrease of 3.7%, the herbaceous vegetation also a decrease of 8.8% in the surface of the bridges. The future modeling was carried out in the TerrSet software, using the Land Change Modeler extension for the year 2030 established by the IPCC. Where the natural areas would be altered with a very high probability, affecting 4.51% of the forest area, moorland would change the 9.19%, the shrub and herbaceous vegetation would change its surface in 2.51 and 0.63% respectively.

Keywords: Deforestation, temporary analysis, fragmentation, connectivity, future modeling.

ACRÓNIMOS

ARCOM	Agencia de Regulación y Control Minero
ASF	Alaska Satellite Facility
CONAGE	Consejo Nacional de GeoInformática
CCUS	Cambios de Cobertura y uso del suelo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
HTML	HyperText Markup Language (lenguaje de marcas de hipertexto)
IEE	Instituto Espacial Ecuatoriano
IGM	Instituto Geográfico Militar
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
LCM	Land Change Modeler
MAE	Ministerio del Ambiente de Ecuador
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MLP	Multi Layer Perceptor
MSPA	Análisis de patrones espaciales morfológicos por Sensores Remotos
RSE	Región Sur del Ecuador
SIG	Sistemas de Información Geográfica
SUIA	Sistema Único de Información Ambiental

I. INTRODUCCIÓN

A escala global, la destrucción y degradación de los ecosistemas naturales son las principales causas de la disminución de la biodiversidad mundial, la destrucción del hábitat generalmente conduce a la fragmentación de las áreas naturales, dividiéndose en fragmentos pequeños y aislados, alterando la cobertura de la tierra que es transformada por el hombre (Haddad et al., 2015).

Actualmente, la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) estima que a nivel mundial existen aproximadamente cuatro mil millones de hectáreas de bosque, con una tasa de deforestación de 13 millones de ha/año. En contra parte, las plantaciones forestales, restauración del paisaje y la expansión natural de la vegetación se estiman en 5.2 millones de ha/año, con una tendencia a la disminución desde la década de los 90's. Considerando estos datos, en 50 años se perderán 650 millones hectáreas y recuperado cerca de 260 millones, esto representa pérdidas de 390 millones de hectáreas netas de selva y bosque (Nagera et al., 2010)

La creciente demanda mundial de alimentos acelera la deforestación en áreas adecuadas para la agricultura moderna, que amenaza seriamente a los ecosistemas, como los bosques tropicales amazónicos, los bosques secos, manglar y los pastizales subtropicales. En América Latina aún continúa la deforestación, donde la superficie de bosque disminuyó del 51.3% de la superficie terrestre en 1990 al 46.4% en el año 2015 (FAO, 2018). En el caso de Ecuador, el MAE (Ministerio del Ambiente de Ecuador) ha generado información histórica sobre la deforestación en el territorio ecuatoriano presentándola como información oficial publicada a partir del año 1990 hasta el año 2014, como una contribución para el proyecto quinquenal “Global Forest Resources Assessment” (FAO, 2018). Dentro de este proyecto, el informe de Ecuador ha reportado tasas anuales de deforestación para los periodos: 1990-2000, 2000-2008, 2008-2014, con tasas de pérdida en 92 787 ha; 77 742 ha y 47 497 ha/año, respectivamente (Jadan et al., 2016)

En la Región Sur del Ecuador (RSE) las tasas anuales de deforestación en dos periodos (1976–1989) y (1989–2008) fue del 0.75% y 2.86% respectivamente, donde el 46% de la cubierta forestal original del sur de Ecuador se había convertido para el año 2008 en pastizales y otros tipos de cobertura antropogénica, dándose con mayor intensidad en las zonas más bajas de la región (Tapia et al., 2015).

Los ecosistemas terrestres han sufrido grandes transformaciones, la mayoría debido a la modificación de la cobertura del terreno y la degradación del uso del suelo (Ruiz et al., 2013), se planteó el trabajo de investigación el mismo que tiene como propósito definir los cambios de cobertura y uso del suelo, grados y patrones de fragmentación así como también la conectividad entre los años 2000 y 2016, y finalmente el modelamiento de un escenario futuro de los cambio de cobertura vegetal en la Región Sur de Ecuador comprendida por las provincias de EL Oro, Loja y Zamora Chinchipe.

Objetivo General:

- Determinar la dinámica espacio temporal de la cobertura y uso del suelo, patrones de fragmentación, conectividad y modelamientos futuros de la Región Sur del Ecuador en el periodo 2000 – 2016.

Objetivos Específicos:

- Establecer los cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador.
- Establecer el grado y patrones de fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador.
- Establecer un modelo de conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador.
- Modelar un escenario futuro de la cobertura y uso del suelo para el año 2030 en la Región Sur del Ecuador.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Ecosistemas en la Región Sur del Ecuador

Los ecosistemas en general presentan alteraciones de estructura y funcionamiento debido a su degradación por presiones antrópicas y cambios climáticos. La Región Sur del Ecuador constituye una de las regiones más biodiversas del Ecuador y del mundo; comprende un mosaico de ecosistemas a lo largo de la gradiente pacífico-amazónica (p.ej., manglar, bosque deciduo, bosque semideciduo, bosque montano occidental, bosque montano oriental y bosque húmedo tropical amazónico), que constituye el hogar y fuente de bienes y servicios ecosistémicos para más de 1,1 millones de habitantes, que mantienen actividades económicas de interés para el país (Aguirre et al., 2015). A continuación, se describen los principales ecosistemas de la zona de estudio.

- **Manglar.** - El manglar es una formación que se encuentra en las tierras bajas del norte, centro y sur de la Costa, en la zona de influencia directa de las mareas. Los manglares están dominados por árboles cuyo dosel sobrepasa 30 m de altura y poseen en su mayoría raíces zancudas (Muriel, 2008).
- **Bosque deciduo.** - Esta formación domina la planicie cálida de la costa, desde el nivel del mar hasta unos 700 m de altitud. Por lo menos el 75% de las especies pierde sus hojas durante la estación seca. El bosque seco deciduo es el famoso bosque de ceiba o ceibo, que caracteriza a grandes zonas de las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Loja (Aguirre et al., 2006).
- **Bosque seco semideciduo.** - Esta formación se presenta entre 200 y 1 100 m.s.n.m (metros sobre el nivel del mar) en zonas de colinas, donde existe mayor humedad (por la existencia de pendientes) que los bosques deciduos. Se estima que, en la temporada seca, entre 25-75% de los elementos florísticos pierde sus hojas (Aguirre et al., 2006).
- **Bosque montano oriental.** – Se encuentran por debajo de los 2 900 m.s.n.m, los árboles están cubiertos de musgo y las plantas epífitas como las orquídeas, helechos y bromelias. Son abundantes y alcanzan su mayor diversidad sobre los 2 900 m de elevación, el suelo del bosque está cubierto de musgos y árboles con troncos de formas irregulares que se ramifican desde la base (Muriel, 2008).
- **Bosque montano occidental.** - El dosel generalmente tiene menos de 25 m y hay una alta abundancia de plantas epífitas (especialmente musgos, helechos, orquídeas y

bromelias). A elevaciones intermedias, especialmente durante las tardes, los bosques se cubren de niebla y reciben precipitación horizontal desde nubes bajas (Muriel, 2008).

- **Bosque húmedo tropical amazónico.** - Está restringida a elevaciones bajo 600 m y tiene la precipitación promedio superior a los 3 349 mm anuales. El tipo dominante de bosque es el de tierra firme que se caracteriza por tener suelos bien drenados y un dosel de 10 a 30 m con árboles emergentes que llegan a los 40 m (Aguirre et al., 2006).

2.2. Deforestación

La deforestación es un proceso que afecta de manera negativa la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, mediante el accionar humano (Norambuena y Orellana, 2012). La reducción de la cubierta vegetal ocasiona problemas como modificaciones en los ciclos hídricos, cambios de temperatura favoreciendo con ello el calentamiento global, así como la pérdida de hábitats y la fragmentación de ecosistemas (Aguilar et al., 2000).

La deforestación y la degradación de bosques representan estados, procesos y conceptos diferentes. La deforestación es definida como una disminución de la cubierta de bosque, a causa de la expansión agrícola, la tala ilegal, los incendios forestales y agropecuarios, los proyectos de infraestructuras y la extracción de minerales. Y la degradación se considera cuando los bosques pierden o reducen su capacidad para proveer servicios ecosistémicos, provocando afectaciones a nivel social, cultural y ecológico (Armenteras et al., 2016).

2.3. Fragmentación

La fragmentación de hábitats es el resultado de la interrupción de una compleja continuidad de procesos ecosistémicos. Las relaciones bióticas y abióticas de las comunidades también podrían ser alteradas en función del tamaño y la forma de los fragmentos, pues al modificarse la distribución espacial de los recursos varía su disponibilidad. El grado de interrelación de los fragmentos determina la viabilidad de las especies en el mediano y largo plazos, ya que sin esta pueden surgir procesos de aislamiento, favorecerse los endogámicas o llegar a la extinción local de algunas de ellas (Villavicencio et al., 2012).

Los factores relacionados con el proceso de fragmentación van más allá de factores físicos como la construcción de carreteras. La heterogeneidad de los factores

socioeconómicos, demográficos y otros resulta en diferentes tipos de cambios en los patrones del paisaje. En la Región Sur de Ecuador, la mayor pobreza y la escasez de mano de obra adulta dan como resultado el predominio de la ganadería. Por lo tanto, las granjas se caracterizan por grandes áreas de pasto alrededor de las viviendas, pequeñas áreas utilizadas para la agricultura de subsistencia (Tapia et al., 2015).

2.3.1. Métricas de fragmentación

La selección de métricas se realizará en función de su capacidad para caracterizar diversos aspectos de la fragmentación tales como: tamaño de parche, configuración espacial, forma del parche, entre otros (McGarial, 2015), además el mismo autor describe tres niveles que permiten determinar la fragmentación como es:

- a) A nivel de fragmento o parche (patch level): los cálculos se aplican a cada fragmento individualmente.
- b) A nivel de clase (class level): los cálculos se aplican a cada conjunto de fragmentos de la misma clase, es decir, a aquéllos que tienen el mismo valor o que representan el mismo tipo de cobertura.
- c) A nivel de paisaje (landscape level): los cálculos se aplican al conjunto del paisaje, es decir, a todos los fragmentos y clases a la vez.

A continuación, se presenta una breve descripción de las métricas a nivel de clase que se analizarán en este estudio. Siendo las más importantes para la determinación de la fragmentación.

- **Número de parches (NP).** - Número de parches totales. Es indicador de varios procesos ecológicos. Adicionalmente se emplea como índice de heterogeneidad del paisaje y como base para el cálculo de otras métricas (McGarial, 2015).
- **Índice del parche más grande (LPI).** - Es igual al área (m^2) del parche más grande del tipo de cobertura correspondiente dividido por el área de estudio (m^2), multiplicado por 100 (para convertir a un porcentaje); en otras palabras, LPI es igual al porcentaje del área de estudio, comprendido por el parche más grande (McGarial, 2015).
- **Densidad de Parches (PD).** - La densidad de parches es un aspecto limitado, pero fundamental, del patrón de paisaje. La densidad de parches tiene la misma utilidad básica que el número de parches como índice, excepto que expresa el número de parches por unidad de área que facilita la comparación entre paisajes de diferentes tamaños. Por

supuesto, si el área total del paisaje se mantiene constante, entonces la densidad del parche y el número de parches transmiten la misma información (McGarial, 2015).

- **Índice de Forma (PAFRAC).** - Una dimensión fractal mayor que 1 para un mosaico de paisaje bidimensional, indica una desviación de una geometría euclidiana (es decir, un aumento en la complejidad de la forma del parche). Los valores cercanos a 1 representan formas con perímetros muy simples, como cuadrados, y valores cercanos a 2 figuran formas altamente intrincadas (McGarial, 2015).
- **Tamaño medio del Parche (AREA_MN).** - Es igual a la suma, de todos los parches del tipo de cobertura correspondiente, dividido por el número de parches del mismo tipo (McGarial, 2015).

2.4. Cambios y uso del suelo

La conversión de la cubierta terrestre constituye el reemplazo de un tipo de cobertura por otro (DeFries et al., 2004; Henríquez, 2012) y es medida por una transición de una categoría de cubierta de suelo a otra, como es el caso de la expansión agrícola, la deforestación, o el cambio en la extensión urbana. Cualquiera sea el cambio en la cobertura del suelo, ello conlleva cambios en la diversidad biótica, productividad primaria actual y potencial, calidad de los suelos, escorrentía y tasas de sedimentación, así como otros atributos de la superficie terrestre (DeFries et al., 2004).

Los cambios en la cobertura del suelo contemporáneos son generados principalmente por la actividad humana, actividad dirigida a la manipulación de la superficie terrestre para satisfacer alguna necesidad o requerimiento individual o de la sociedad, como la agricultura (Cassman et al., 2005).

2.4.1. Importancia de los cambios y usos del Suelo

Los cambios y uso del suelo ofrecen la posibilidad de analizar la sensibilidad de los patrones de uso de suelo a cambios en variables selectas. También permiten comprobar la estabilidad asociada a los sistemas sociales y medios ambientales a través de la construcción de escenarios (Veldkamp y Lambin, 2001).

Finalmente, la importancia de estos estudios es que proporcionan información base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin et al., 2001).

2.5. Cobertura y uso del suelo

La cobertura del suelo se refiere al tipo de cubierta (natural o producto del ser humano) que se encuentra en la superficie terrestre (pasto, cultivo, ciudad, entre otros), mientras que el uso es el conjunto de actividades que el ser humano desarrolla en relación con cierto tipo de cobertura, y está asociado con los fines sociales y económicos como: agricultura comercial, ganadería intensiva, entre otros (Eraso et al., 2010), además son el resultado de complejas interacciones entre actividades antrópicas y procesos ambientales (Calamari et al., 2013).

Los estudios de cambio de cobertura y uso de suelo son el referente para conocer las trayectorias de distintos procesos asociados con la deforestación, degradación y perturbación de las áreas naturales, erosión y desertificación del suelo, pérdida de la biodiversidad (Camacho et al., 2015), el análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo cambios de manera natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio natural (Ruiz et al., 2013).

2.5.1. Sistema de clasificación (leyenda temática)

El sistema de clasificación (leyenda temática) para la generación de geo-información relacionada a cobertura y uso de la tierra, es la leyenda generada dentro del convenio MAE – MAGAP (Ministerio de Agricultura y Ganadería Acuacultura y Pesca) – IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano), para los niveles I y II, mientras que el nivel III y IV fueron generados únicamente por MAGAP –IEE. La leyenda ha sido construida de forma jerárquica, con un primer nivel general que corresponde a las clases de cobertura/uso definido por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) adaptado para el Ecuador. Los niveles subsiguientes representan clases de cobertura/uso más detalladas, que mantienen coherencia con las definiciones de la clase superior. La leyenda temática se presenta en la Tabla 1 con las coberturas del nivel I y II con su respectiva superficie y porcentaje a nivel nacional (MAE-MAGAP, 2016).

Tabla 1. Superficie y porcentaje de las coberturas de uso del suelo del año 2016.

NIVEL I	NIVEL II	Área (ha)	Porcentaje
Bosque	Bosque nativo	12 793 463	51.38%
	Plantación forestal	128 637	0.52%
Tierra agropecuaria	Cultivo anual	930 798	3.74%
	Cultivo semipermanente	413 362	1.66%
	Cultivo permanente	911 048	3.66%
	Cultivo anual	99 352	0.40%
	Pastizal	5 042 811	20.25%
	Mosaico agropecuario	1 288 901	5.18%
	Vegetación arbustiva y herbácea	838 608	3.37%
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva	112 904	0.45%
	Páramo	1 517 093	6.09%
Cuerpos de agua	Natural	284 842	1.14%
	Artificial	13 482	0.05%
Zonas antrópicas	Área poblada	203 487	0.82%
	Infraestructura	200 600	0.81%
Otras tierras	Área sin cobertura vegetal	107 167	0.43%
	Glaciar	11 755	0.005%
Sin información	Sin información	87	0.0004%

Fuente: MAE-MAGAP. Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental. (2016).

2.6. Conectividad de áreas naturales

La conectividad es una propiedad del paisaje que facilita el movimiento y dispersión de las especies, el intercambio genético y otros flujos ecológicos en un territorio, por lo que es necesario considerarla como la base para la planificación de la conservación (MAE, 2017). El término conectividad hace referencia al grado en el que un paisaje en particular facilita o impide los desplazamientos de la fauna silvestre entre hábitats naturales favorables. El grado de conectividad puede controlar la extinción de las poblaciones, además este concepto implica la conexión de hábitats, especies, comunidades y procesos ecológicos a múltiples escalas espaciales y temporales (Obando, 2009).

En conectividad se representa al paisaje como un conjunto de parches de hábitat y de conectores (enlaces); donde un enlace representa la posibilidad de dispersión entre dos parches, el cual puede corresponder a un corredor físico o simbolizar el potencial de que un organismo se disperse entre dos parches a través de una cobertura que le es favorable (MAE, 2017).

2.7. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal permite detectar cambios entre diferentes fechas de referencia, deduciendo la evolución del medio natural o las repercusiones de la acción humana sobre ese medio (Ruiz et al., 2013), además, permite reconocer la descripción total del área de estudio y localizar la dinámica de las coberturas entre diferentes fechas de referencia, analizando los cambios del medio natural o las consecuencias de las actividades antrópicas sobre ese medio (Santillan, 2016).

2.8. Modelamiento futuro

Es una técnica muy importante en la proyección de escenarios hacia el futuro, para conducir experimentos que nos ayudan a entender los procesos fundamentales del cambio, y para describir estos últimos en términos cuantitativos. Los modelos de CCUS (Cambio en la Cobertura y el Uso del Suelo) ofrecen la posibilidad de analizar la sensibilidad de los patrones de uso de suelo a cambios en variables selectas. También permiten comprobar la estabilidad asociada a los sistemas sociales y medio ambientales a través de la construcción de escenarios (Henriquez, 2012).

2.9. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG (Sistemas de Información Geográfica) son softwares compuestos por varios módulos dedicados al almacenamiento y procesamiento de datos con localización geográfica conocida (geoprocesamiento) que posibilita el análisis de patrones, integración y modelos espaciales, monitoreo, simulación de precisiones y presentación de gran cantidad de información en forma de mapas, gráficos, figuras y sistemas multimedia (Mantovani y Magdalena, 2017).

Concretamente el concepto relacionado a un Sistema de Información Geográfica habla de una interacción y un proceso organizado donde influyen hardware, software, datos geográficos y personal idóneo, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar de forma concreta la información geográficamente referenciada con el fin de brindar herramientas para la correcta planificación y gestión, construyendo estrategias que permitan modelar descriptiva y predictivamente la evolución temporal y espacial de los elementos del ambiente (De la Cruz y Muñoz, 2016); concluyendo que, SIG

se constituye como un elemento complejo que engloba una serie de otros elementos conectados, cada uno de los cuales desempeña una función particular (Olaya, 2014).

2.9.1. Fragstats

Es un programa diseñado por el Laboratorio de Ecología del Paisaje de la Universidad de Massachusetts (<https://www.umass.edu/landeco>), el cual tiene por objetivo el análisis de patrones espaciales para cuantificar la estructura (es decir, la composición y configuración) de los paisajes. El paisaje sujeto a análisis es definido por el usuario y puede representar cualquier fenómeno espacial, FRAGSTATS simplemente cuantifica la heterogeneidad espacial del paisaje como se representa en un mapa categórico (es decir, mosaico del paisaje) o en una superficie continua (McGarial, 2015).

2.9.2. GUIDOS

GuidosToolbox incluye herramientas para la detección y evaluación cuantitativa de nodos y enlaces clave, así como para definir la conexión en imágenes ráster y para configurar archivos de entrada apropiados para un análisis de red mejorado. GuidosToolbox puede facilitar una evaluación general en estudios de evaluación de riesgos, planificación del paisaje y políticas de conservación / restauración (Vogt y Riitters, 2017). Disponible en: (<https://forest.jrc.ec.europa.eu/en/activities/lpa/gtb/>).

- **MSPA.** - MSPA (Análisis de Patrones Espaciales Morfológicos) es una secuencia personalizada de operadores morfológicos matemáticos orientados a la descripción de la geometría y la conectividad de los componentes de la imagen, basándose únicamente en conceptos geométricos. Esta metodología se puede aplicar a cualquier escala y tipo de imágenes digitales en diferentes campos de aplicación. El área de primer plano de una imagen binaria se divide en siete clases genéricas de MSPA: núcleo, isla, lazo, puente perforación, borde y rama como se muestra en la Figura 1. Esta segmentación da como resultado clases mutuamente excluyentes que, cuando se combinan, corresponden exactamente al área inicial de primer plano o la cobertura que se analiza la conectividad (Saura et al., 2011).

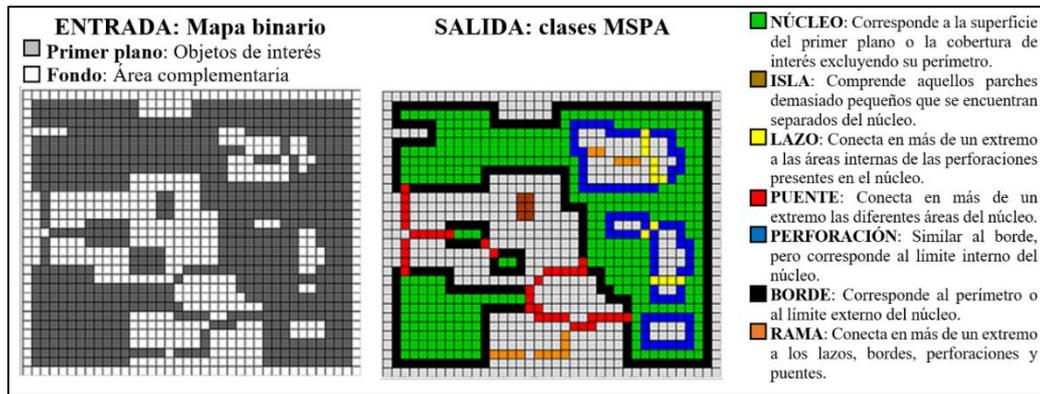


Figura 1. Clases MSPA incluidas en el Software GUIDOS.

Fuente: Vogt, P., y Riitters, K. GuidosToolbox: universal digital image object analysis. (2017).

2.9.3. TerrSet

TerrSet comprende un sistema modelado y monitoreo geoespacial, el cual incorpora herramientas de SIG y procesamiento de imágenes, además de ofrecer una constelación de aplicaciones verticales enfocadas en una secuencia de tareas específica, como el monitoreo y modelo del sistema terrestre para el desarrollo sostenible (Eastman, 2016).

TerrSet fue el primer sistema de procesamiento de imágenes y GIS desarrollado específicamente para una plataforma de microcomputadoras. A lo largo de las décadas que siguieron, Terrset ha madurado hasta convertirse en un sistema de grado de investigación para el análisis geográfico con desarrollos innovadores en áreas como la toma de decisiones de criterios múltiples / objetivos múltiples, el aprendizaje automático y el análisis de series de tiempo (Eastman, 2016).

- **Modelador de cambio del suelo (LCM).** - El LCM es un modelo de análisis del cambio en la CUS y también de predicción. Este modelo proporciona un análisis de los cambios en el suelo mediante la creación de mapas y gráficos del cambio del suelo, transiciones y tendencias de los tipos de suelo. En cuanto al módulo de predicción, este modelo es capaz de crear escenarios de cambio del uso del suelo con la integración de los factores biofísicos y socioeconómicos que influyen en el cambio de uso de la tierra. Por lo general, los factores biofísicos integrados en el modelo son tipo de uso del suelo, la altitud, la pendiente (derivada de los modelos digitales de elevación - MDE), y características hidrológicas (distancia a los ríos y lagos). En cuanto a los factores socioeconómicos, el modelo podría utilizar la infraestructura (carreteras) y la demografía (Oñate y Bosque, 2010). Disponible en: (<https://clarklabs.org/download/>).

- ✓ **Submodelos de Transición:** Panel de Estado (Status) El Panel de Estado de los Submodelos de Transición incluye todas las transiciones que existen entre los dos mapas de superficie terrestre. Las transiciones solo deben ser agrupadas si se sabe que las fuerzas impulsoras subyacentes del cambio son las mismas. Generalmente, a medida que aumenta el número de transiciones agrupadas en un submodelo, la tarea para MLP es cada vez más difícil de resolver. Esto puede calcularse fácilmente a partir del informe de precisión de la validación que brinda MLP (Eastman, 2016).
- ✓ **Perceptrón Multicapas (Multi-Layer Perceptron)** La opción MLP puede modelar múltiples transiciones al mismo tiempo. Al principio, el diálogo para la red neural del MLP puede parecer intimidante, sin embargo, la mayoría de los parámetros presentados no necesitan ser modificados (ni siquiera entendidos) para poder usar productivamente esta poderosa técnica (Eastman, 2016).
- ✓ **Predicción de Cambios (Change Prediction):** La predicción de cambios brinda los controles para realizar un proceso de predicción dinámica de cambios en la cubierta del terreno. Luego de especificar la fecha final, la cantidad de cambio en cada transición puede ser modelada por medio del análisis *Markov Chain (Cadena de Markov)* que son utilizadas para estimar las probabilidades de cambio en la cobertura y uso del suelo en un periodo dado. Hay dos modelos básicos de cambios: un modelo de predicción dura y un modelo de predicción blanda. El modelo de *predicción dura* produce un solo resultado con los cambios incluidos de cada cobertura, mientras que la *predicción blanda* produce un mapa de vulnerabilidad o probabilidades de cambio de cada submodelo analizado. Por lo general, se utilizan los resultados de la predicción blanda para evaluar el hábitat y la biodiversidad (Eastman, 2016).

2.10. Representación de los Datos Cartográficos

La forma en que los componentes de los SIG se combinan es diverso. Sin embargo, una diferencia específica es la manera que se representan los datos cartográficos en formato digital. Un Sistema de Información Geográfica almacena dos tipos de datos que se encuentran en los mapas: vectorial y raster (Eastman, 2016).

- ✓ **Vectorial.** - La representación espacial en un modelo vectorial se basa en la localización de puntos individuales según determinadas coordenadas, viniendo definida

por funciones matemáticas, por lo que se pueden representar puntos, líneas y polígonos (Lara et al., 2006).

- ✓ **Raster.** - El modelo raster representa la realidad a través de superficies determinadas que quedan dispuestas en forma de matriz, en la que cada elemento está representado celdas. La representación queda simplificada en formas geométricas, predominando los cuadrados y los rectángulos (Lara et al., 2006).

2.11. Geoportales

Es un sistema informático especializado en el acceso a la información geográfica. Esta información permite contar con un inventario nacional de puntos estratégicos como: puntos geográficos, proyectos estatales en curso, zonas de riesgos, reservas naturales; en fin, todo tipo de información que se aprecie de mejor manera en un mapa. La visualización correcta de la información permitirá al Estado y a la comunidad organizada planificar con responsabilidad su crecimiento sostenido (Rodríguez, 2006).

Muchos países y gobiernos locales han desarrollado o están desarrollando portales de información geográfica (denominados geoportales), que permiten consultar, visualizar y descargar información espacial (Hocksztain et al., 2012).

En Ecuador esa entidad es el Consejo Nacional de GeoInformática (CONAGE), que tiene por objeto “normar la elaboración y el uso de información geoespacial en los diferentes niveles territoriales”, el cual asegura que en algún momento la información de un país entero esté gestionada y presentada a la ciudadanía a través del geoportal, cuyo uso sea de fácil acceso, suficientemente explicativo y confiable (Navas y Prieto, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Oficina

- USB (64Gb)
- Materiales de oficina (esferográficos, lápiz, libreta de apuntes)
- Computadora
- Disco duro 1 TB

Software

- Fragstat
- Guidos
- TerrSet

3.2. Área de estudio

La ubicación geográfica del área de estudio (Figura 2), precisa la siguiente localización, se encuentra entre las coordenadas 3°30' y 5°0' de latitud sur y 78°20' y 80°30' de longitud oeste; limita al norte con las provincias de Guayas, Azuay y Morona Santiago, al sur y este con Perú, al oeste con Perú y el océano Pacífico. La Región Sur de Ecuador, denominada también como Zona de Planificación 7, se compone de tres provincias: El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, las cuales constan de 36 cantones, 134 parroquias y tres regiones fuertemente articuladas: el Litoral, los Andes y la Amazonía (Hernández et al., 2016).

La temperatura fluctúa entre 3 °C hacia la cordillera de los Andes y 26 °C en tierras bajas (Aguirre et al., 2015). La red hídrica en la provincia de El Oro está representada por los ríos Arenillas, Santa Rosa, Jubones y algunos tributarios del río Puyango. En la provincia de Loja los ríos Puyango y Catamayo que desembocan en el Océano Pacífico y hacia el Amazonas el río Zamora. En la provincia de Zamora Chinchipe se encuentran los ríos Chinchipe, Nangaritza, Yacuambi y el Zamora (Alvarez y Agredo, 2013). Además, la zona de estudio presenta de manera general tres tipos de climas: a) clima mega térmico seco a semihúmedo, b) clima ecuatorial mesotérmico, semihúmedo a húmedo y c) clima tropical megatérmico muy húmedo. Estos tres tipos de clima no simplifica de ninguna manera la variabilidad de climas que en cortas distancias se puede encontrar (Hernández et al., 2016).

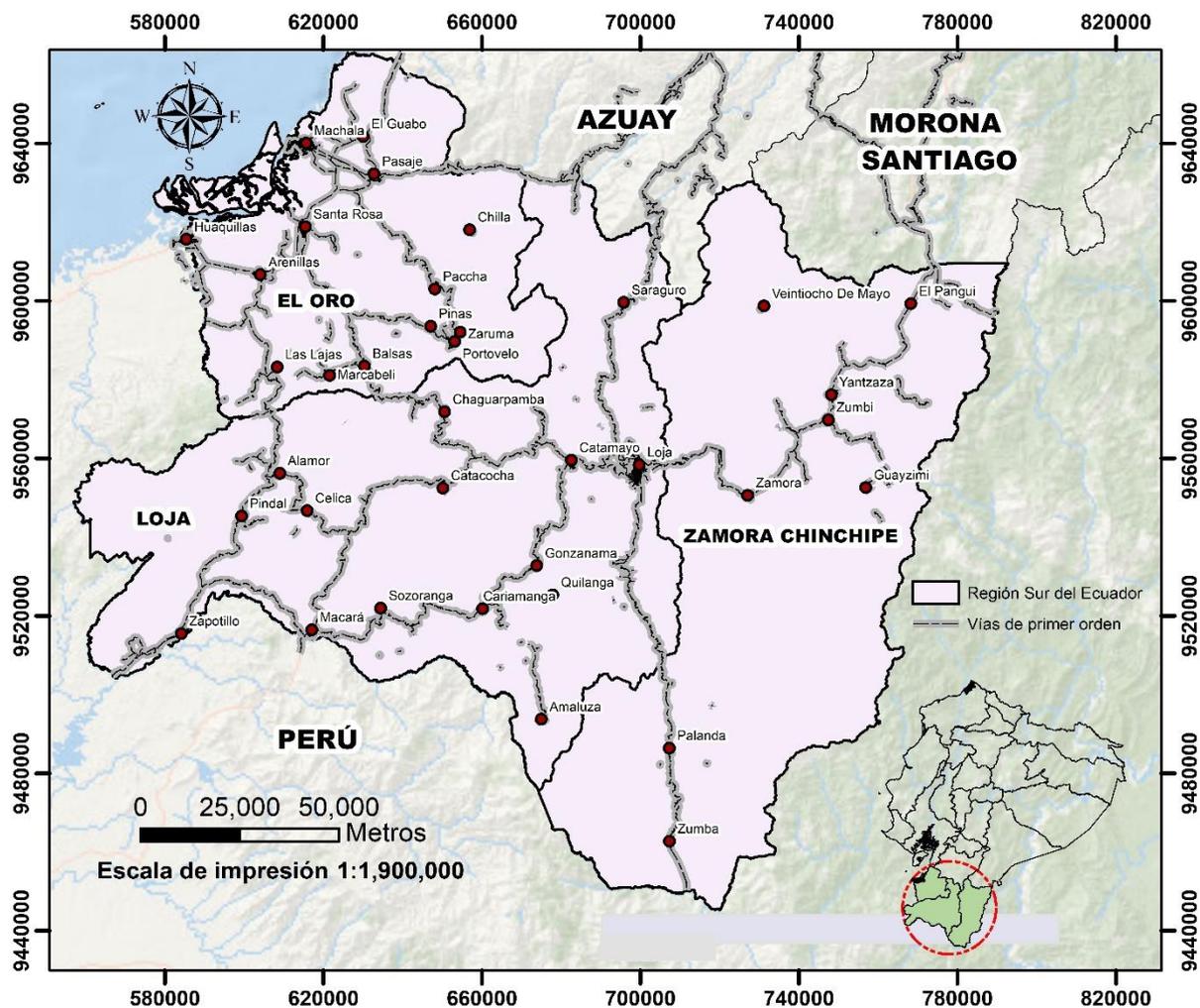


Figura 2. Ubicación geográfica de la Región Sur del Ecuador.

Fuente: Elaboración propia.

La RSE es reconocida por su alta diversidad étnica, en la Amazonía encontramos a las etnias Shuar y los Saraguros, en la Sierra se encuentra también la etnia Saraguro en la parte norte de la provincia de Loja, en la provincia de El Oro se ubican un pequeño porcentaje de población que se reconoce como montubio; además en la RSE la población predominante es la mestiza ante un menor número de la población que se reconoce como blancos (Hernández et al., 2016).

En la RSE, existe ocho macrosistemas con sus respectivas superficies: Bosque semideciduo (482 164.5 ha), bosque húmedo tropical amazónico (463 259.8 ha), bosque montano oriental (290 029.7 ha), bosque montano occidental (138 951.3), bosque deciduo (138 990.3 ha), arbustal y herbazal de páramo (129 579 ha), manglar (23 026.9 ha) y bosque semideciduo amazónico (Aguirre et al., 2015).

3.3. Base de datos

La información base para cumplir con el proyecto, se obtuvo de diferentes geoportales cartográficos nacionales e internacionales, como es el Mapa Interactivo Ambiental presentado por el Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del Ministerio del Ambiente, el Instituto Geográfico Militar (IGM), el Alaska Satellite Facility (ASF), entre otros, los cuales se detallan a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Información base para el trabajo de investigación en la RSE.

Insumo cartográfico	Fuente	Enlace	Año	Escala/resolución espacial de trabajo	Formato
Área urbana	INEC	http://www.ecuadrencifras.gob.ec/registro-de-descargas-cartograficas/	2016	1:100 000	Shp
Catastro Minero	ARCOM	http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geo_visor/	2016	1:100 000	Shp
Cobertura tierras agropecuarias	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2016	1:100 000	Shp
Cobertura zonas antrópicas	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2016	1:100 000	Shp
Deforestación	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2016	1:100 000	Shp
Mapa de cobertura y uso del suelo del año 2000	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2001	1:100 000	Shp
Mapa de cobertura y uso del suelo del año 2016	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2016	1:100 000	Shp
Mapa de densidad	-	Elaboración propia	2016	30 m	Rst
Mapa de pendientes	-	Elaboración propia	2016	30 m	Rst
Modelo Digital de Terreno	ASF	https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/terrain-corrected-rtc/	2016	30 m	Rst
PANE – (áreas protegidas, socio bosque privado y comunitario)	MAE	http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/	2016	1:100 000	Shp
Poblados	INEC	http://www.ecuadrencifras.gob.ec/registro-de-descargas-cartograficas/	2016	1:100 000	Shp
Red hídrica	IGM	http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/	2013	1:50 000	Shp
Red vial	IGM	http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/	2016	1:50 000	Shp

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Metodología

La presente metodología corresponde a una investigación de tipo exploratorio, debido que en la RSE no cuenta con estudios similares a los propuestos en el siguiente tema investigativo, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento.

3.4.1. Metodología para establecer los cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador

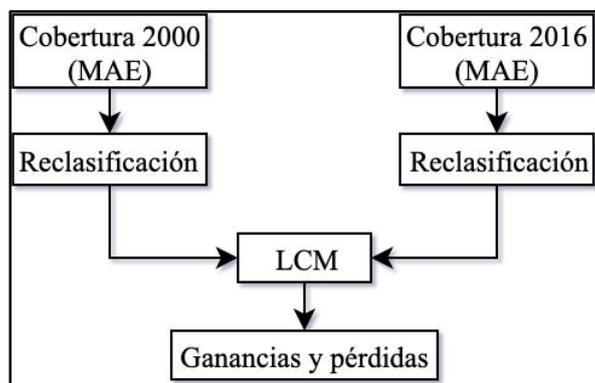


Figura 3. Proceso metodológico para determinar los cambios de cobertura y uso del suelo en la RSE entre el año 2000 y 2016.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se muestra el proceso metodológico a seguir para determinar los cambios en la CUS. La información base correspondiente a los mapas de cobertura y uso de la tierra de los años 2000 y 2016, se obtuvo desde el geoportal del MAE, disponible en la página web <http://mapainteractivo.ambiente.gob.ec/portal/>, los mapas fueron reclasificados en nueve coberturas de trabajo como se muestran en el Cuadro 1. Finalmente, para determinar los cambios temporales se utilizó la extensión LCM incluida en el software TerrSet, permitiendo calcular las ganancias y pérdidas de superficie de las CUS entre los años analizados.

Cuadro 1. Coberturas a nivel I, nivel II y coberturas de trabajo.

NIVEL I	NIVEL II	Coberturas de trabajo
Bosque	Bosque nativo	Bosque nativo
	Plantación forestal	Plantación forestal
Tierra agropecuaria	Cultivo anual	Tierra agropecuaria
	Cultivo semipermanente	
	Cultivo permanente	
	Cultivo anual	
	Pastizal	
Vegetación arbustiva y herbácea	Mosaico agropecuario	
	Vegetación arbustiva	Vegetación arbustiva
	Vegetación herbácea	Vegetación herbácea
Cuerpos de agua	Páramo	Páramo
	Natural	Cuerpos de agua
Artificial		
Zonas antrópicas	Área poblada	Zona antrópica
	Infraestructura	
Otras tierras	Área sin cobertura vegetal	Área sin cobertura vegetal
	Glaciar	
Sin información	Sin información	

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Metodología para establecer el grado y patrones de fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador

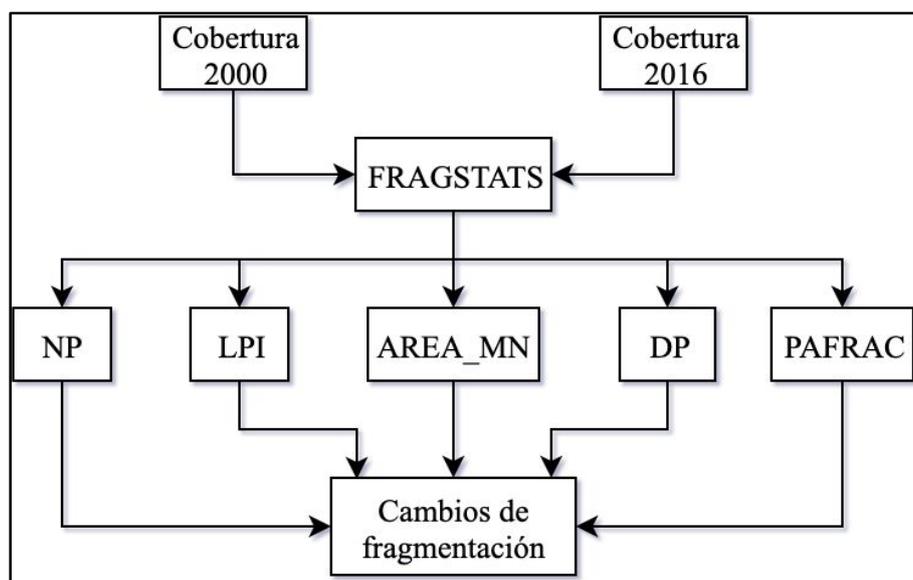


Figura 4. Proceso metodológico para determinar el grado y patrones de fragmentación en la RSE.

Fuente: Elaboración propia.

Para establecer el grado y los patrones de fragmentación de las coberturas naturales se utilizó el software FRAGSTATS como se muestra en la Figura 4, cuyas *capas de entrada* corresponden a los mapas de Cobertura y Uso del Suelo (CUS) de los años 2000 y 2016 en formato raster. Posteriormente para los *parámetros de análisis* se utilizó la proximidad de la regla de vecindad de ocho píxeles y las métricas seleccionadas correspondientes al nivel de clase detalladas en el Cuadro 2; dando como resultado una serie de datos para cada métrica analizada.

Cuadro 2. Métricas de clase seleccionadas de FRAGSTAT.

Métrica	Clave	Descripción
Número de Parches	NP	Mide la fragmentación del paisaje.
Densidad de Parches	PD	Mide el número de parches por cada 100 hectáreas.
Índice del Parche más grande	LPI	Es el porcentaje del área total del paisaje, ocupado por el parche más grande.
Tamaño medio del Parche	AREA_MN	MN (Media) es igual a la superficie total de la clase o cobertura dividido para el número de parches del mismo tipo.
Índice de forma	PAFRAC	Mide la complejidad de la forma.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Metodología para establecer un modelo de conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador

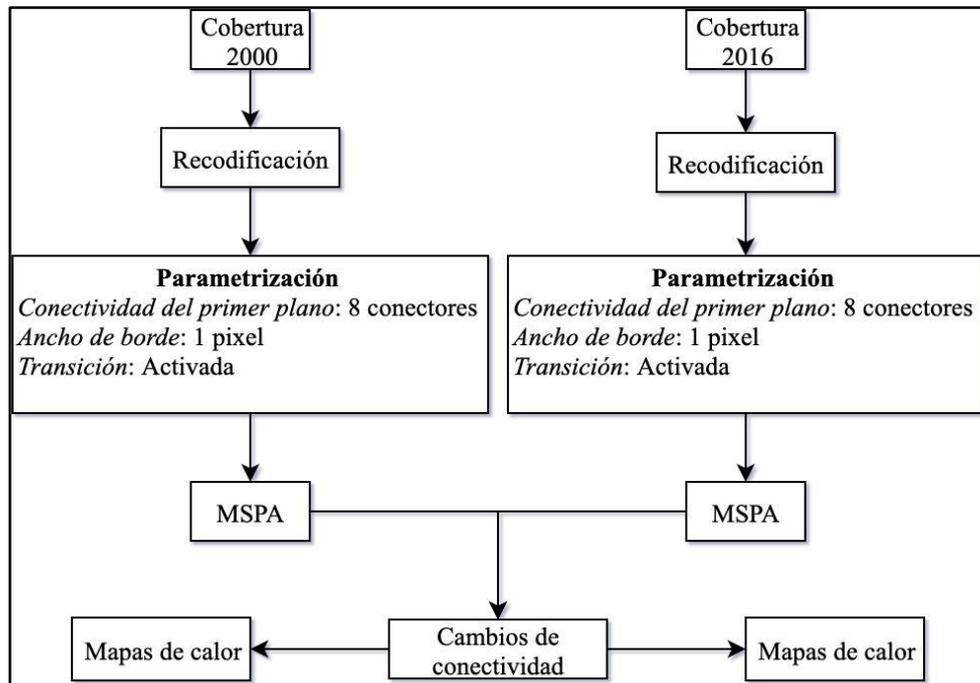


Figura 5. Proceso metodológico para determinar un modelo de conectividad en la RSE.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5 se muestra el proceso metodológico a seguir para determinar un modelo de conectividad de las coberturas naturales en la RSE. Para cumplir con el objetivo se utilizó el Software GUIDOS, el mismo que permite establecer la conectividad de cada cobertura natural en el periodo analizado, en cuanto a los *archivos de entrada* corresponde a los mapas de CUS de los años 2000 y 2016, los mismos que deben estar en formato raster. Además, se *recodificó* la información para cada cobertura natural independientemente una de otra, realizándose de la siguiente manera:

- Se asigna el valor de 2, al primer plano que corresponden a la cobertura natural de interés a analizar.
- Se establece el valor de 1, que corresponde a las demás CUS que no se necesitan analizar.
- Se asigna el valor de 0 a los pixeles que se encuentran fuera del área de estudio.

Posteriormente, para el *análisis* de la conectividad se utilizó la herramienta MSPA (Análisis de patrones espaciales morfológicos por Sensores Remotos) la misma que permitió establecer la conectividad de las áreas naturales como son: bosque nativo, páramo,

vegetación arbustiva y vegetación herbácea. Los resultados se presentan en un archivo raster y un documento de texto con los valores de cada clase MSPA como son: borde, núcleo, perforaciones, islas, puentes, ramas y lazos.

Finalmente, para una mejor interpretación de los resultados, se procedió a crear mapas de calor en el software QGIS para cada cobertura natural de los años 2000 y 2016 con las clases MSPA que representan conectividad como es: rama, puente y lazo. Para lo cual se transformó la información raster de cada clase a un sistema vectorial de puntos. Seguidamente, para la creación de los mapas de calor se consideró un radio de búsqueda de 2 500 metros y un tamaño de celda de 100 metros.

3.4.4. Metodología para modelar un escenario futuro de la cobertura y uso del suelo para el año 2030 en la Región Sur del Ecuador

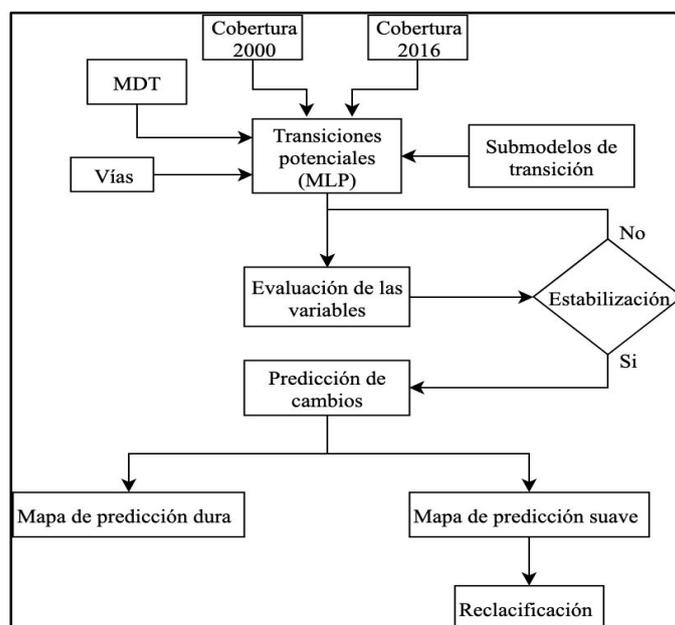


Figura 6. Proceso metodológico para modelar un escenario futuro de cambios de cobertura y uso del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se muestra el proceso metodológico a seguir para modelar un escenario futuro de los cambios de CUS en el año 2030, utilizando la herramienta LCM incluida en el software TerrSet, con el fin de descubrir los posibles cambios en la cobertura y uso de suelo de la zona de estudio; el proceso metodológico se desarrolló en tres fases principales, descritas a continuación:

3.1.1. Generación de la base de datos del modelado

La creación de la base de datos se basa fundamentalmente en establecer las variables de importancia para el modelado, según la disponibilidad de la información y estudios científicos similares a la presente investigación. La información base mencionada en la Tabla 2 fue transformada a un formato raster (*.rst de TerrSet), posteriormente se generó los mapas de distancia a las variables quedando de la siguiente manera : mapa de distancia a concesiones mineras, mapa de distancia a vías, mapa de distancia a zonas antrópicas, mapa de distancia a tierras agropecuarias, mapa de distancia a áreas protegidas, mapa de distancia a poblados, mapa de distancia a zonas urbanas, mapa de distancia a ríos y mapa de distancia a zonas deforestadas.

3.1.2. Transiciones potenciales

Para dar inicio con el modelado, se emplearon dos mapas de CUS de la RSE de los años 2000 y 2016, los cuales deben tener el mismo número de coberturas y extensión geográfica. Si no se cumplen estos requisitos, TerrSet tiene la opción de armonizar los mapas para resolver estos problemas. Además de cargar la capa MDT (Modelo Digital de Terreno) y vías, con sus respectivas categorías 1, 2 y 3, que pertenece a vías de primero, segundo y tercer orden, cabe mencionar que se deben crear sesiones individuales, para el modelado de cada cobertura natural.

Para determinar las *transiciones potenciales* entre las coberturas naturales hacia las actividades antrópicas, se utilizaron cuatro submodelos, realizadas por separado los cuales se detallan a continuación:

- a) Submodelo bosque nativo: bosque nativo a zonas antrópicas y bosque nativo a tierras agropecuarias.
- b) Submodelo páramo: páramo a zonas antrópicas y páramo a tierras agropecuarias.
- c) Submodelo vegetación arbustiva: vegetación arbustiva a zonas antrópicas y vegetación arbustiva a tierras agropecuarias.
- d) Submodelo vegetación herbácea: vegetación herbácea a zonas antrópicas y vegetación herbácea a tierras agropecuarias.

Para el proyecto investigativo se utilizó la opción MLP que puede ejecutar múltiples transiciones, el MLP utilizará la mitad de la muestra especificada para el entrenamiento y la

mitad para las pruebas. Una vez finalizado el proceso de entrenamiento, emitió un documento en formato HTML con los resultados del MLP, los mismos que fueron utilizados para conformar una tabla resumen donde se evalúa el comportamiento de las variables con el submodelo.

Para desarrollar la evaluación y selección de las variables, se incluyó 12 variables para cada submodelo de acuerdo al Cuadro 3.

Cuadro 3. Variables seleccionadas y parametrizadas para cada submodelo.

Variable	Abreviaturas	Rol	Tipos de capa base	Operación
Mapa de Cobertura de tierras agropecuaria	CusAgroDst	Dinámica	Cobertura terrestre (Tierras agropecuarias)	Distancia
Mapa de Cobertura de zona antrópica	CusAntroDst	Dinámica	Cobertura terrestre (Zona antrópica)	Distancia
Mapa de Deforestación	DefoDst	Estática		Distancia
Mapa de Densidad poblacional	DensPobla	Estática		
Mapa de Red hídrica	HidricDst	Estática		Distancia
Modelo digital de terreno	MDT	Estática		
Mapa de Minería	MineDst	Estática		Distancia
Mapa de Áreas protegidas	PANEdst	Dinámica	Cobertura terrestre (Cobertura natural)	Distancia
Mapa de Pendientes	PendGrds	Estática		
Mapa de Poblados	PoblDst	Estática		Distancia
Mapa de Red vial	VíasDst	Dinámica	Vías (Orden)	Distancia
Mapa de Zona urbana	UrbDst	Estática		Distancia

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para la evaluación y estabilización de las variables se detalla a continuación.

- a) Se realizó cinco ejecuciones previas con todas las variables ingresadas. Al finalizar cada ejecución se llena una matriz según el Anexo 1, cuyos datos son copiados del archivo HTML.
- b) Al finalizar las cinco ejecuciones se reordena las variables de acuerdo al promedio en orden ascendente, realizando el mismo procedimiento cada cinco ejecuciones (Anexo 2), hasta llegar a un total de 20 ejecuciones.
- c) Al finalizar las 20 ejecuciones se descarta aquellas variables que tienen una frecuencia menor del 25% (Anexo 3). Para lo cual se efectúa un conteo de las variables señaladas, siendo aquellas las de mayor influencia para el submodelo en análisis.

- d) Seguidamente se ejecuta un nuevo proceso con las variables hasta llegar a la estabilización entre el *orden de las variables de entrada* con el *promedio*, demás, que la tasa de precisión sea superior al 90% (Anexo 4).
- e) Si no se logra una estabilización se continúa eliminando las variables hasta obtener la estabilización de las mismas.

Finalmente, se realizó una sola ejecución para cada submodelo (run) con las variables ordenadas y estabilizadas como se muestran en la Tabla 3, en el mismo también se evidencia la cantidad de ejecuciones previas que se necesitaron en la evaluación, hasta llegar a la estabilización de las mismas.

Tabla 3. Variables y número de ejecuciones establecidas de cada submodelo.

Submodelo	Orden y variables seleccionadas en la evaluación		# de ejecuciones de estabilización
Bosque nativo	1. CusAntroDst 2. CusAgroDst 3. DefoDst 4. DensPobla 5. HidricDst	6. PANEdst 7. MDT 8. PendGrds 9. VíasDst 10. PoblDst	70
Páramo	1. CusAntroDst 2. CusAgroDst 3. VíasDst	4. ZnUrbDst 5. PoblDst 6. MDT	50
Vegetación arbustiva	1. CusAntroDst 2. CusAgroDst 3. DensPobla	4. PANEdst 5. MineDst	30
Vegetación herbácea	1. CusAntroDst 2. CusAgroDst 3. ZnUrbDst 4. PendGrds 5. PANEdst 6. HidricDst	7. DensPobla 8. VíasDst 9. MineDst 10. MDT 11. DefoDst 12. PoblDst	100

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Predicción de cambios

Para generar el escenario futuro se consideró el año de predicción establecido por el IPCC que corresponde al 2030, el mismo que se ajusta a uno de los objetivos que tiene el planeta acerca de la reducción de gases de efecto invernadero que pueden ser generados por el cambio de uso del suelo.

Los cambios futuros se analizaron mediante las Cadenas de Markov, que calcula cuánto terreno cambiaría desde la última fecha a la fecha de predicción, cuyas

probabilidades de cambios se predicen desde la cobertura natural hacia las actividades antrópicas

Los resultados básicamente son dos tipos de predicciones: las predicciones duras y suaves, para el presente estudio se utilizó la predicción suave que determina la vulnerabilidad al presentar los cambios, es decir la probabilidad que un píxel de la cobertura natural en análisis se convierta en otro tipo de píxel de índole antrópico en el 2030, a diferencia de la predicción dura, que produce un solo resultado o mapa de la superficie terrestre con las mismas CUS presentes en los mapas de los años 2000 y 2016.

Para el análisis correspondiente, se reclasificó el mapa de predicción suave a cinco categorías cuyos rangos y leyendas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Rango y leyenda de la probabilidad de cambio para los mapas de predicción suave.

Probabilidad de cambio	
<i>Rango</i>	<i>Leyenda</i>
0 - 0.2	Muy baja
0.2 - 0.4	Baja
0.4 - 0.6	Media
0.6 - 0.8	Alta
0.8 - 1	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS

4.1. Cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador

En el Tabla 4 se evidencia las diferencias en hectáreas y porcentaje de cada una de las coberturas, cuyas variaciones se representan también con signos positivos, que representan ganancias netas de superficie de cada cobertura, los signos negativos por consiguiente corresponden a las pérdidas de superficie desde el año 2000 al 2016, así como los mapas generados en los Anexos 5 y 6.

Tabla 4. Cambios de CUS en la RSE entre el año 2000 y 2016.

Cobertura	2000	2016	2000 – 2016	(%)
Área sin cobertura vegetal	19 229	14 093	-5 136	-26.7
Bosque nativo	1 350 430	1 168 492	-181 938	-13.5
Cuerpos de agua	44 022	52 781	+8 759	+19.9
Páramo	124 597	126 580	+1 983	+1.6
Plantación forestal	4 725	9 888	+5 163	+109.3
Tierra agropecuaria	1 038 838	1 128 203	+89 365	+8.6
Vegetación arbustiva	99 132	180 337	+81 205	+81.9
Vegetación herbácea	47 015	36 654	-10 361	-22
Zona antrópica	8 359	19 584	+11 224	+134.3

Fuente: Elaboración propia.

Las ganancias y pérdidas de las coberturas naturales hacia las demás coberturas, se muestran en la Tabla 5 y Figura 7, los mismos que fueron obtenidos de la extensión LCM.

Tabla 5. Ganancias (+) y pérdidas (-) de las coberturas naturales en hectáreas.

	Bosque nativo	Páramo	Plantación forestal	Tierra agropecuaria	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea	Zona antrópica
Bosque	0	+154	-1 899	-174 637	-2 389	-524	-376
Páramo	-154	0	-656	-3 957	+6 414	262	-10
Vegetación arbustiva	+2 389	-6 414	-185	+63 396	0	+16 838	-270
Vegetación herbácea	+524	-262	-443	+7 413	-16 838	0	-31

Fuente: Elaboración propia.

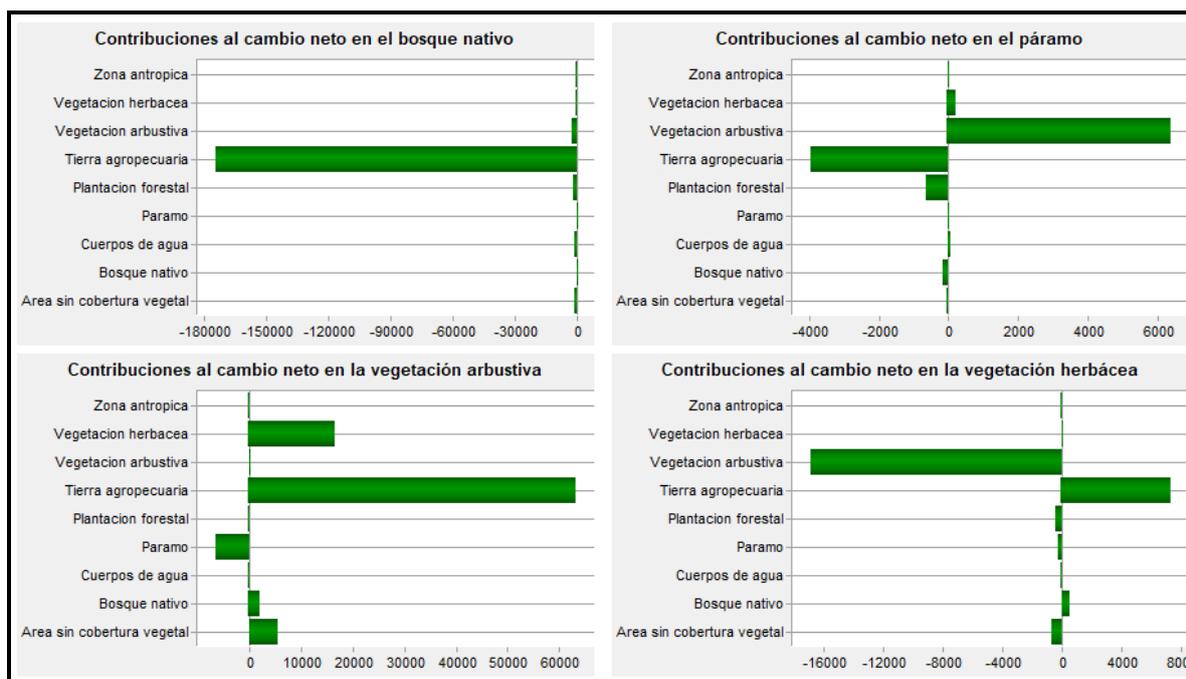


Figura 7. Ganancias y pérdidas netas de Cobertura y Uso del Suelo en la Región Sur del Ecuador entre el año 2000 y 2016 en Ha.

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 7 y Tabla 5, el bosque nativo es la cobertura que más pérdidas netas de superficie presentó, en relación a las demás coberturas naturales desde el año 2000 al 2016, de las cuales 1 899 ha se han ocupado por plantaciones forestales, 174 637 ha han sido transformadas a tierras agropecuarias, 2 389 ha a vegetación arbustiva, 524 ha a vegetación herbácea y 376 ha de bosque nativo ha pasado a ser zona antrópica, únicamente 154 ha de páramo se ha transformado a bosque nativo siendo la única ganancia de superficie hacia dicha cobertura.

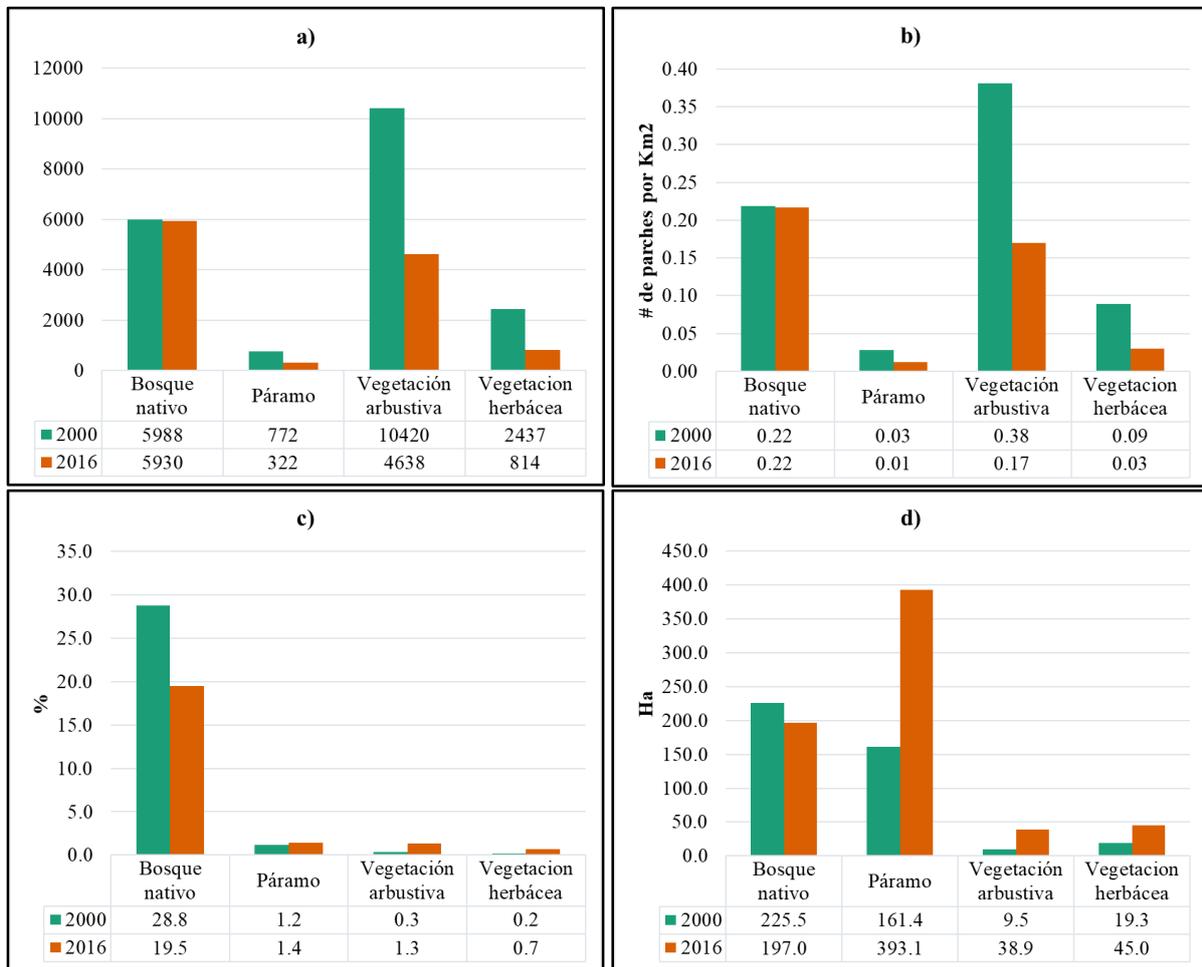
El páramo ha presentado ganancias y pérdidas hacia las demás coberturas, donde, 154 ha fueron ocupadas por el bosque nativo, 656 ha por plantaciones forestales, 3 957 ha pasaron a ser tierra agropecuaria y 10 ha a zona antrópica, también ha tenido ganancias considerables hacia la vegetación arbustiva y vegetación herbácea, ocupando 6 414 ha y 262 ha respectivamente.

La vegetación arbustiva a presente pérdidas de superficie hacia el páramo con 6 414 ha, 185 ha se han ocupado por las plantaciones forestales y 270 ha pasaron a la zona antrópica, las ganancias se presentaron hacia el bosque nativo con 2 389 ha, 63 396 ha a las tierras agropecuarias, y 16 838 ha de vegetación herbácea que han pasado a ser ocupadas por la vegetación arbustiva entre el 2000 y 2016.

La vegetación herbácea presentó pérdidas de superficie que fueron ocupadas por el páramo con 262 ha, 443 ha que se transformaron a plantaciones forestales, 16 838 ha fueron ocupadas por la vegetación arbustiva y 31 ha pasaron a las zonas antrópicas, las ganancias de superficie se dieron hacia el bosque nativo con 524 ha y 7 431 ha a las tierras agropecuarias.

4.2. Fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador

Los resultados de las métricas del análisis de fragmentación de las diferentes CUS naturales, se presentan a continuación en la Figura 8, donde se puede visualizar los cambios ocurridos entre el año 2000 y 2016 en la RSE.



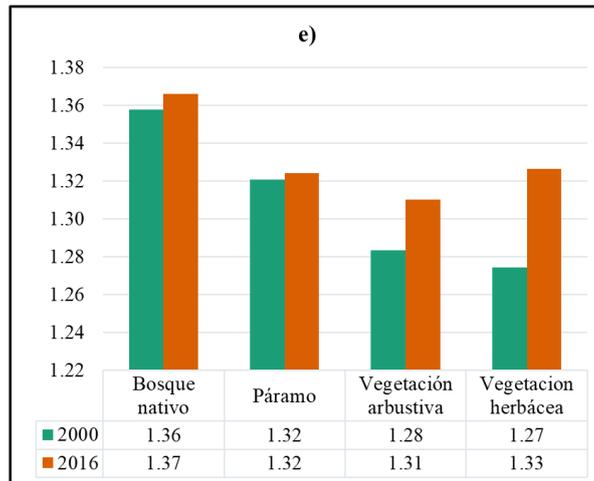


Figura 8. Métricas de fragmentación: a) Número de parches; b) Densidad de parches; c) Índice del parche más largo; d) Área media de los parches; e) Índice de forma.

Fuente: Elaboración propia.

El Número de Parches (NP) es la métrica más importante para determinar la fragmentación en las coberturas naturales, en nuestro estudio presentó una disminución del 1% para bosques, un 58.3 % en páramos, el 55.5 % en vegetación arbustiva y el 66.6 % en vegetación herbácea desde el periodo de tiempo analizado.

La Densidad de Parches (PD) representan la cantidad de parches por cada Km², en cuanto al bosque nativo la densidad se mantuvo en 0.22 parches por Km², en el páramo existió una disminución pasando de 0.03 a 0.01 parches por km², la vegetación arbustiva paso de 0.38 a 0.17 parches por Km² y la vegetación herbácea de 0.09 a 0.03 parches por cada Km².

En cuanto al Índice del Parche más largo (LPI) desde el año 2000 hacia el 2016, la cobertura natural de bosque nativo presentó un incremento del 9.2% en su índice, el páramo redujo su índice en un 0.3 %, la vegetación arbustiva y la vegetación herbácea el 1 y 0.4 % respectivamente en el periodo de estudio.

En la métrica del Área Media de los Parches (AREA_MN) analizada entre el año 2000 al 2016, el bosque presentó un descenso en el tamaño promedio de los parches pasando de 225.5 ha a 197 ha, el páramo en cambio, aumentó el tamaño medio de los parches de 161.4 ha a 393.14 ha, la vegetación arbustiva de la misma manera paso de medir 9.5 ha en el año 2000 a 38.8 ha en el año 2016 y finalmente la vegetación herbácea paso de medir 19.3 ha a 45 ha el tamaño medio de cada parche.

Por último, el índice de Forma o Perímetro (PAFRAC), las coberturas naturales se encuentran con valores entre 1.27 y 1.36 en el año 2000, igualmente en el 2016 presentó valores entre 1.31 y 1.36, encontrándose dentro del rango donde la forma de los parches presenta tendencias cuadradas.

4.3. Conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador

Los resultados de conectividad se obtuvieron directamente de la herramienta MSPA incluida en el software GUIDOS, en el cual se calcularon las clases del MSPA a cada una de las coberturas naturales.

4.3.1. Conectividad de bosque nativo

Tabla 6. Variación multitemporal de las clases del MSPA en la cobertura de bosque nativo.

Clase-MSPA	2000	2016	Cambio %	Número de elementos		Cambio
				2000	2016	
Núcleo	1 215 891	1 038 395	-14.6	10 029	10 536	507
Isla	810	701	-13.5	935	849	-86
Perforación	30 249	22 551	-25.4	5 098	3 754	-1 344
Borde	86 695	90 204	4.0	11 845	12 377	532
Lazo	945	818	-13.5	2 514	2 007	-507
Puente	2 296	2 688	17.1	5 403	5 824	421
Rama	13 369	12 970	-3.0	64 228	57 477	-6 751

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 6 muestra los resultados multitemporales de las clases del MSPA presentes en la cobertura de bosque nativo entre el año 2000 y 2016, en cuanto al núcleo, disminuyó la superficie un 14.6%, las islas de la misma manera perdieron el 13.5%, las perforaciones redujeron un 25.4%, los lazos perdieron el 13.5%, y las ramas sufrieron un descenso del 3%, por otro lado, los bordes aumentaron el 4% la superficie y los puentes presentaron un incremento del 17.1%.

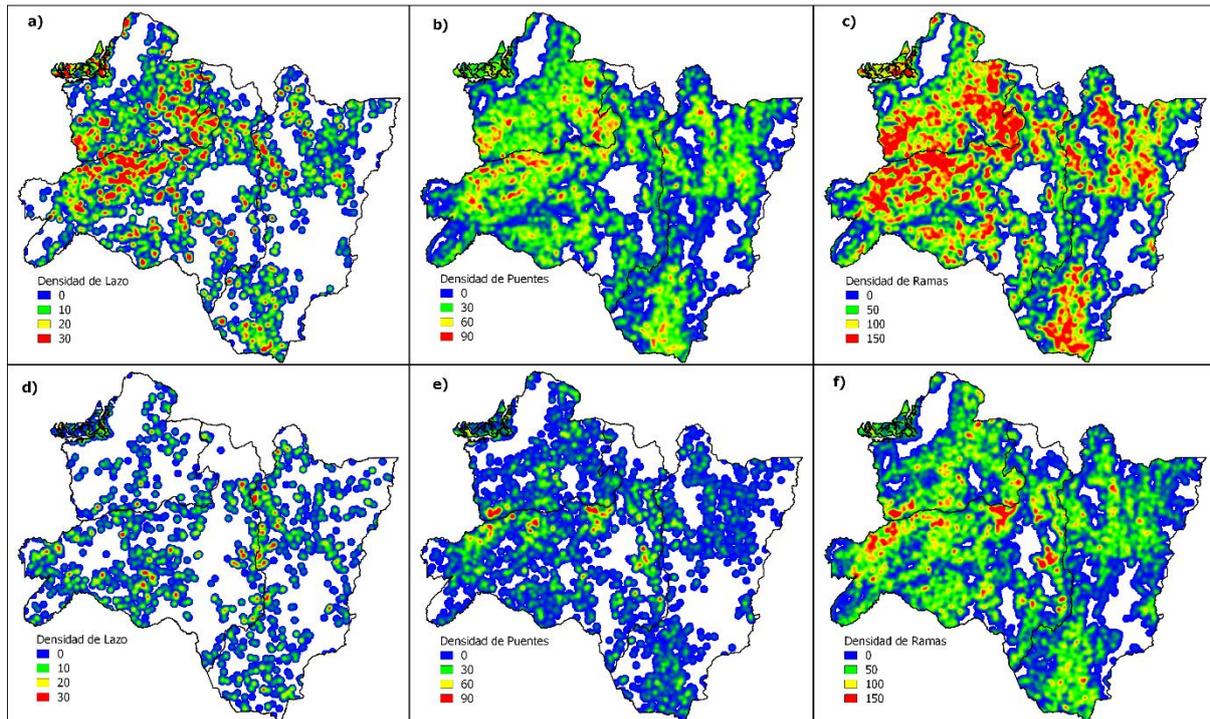


Figura 9. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de bosque nativo del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 9 correspondiente al mapa de calor del bosque nativo de las clases MSPA. Evidenciando la presencia de más lazos en el año 2000 especialmente entre la provincia de Loja y El Oro, así como también en pequeñas proporciones en el sur de Zamora Ch, en comparación con el año 2016 los cuales disminuyeron y se asentaron en mayor proporción al este de la provincia de Loja y oeste de la provincia de Zamora Ch. Los puentes en el año 2000 se aglomeraron en casi toda la RSE y para el año 2016 estos disminuyeron quedando entre los límites provinciales de El Oro y Loja. Por último, las ramificaciones estuvieron esparcidas en toda la RSE en el año 2000, sin embargo, en el año 2016, se establecieron al oeste de la provincia de Loja, al este de la provincia de El Oro, así como también, al norte y sur de la provincia de Zamora Ch.

4.3.2. Conectividad de páramo

Tabla 7. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de páramo.

Clase-MSPA	2000	2016	Cambio %	Número de elementos		Cambio
				2000	2016	
Núcleo	109 267	114 666	4.9	1 138	680	-458
Isla	199	51	-74.6	266	80	-186
Perforación	2 330	12 786	448.7	490	273	-217
Borde	10 579	9 229	-12.8	1 461	854	-607
Lazo	150	76	-49.2	309	176	-133
Puente	311	190	-39.0	666	489	-177
Rama	1 781	1 114	-37.5	7 944	5 154	-2 790

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 7 se muestran los resultados multitemporales de las clases del MSPA en la cobertura de páramo desde el año 2000 al 2016. Donde las islas sufrieron el mayor descenso de superficie, reduciendo el 74.6%, los bordes perdieron el 12.8%, los lazos redujeron el 49.2%, los puentes perdieron el 39% y las ramas sufrieron un decremento del 37.5%, por su parte, los núcleos aumentaron el 4.9% la superficie y las perforaciones incrementaron el 448.7%.

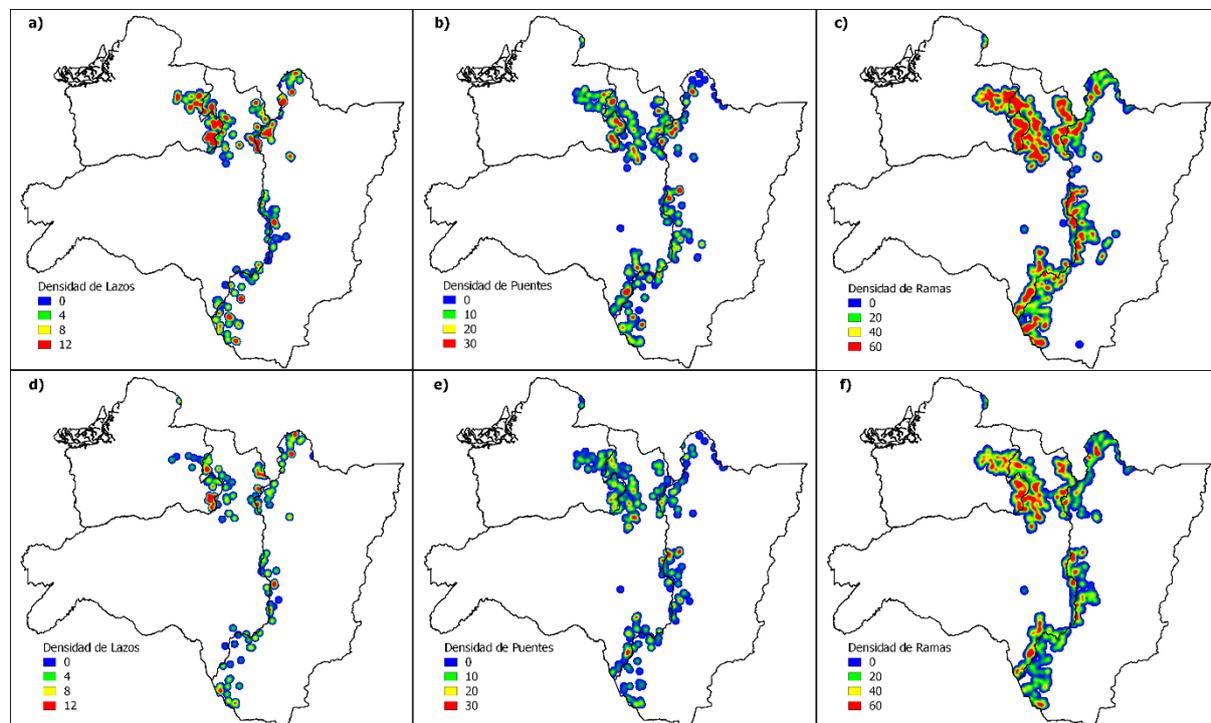


Figura 10. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de páramo del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 10 correspondiente al mapa de calor de la cobertura natural de páramo, muestra que los lazos se aglomeraron mayoritariamente en el año 2000, específicamente en las zonas de páramo de El Oro y Loja, así como también al norte y sur de Loja y Zamora Ch, sin embargo, en el año 2016 que se aglomeraron en menor cantidad en las zonas de El Oro asimismo al norte de Loja y al norte como en el sur de Zamora Ch. En cambio, los puentes se mantuvieron agrupados en las en las zonas de El Oro, de igual manera al norte y sur tanto de la provincia de Loja como de Zamora Ch en el año 2000 y 2016 respectivamente. Las ramas se agruparon en mayor cantidad en el año 2000, las cuales se encontraron distribuidas en todas las zonas de páramo en la RSE, mientras que en el año 2016 al existir una disminución de las mismas se agruparon en las zonas de El Oro, del mismo modo al norte de las provincias de Loja y Zamora Ch.

4.3.3. Conectividad de vegetación arbustiva

Tabla 8. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de vegetación arbustiva.

Clase-MSPA	2000	2016	Cambio %	Número de elementos		Cambio
				2000	2016	
Núcleo	66 490	144 921	118.0	6 348	4 795	-1 553
Isla	2 964	1 172	-60.5	6 174	1 831	-4 343
Perforación	743	2 506	237.2	206	473	267
Borde	22 738	25 930	14.0	6 180	4 971	-1 209
Lazo	109	162	48.8	294	399	105
Puente	1 011	974	-3.7	2 141	2 050	-91
Rama	5 065	4 634	-8.5	18 867	17 611	-1 256

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 8 se presentan las variaciones de superficie de las clases MSPA de la vegetación arbustiva, siendo la cobertura natural que presentó un incremento en la mayoría de las clases, donde los núcleos aumentaron un 118% la superficie inicial, las perforaciones ampliaron la superficie un 237.2%, los bordes aumentaron un 14 %, y los lazos aumentaron un 48.8 %, en cambio, las clases que presentaron pérdidas de superficie están las islas que sufrieron una disminución del 60,5 %, los puentes perdieron el 3,7% y las ramas disminuyó el 8.5% desde el año 2000 al 2016.

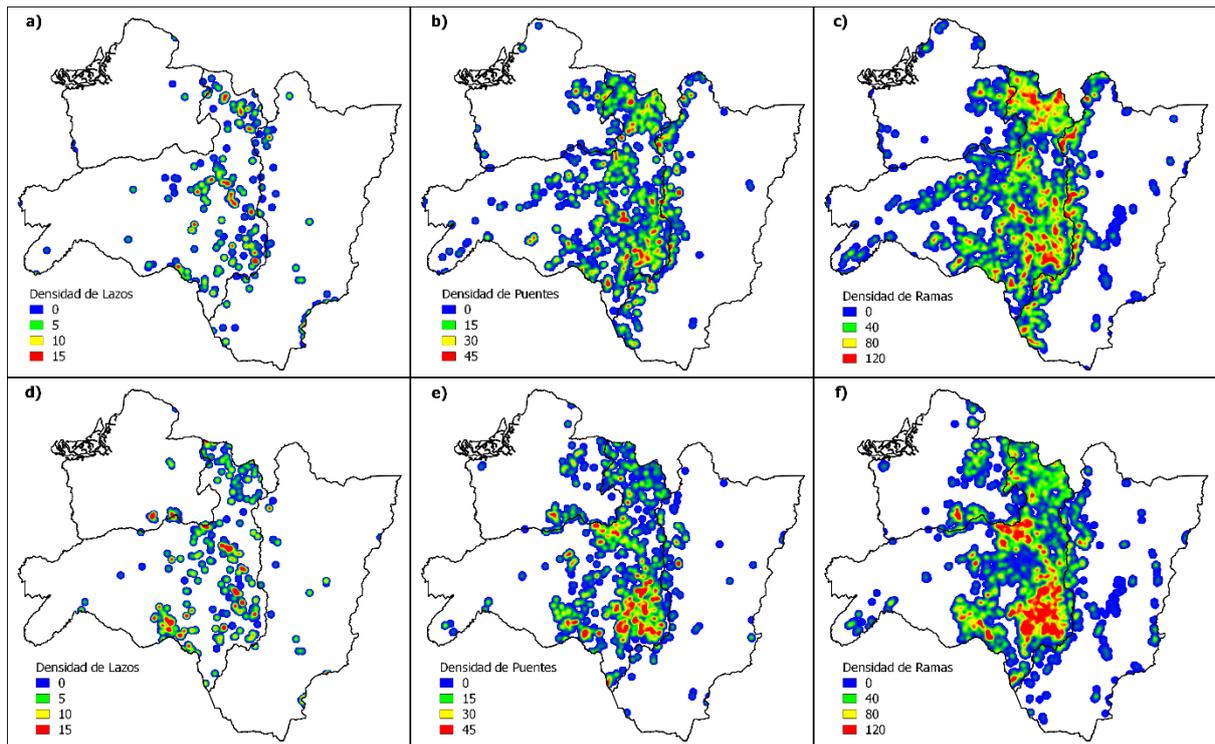


Figura 11. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de vegetación arbustiva del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas. Fuente: Elaboración propia.

Como se visualiza en la Figura 11 los lazos se encuentran mayormente aglomerados en el año 2016 encontrándose al noreste y sureste de la provincia de Loja, al igual que en el año 2000 pero en menor proporción. Los puentes se aglomeraron en mayor proporción en el año 2016 ubicándose al sureste de la provincia de Loja, a diferencia del año 2000 que se ubicaron al noreste y sureste de la provincia de Loja. Las ramificaciones en el año 2000 estuvieron agrupadas entre el noreste y sureste de la provincia de Loja, mientras que en el año 2016 se agruparon en mayor proporción al sureste de la misma provincia.

4.3.4. Conectividad de vegetación herbácea

Tabla 9. Variación multitemporal de las clases MSPA en la cobertura de vegetación herbácea.

Clase-MSPA	2000	2016	Cambio %	Número de elementos		Cambio
				2000	2016	
Núcleo	33 355	26 457	-20.7	1 992	1 118	-874
Isla	574	161	-71.9	1 068	226	-842
Perforación	743	784	5.6	156	148	-8
Borde	10 145	7 701	-24.1	1 953	1 165	-788
Lazo	61	51	-16.0	137	120	-17
Puente	277	253	-8.8	629	551	-78
Rama	1 857	1 246	-32.9	7 810	5 413	-2 397

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 9 se evidencia los cambios multitemporales de las clases del MSPA de la cobertura de vegetación herbácea entre el año 2000 y 2016, donde la mayoría han experimentado pérdidas de superficie a excepción de las perforaciones, que aumentaron la superficie un 5.6%, sin embargo, los núcleos redujeron el 20.7%, las islas perdieron el 71.9%, los bordes presentaron un descenso del 24.1%, los lazos perdieron el 16%, los puentes disminuyeron un 8,8 %, finalmente, las ramas presentaron una pérdida del 32.9 %.

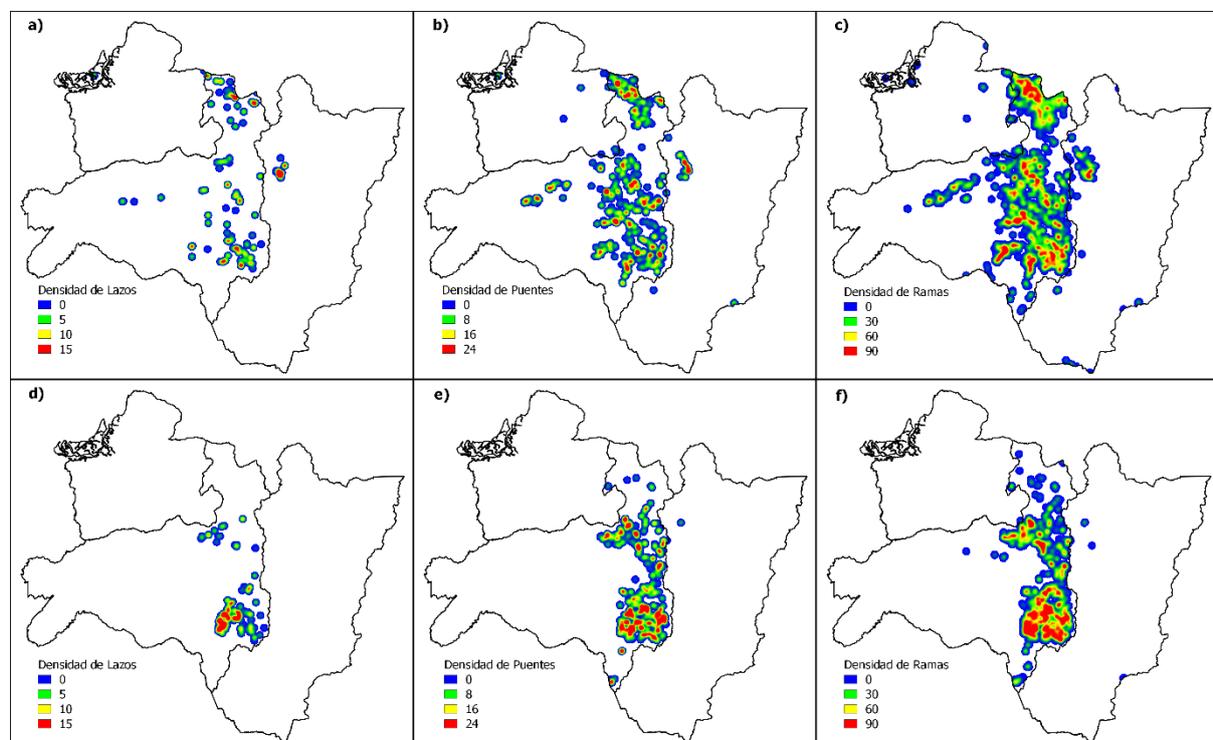


Figura 12. Mapas de calor de las clases MSPA de la cobertura de vegetación herbácea del año 2000: a) Lazos, b) Puentes, c) Ramas. Para el año 2016: d) Lazos, e) Puentes, f) Ramas.

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 12 los lazos, puentes y ramas de la vegetación herbácea, mostrando en el año 2000 los conectores estuvieron aglomerados desde el noreste hacia el sureste de la provincia de Loja, y en pequeñas proporciones al noroeste de la provincia de Zamora Ch, en cambio, para el año 2016 las clases MSPA se establecieron únicamente en las zonas herbáceas de la provincia de Loja, a excepción de la zona norte en el Cantón Saraguro donde los conectores desaparecen en su mayoría, de esta manera los lazos se agruparon al sureste, los puentes y ramas se aglomeraron al noreste y sureste de la provincia.

4.3.5. Modelamiento futuro

En la Tabla 10 se detallan los resultados del MLP, de cada submodelo donde se evidencia principalmente el tamaño de la muestra que uso el MLP para el entrenamiento y su respectiva muestra, así como también la tasa de aprendizaje inicial y final, con su respectivo porcentaje de exactitud o tasa de precisión.

Tabla 10. Submodelos con sus respectivos resultados del MLP.

Submodelo	Tamaño de la muestra	Tasa de aprendizaje inicial	Tasa de aprendizaje final	Exactitud
Bosque nativo	4 181	0.00406	0.0005	92.23%
Páramo	114	0.01	0.001	92%
Vegetación arbustiva	2 999	0.01	0.001	95.81%
Vegetación herbácea	343	0.01	0.001	91.55%

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13, se visualiza la probabilidad porcentual de cambio, proyectada para el año 2030 de las coberturas naturales, pertenecientes a bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva y vegetación herbácea, así mismo, en la Tabla 11 se muestra los rangos con la respectiva superficie en hectáreas que estarían propensas a sufrir cambios en la RSE.

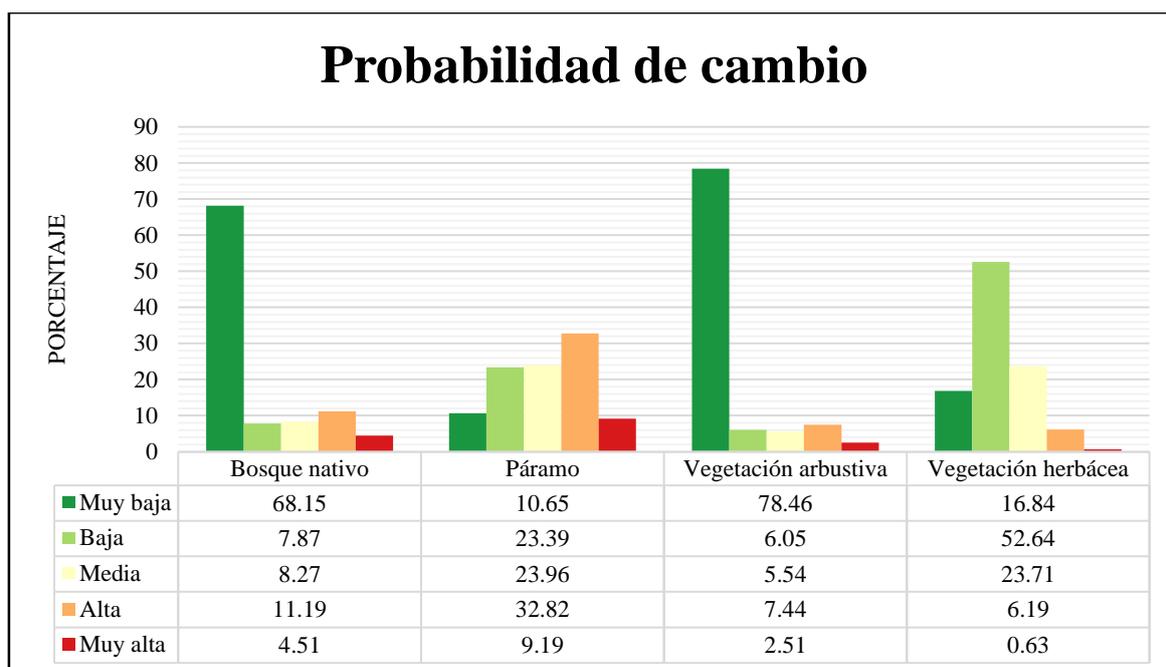


Figura 13. Probabilidad de cambio de las coberturas naturales al año 2030.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Probabilidades de cambio de las coberturas naturales para el año 2030.

Probabilidad de cambio		Bosque Nativo	Páramo	Vegetación arbustiva	Vegetación herbácea
Rango	Leyenda	ha	ha	ha	ha
0 - 0.2	Muy baja	796 291	6 671	141 469	3 570
0.2 - 0.4	Baja	91 993	14 653	10 902	11 163
0.4 - 0.6	Media	96 597	15 010	9 994	5 028
0.6 - 0.8	Alta	130 789	20 563	13 409	1 312
0.8 - 1	Muy alta	52 753	5 760	4 534	134

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos corresponden a las probabilidades de cambio hacia las actividades antrópicas (Tierras agropecuarias y Zona antrópica). La Figura 13 y Tabla 11 muestran las probabilidades de cambio de las coberturas naturales. En mención al bosque nativo para el año 2030, se analizó con una probabilidad de ocurrencia del 92.23%, donde la superficie se afectaría en un 4.51% correspondiente a una probabilidad muy alta de cambio, así mismo el 11.19% de la superficie se vería alterada con una probabilidad alta, en este mismo apartado el 68.15% de la superficie tiene una probabilidad muy baja de presentar cambios.

Los páramos al año 2030 se analizaron con una probabilidad de ocurrencia del 92%, presentando una probabilidad muy alta de cambio en el 9.19% de la superficie, una

probabilidad alta del 32.82% y una probabilidad media del 23.96%, por otro lado, el 10.65% de la superficie presentó una probabilidad muy baja a presentar cambios.

La vegetación arbustiva para el año 2030 se analizó con una probabilidad de ocurrencia del 95.81%, la misma que tendrá una probabilidad alta y muy alta de presentar cambios afectándose el 7.44% y 2.51% de la superficie respectivamente, además presentó una probabilidad media de cambio del 5.54%, ante el 78.46% de probabilidad muy baja a experimentar cambios hacia las actividades antrópicas.

La vegetación herbácea para el año 2030 presentó una probabilidad de ocurrencia del 91.55%, donde la superficie estaría afectada con una probabilidad alta y muy alta correspondiente al 6.82%, así mismo presentó una probabilidad media donde el 23.71% de la superficie estará expuesta a presentar cambios hacia las actividades antrópicas, en lo que respecta a la probabilidad baja y muy baja a experimentar cambios, corresponde al 16.84% y 52.69% respectivamente.

V. DISCUSIÓN

5.1. Cambios espacio temporales de la cobertura y uso del suelo que se han producido en la Región Sur del Ecuador

En la RSE el 55% de la superficie fue ocupada las coberturas naturales en el año 2016, no obstante, han sufrido una pérdida del 4% con respecto al año 2000. En el año 2017 el MAE presentó el informe de la deforestación entre los años 200 – 2016 en la cual se describe una pérdida neta de bosque nativo de 177 896 ha hasta el 2016, con una tasa de pérdida anual de 11 118 ha/año en la RSE (MAE, 2017), estos resultados son similares a los obtenidos en la presente investigación, en el cual se perdieron 181 938 ha de bosque nativo con una tasa de deforestación de 11 371 ha/año desde el año 2000 al 2016. Es importante citar que dicha transición; de bosque a zonas antrópicas, representa la principal causante de la deforestación a nivel mundial (Lombeida et al.,2015).

El páramo a diferencia del bosque aumentó su superficie, es probable por lo incentivos que ofrece el programa Socio Bosque para su protección, donde el MAE por la conservación de cada hectárea otorga 30 USD ya sea de manera individual o comunitaria (Calatayud et al., 2014). Para el año 2016 la RSE contaba con aproximadamente 4 329 ha incluidas en el Programa Socio Bosque, de las cuales, 3 341 ha pertenecen a la protección comunitaria en las parroquias de Manu, El Paraíso de Celen y El Tablón en el cantón Saraguro, así como también en El Ingenio, El Airo, Santa Teresita y Amaluza en el cantón Espíndola de la provincia de Loja, en la provincia de Zamora Ch se encuentra en el cantón Palanda tanto en la cabecera cantonal como en la parroquia de Valladolid. Por otra parte, la protección individual en la RSE es escasa registrándose 988 ha en el año 2016, asentadas en el cantón Atahualpa, Portovelo y Zaruma en la provincia de El Oro, en el cantón de Loja y Saraguro en la provincia de Loja y en la provincia oriental se encuentra únicamente en el cantón Yacuambi.

Las Áreas protegidas al igual que el Programa Socio Bosque, cumplen un rol importante en la protección de los mismos, como es el Parque Nacional Podocarpus que ocupa 19 108 ha de páramo en tres cantones como son: Loja, Palanda y Zamora. El Parque Nacional Yacuri registrado desde el año 2009 ocupa una superficie de 28 346 ha de páramo, en los cantones de Espíndola, Chinchipe y Palanda (MAE, 2017). Teniendo en cuenta los programas de Socio Bosque y las Áreas Protegidas, ocuparon el 41 % de la superficie de

páramo en el año 2016, que fueron determinantes para el aumento de superficie entre los años analizados.

Debido a la gran capacidad regenerativa que posee la vegetación arbustiva y herbácea, es decir, puede restaurarse con facilidad luego que cierta cobertura haya sido alterada de forma natural o antrópica. Estas coberturas son características de zonas con poca precipitación y terrenos con una alta pendiente (SENPLADES, 2012). Con lo antes mencionado este tipo de vegetación ganan terreno con facilidad a las tierras agropecuarias (70 809 ha) especialmente después de los cultivos y a los bosques nativos (2 913 ha) luego de haber sido deforestados.

5.2. Grado y patrones de fragmentación de la cobertura vegetal en la Región Sur del Ecuador

Mediante el número de parches podemos comprobar si una cobertura a través del tiempo ha aumentado o reducido la fragmentación, es decir a mayor número de parches mayor fragmentación (Gómez et al.,2015). En el caso del bosque nativo y páramo en la RSE, no ha aumentado la fragmentación en el tiempo analizado, posiblemente por los resultados positivos del Programa de Socio Bosque. Dado que los beneficiarios del programa tienen la obligación de proteger el páramo y los bosques por veinte años (Tuaza, 2011).

EL páramo es la cobertura natural que menos fragmentación presentó, puesto que disminuyó la cantidad de parches en relación a las demás coberturas, reduciendo el 60% entre el año 2000 y 2016. Estas reducciones se dan por la implementación el programa Socio Bosque, la creación del Parque Nacional Yacuri en el año 2009 y las reformas agrarias implementadas por el Gobierno Nacional en las zonas de los páramos (Camacho, 2013)

En lo referente a la fragmentación el bosque nativo, presentó una reducción minúscula de 58 parches en los 16 años analizados. De manera general se puede decir que la fragmentación se ha mantenido constante. Los resultados de la cantidad de parches se contrastan con la obtenida por Tapia (2015) en el cual menciona que en la RSE está bajo un creciente proceso de fragmentación debido al aumento en el número de parches desde el año 1974 al 2008 (Tapia, 2015). No obstante, al presentar una reducción en los parches no equivale a tener aspectos positivos sobre la fragmentación, sino al contrario, debido que los parches de bosque se fueron haciendo cada vez más pequeños y en muchos de los casos desapareciendo provocando pérdidas en su superficie, como ya se mencionó anteriormente

a causa de las actividades antrópicas. Esto se debe, al crecimiento de la población combinado con la expansión del sistema de carreteras en el Sur de Ecuador, aumentando la accesibilidad de áreas hasta entonces inexploradas y además hizo rentable la extracción de madera a un costo menor (Tapia, 2015), no se ha logrado reducir la deforestación en la Región, pese a que en el país se viene desarrollando desde 2008 el programa Socio Bosque mencionado con anterioridad.

La vegetación arbustiva presentó aspectos alentadores en cuanto a fragmentación reduciéndose el 50% el número de parches desde el año 2000 al 2016, donde manifestó 38 parches con una superficie promedio de 9.5 ha por cada Km² y con un tamaño del parche más grande de 84.8 ha, mientras que para el año 2016 presentó 17 parches por cada Km², donde el promedio de cada parche aumentó 4 veces más desde la fecha anterior, y el parche más grande de vegetación arbustiva ocupaba el 1.3% de la superficie total de la RSE.

La vegetación herbácea de la misma manera reflejó resultados positivos al verse reducida la fragmentación en el lapso de 16 años, donde presentó una disminución de más del 60% en la cantidad de los parches. Para el año 2000 presentaba 0.9 parches con un tamaño promedio de 19.3 ha por cada Km², donde el parche más grande era de 6 020 ha, estos valores para el año 2016 variaron considerablemente presentando 0.3 parches con un tamaño promedio de 45 ha por cada Km², y cuyo parche más grande que presentaba era de 17 788 ha. Principalmente la fragmentación se produce en las zonas donde los terrenos son aptos para las actividades antrópicas, degradando aquellas zonas frágiles como son las coberturas naturales.

5.3. Modelo de conectividad de las áreas naturales en la Región Sur del Ecuador

La conectividad entre áreas naturales permite determinar cuan distante se encuentra un parche de otro, principalmente que servirá como corredor biológico de especies. (Urbina, 2014). La conectividad está directamente relacionada con la fragmentación, es decir a mayor fragmentación, mayor conectividad y viceversa, como se mencionó en el ítem anterior los parches de las áreas naturales sufren un descenso, provocando que la conectividad de igual manera se vea afectada.

Esta diferencia entre los dos años de estudio fue muy recalçada, cuando se analizó la conectividad estructural al considerar el papel de los puentes como el principal indicador de conectividad (Saura et al., 2011), con lo antes mencionado se relacionó la superficie y

frecuencia de los núcleos con los puentes, en vista que los puentes permiten unir en un solo componente casi todo el hábitat del núcleo, a las islas no se las consideró en vista que son parches pequeños y no presentan un borde, además de encontrarse aislados sin presentar ningún tipo de conectividad.

La superficie de los núcleos de bosque nativo entre el periodo de estudio presentó un descenso, pero aumentó el número de elementos, debido a la pérdida de superficie que experimentó a causa de las actividades antrópicas, donde los parches de bosque más grande se van transformando en varios parches principalmente por la apertura de nuevas vías. Los puentes no solo aumentaron la superficie, sino también incrementó el número de elementos. Estos cambios se presentaron principalmente, donde la densidad de los mismo es mayor ubicándose al sur del cantón Las Lajas (El Oro), donde los bosques pierden espacio por las actividades ganaderas que se desarrollan en la zona, además de los cultivos, también se ubicaron al norte y sur de Catamayo en las parroquias de Guayquichuma, Zambí y El Tambo, donde las malas prácticas agropecuarias y la tala descontrolada de los bosques presentan pérdidas de la cobertura vegetal (Peña, 2018; Ramos, 2015), aumentando la cantidad de núcleos.

El páramo por su parte aumentó la superficie de los núcleos, pero disminuyó el número de elementos, debido al descenso que presentó en la fragmentación. Con respecto a los puentes en cambio se vio reflejada una disminución tanto en superficie como en cantidad, pero existen zonas donde la densidad de los enlaces es mayor representando un nivel alto de conectividad. Para el año 2016 los puentes se ubicaron especialmente al sur del cantón Espíndola y Saraguro en la provincia de Loja, al sureste del cantón Zaruma y al este del cantón Portovelo en la provincia de EL Oro, así como también al oeste de Zamora en la provincia oriental, al ser zonas dedicadas a la crianza de ganado vacuno y ovino, además de cultivos propios de dichos climas como el tomate de árbol, frejol, maíz entre otros, es asumible que mencionados lugares son zonas específicas donde los programas de Socio Bosque no están incluidos para la protección de los mismos.

Los núcleos de la vegetación arbustiva aumentaron la superficie, pero disminuyó el número de elementos, cuya explicación es que los núcleos aumentaron de tamaño posiblemente a la fusión entre los núcleos más cercanos volviéndose de mayor tamaño. Por otro lado, los puentes para el año 2016 presentó un descenso en la cantidad de elementos como en superficie debido al aumento de los núcleos. Con respecto a la densidad de los

mismos, se ubicaron para el año 2016 al norte y sur del cantón Loja y Quilanga, así como también al sur este del cantón Piñas en la provincia de El Oro y al noreste del cantón Zamora en la provincia de Zamora Ch al ser zonas donde predominan los arbustos como: *Agave americana*, *Crotón wagneri*, *Ipomoea carnea* y *Fourcraea andina* (Aguirre et al., 2017), sirviendo como corredores biológicos para especies silvestres como los roedores.

Finalmente, en este apartado la vegetación herbácea al ser una cobertura de índole natural, se encontró en su mayoría al este de la provincia de Loja y en cierto porcentaje al oeste de la provincia de Zamora Ch en el año 2000. En el periodo de análisis presentó una reducción de los núcleos, tanto en superficie como en el número de elementos. De la misma manera en los puentes se evidenció una disminución en la cantidad de elementos como en la superficie. Para el año 2016 estos enlaces se ubicaron solamente en la provincia de Loja, principalmente al norte del cantón Saraguro, al sur del cantón Loja, al norte de Gonzanamá, al oeste de Catamayo y Paltas, que son los lugares donde la superficie de cobertura de vegetación herbácea es predominante. Este tipo de vegetación es escasa en la temporada seca y exuberante en la lluviosa, con dominio de poaceas *Schizachyrum tenerum*, *Aristida adscensionis*, *Aristida ecuadoriensis*, *Setaria cernua*, *Digitaria insularis*, *Chloris inflata* y *Setaria parviflora* (Aguirre et al., 2017), los mismos, que por su alta capacidad de regeneración pueden tener enlaces entre los núcleos de manera más acelerada.

5.4. Escenario futuro de la cobertura y uso del suelo para el año 2030 en la Región Sur del Ecuador

Un estudio de la CUS supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos del suelo. Su importancia radica que a escala global, regional y local los cambios en el uso del terreno se están transformando a las coberturas antrópicas a un paso acelerado. No obstante, los datos cuantitativos: en dónde, cuándo y por qué se da cada cambio, están aún incompletos, y, algunas veces, estos datos son inexactos. Por tal motivo, los estudios sobre este tema son fundamentales (Lopez et al., 2017)

Las predicciones de la transición de bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva y vegetación herbácea hacia las actividades antrópicas, mostraron que para el año 2030 se presentarían cambios considerables en su superficie.

En lo referente a bosque nativo, la Región sur del Ecuador constituye una de las regiones más biodiversas del Ecuador y del mundo; comprende un mosaico de ecosistemas

a lo largo de la gradiente pacífico-amazónica como son: manglar, bosque deciduo, bosque montano occidental, bosque montano oriental y bosque húmedo tropical amazónico (Lozano, 2014).

De tal manera para el año 2030, existe una posibilidad mayor del 60% que las coberturas naturales presenten alteraciones en su superficie, afectándose 229 355 ha producto de las actividades antrópicas según se muestra en el Anexo 7 (a), el bosque nativo se vería afectado en el cantón Santa Rosa de la provincia costera, donde las actividades agroproductivas están relacionadas con la agricultura y ganadería, específicamente en las parroquias de La Avanzada y la Totorá, además de la producción de camarón, en la parroquia de Jambelí. Dichas actividades alteran los bosques tanto de manglar como los bosques montanos y los bosques secos presentes en la provincia de el Oro, (SENPLADES, 2012). En la provincia de Loja, los bosques secos son los más vulnerables a sufrir cambios al ser ecosistemas frágiles, por los cambios extremos de precipitación y temperatura que suceden durante todo el año, pero también por los efectos de la presencia humana. Los períodos prolongados de sequía han obligado a la gente a convertir zonas de vegetación natural en áreas agrícolas para su supervivencia y la explotación selectiva de maderas han provocado procesos de deforestación a gran escala y posiblemente la disminución en el número de individuos y especies en los bosques. A esto se suma el sobrepastoreo extensivo del ganado vacuno y caprino, el mal uso del fuego como herramienta agrícola y la utilización de productos químicos (Aguirre y Delgado, 2014), principalmente en las parroquias de Garzarreal, Bolaspamba, Paletillas y Zapotillo. En la provincia amazónica la mayor tendencia de cambio se da en los bosques amazónicos, principalmente en la parroquia de Tundayme del cantón el Pangui, donde los bosques se degradan a causa de las actividades agrícolas, ganaderas y mineras (MAGAP, 2015), que van expandiéndose más hacia los territorios de bosque nativo.

El páramo es un área natural y su importancia radica en su gran valor científico como ecológico. Su flora, en un alto porcentaje endémica y su paisaje tropical montañoso desempeñan funciones importantes en la producción de alimentos, además son fundamentales para la regulación hidrológica, constituyendo la fuente de agua para consumo humano, riego y generación de energía hidroeléctrica (Beltrán et al., 2010), los páramos para el año de predicción en la RSE en el Anexo 7 (b), se verían afectados en una muy alta probabilidad en las parroquias de Guizhaguiña (Zaruma), Morales (Portovelo), donde las

actividades mineras no serían el principal causante de la pérdida de cobertura como se pensaría, sino las actividades ganaderas en las zonas altas de los lugares antes mencionados, al igual que las parroquias Gualiel, Santiago en el cantón de Loja (Iñiguez, 2015; Rebutti, 2018), donde presentan una alta incidencia de cambio de la cobertura vegetal hacia las actividades antrópicas para el año 2030. En vista, que en la actualidad dichas actividades se desarrollan con fuerza en mencionados lugares demuestran tendencia a incrementar su frontera productiva.

La vegetación arbustiva en el año 2030 estaría afectada en la provincia de Loja, según el Anexo 7 (c), al presentar ecosistemas de tipo arbustivo en los cantones de: Loja, Piñas, Quilanga, Catamayo y Calvas. Donde la vegetación de este tipo es predominante, principalmente en las zonas más áridas y que están propensas a sufrir cambios a causa de los incendios forestales y las actividades agropecuarias en los terrenos aptos para la ganadería y agricultura.

De la misma manera la vegetación herbácea es la cobertura natural más propensa a sufrir algún tipo de alteración, principalmente en las zonas secas de la provincia de Loja a causa de los incendios, pero por su capacidad regenerativa no se ve afectada en su totalidad recuperando la vegetación en un corto tiempo. Según el Anexo 7 (d) los lugares que presentan una probabilidad muy alta a sufrir cambios es en los cantones de: Loja, Catamayo, Chilla (Peña, 2018). Al ser zonas con buena presencia de pastos naturales utilizadas en su mayoría para la ganadería, que facialmente pueden convertirse en otras coberturas como es a vegetación arbustiva.

El análisis de los cambios en la cobertura de la tierra en la RSE, demuestra que la deforestación está aumentando en estas provincias como se evidenció desde el año 2000 hacia el 2016, y estos procesos pueden reflejar una tendencia de deforestación futura de las áreas naturales hacia el año 2030. En la RSE si no se toman medidas preventivas de manejo y conservación de las coberturas naturales ante este fenómeno antrópico, las pérdidas de coberturas serian relativamente elevadas.

VI. CONCLUSIONES

- Los bosques nativos y la vegetación herbácea disminuyeron la superficie en un 13.5% y 22% respectivamente, mientras que el páramo y la vegetación arbustiva aumentaron la superficie en 1.6% y 81.9% respectivamente entre el año 2000 y 2016.
- La fragmentación en la RSE sufrió un descenso del 1 % para bosques, un 58.3 % para páramos, 55.5 % en vegetación arbustiva y 66.6 % en vegetación herbácea en el tiempo analizado.
- Los puentes como el principal indicador de conectividad, se demostraron que los bosques aumentaron 421 unidades, los puentes del páramo disminuyeron 177 unidades, la vegetación arbustiva perdió 1553 unidades de puentes y la vegetación herbácea perdió 78 unidades de puentes.
- Se modeló un escenario futuro de CUS para el año 2030 en la RSE, con una probabilidad muy alta de cambio donde el bosque nativo se vería afectado el 4.51% de su superficie, principalmente en los cantones de Santa Rosa, Zapotillo y El Pangui, el páramo se afectaría el 9.19 % de su cobertura en los cantones de Zaruma, Portovelo y Loja, la vegetación arbustiva y herbácea cambiarían su superficie en 2.51% y 0.63 % respectivamente principalmente en los cantones de Chilla, Piñas, Catamayo, Calvas, Loja y Quilanga.

VII. RECOMENDACIONES

- Para fundamentar el estudio sería de gran importancia continuar con investigaciones sobre los cambios de las coberturas de la tierra, para determinar la tendencia de cambio que se producen en la Región, que permita a las entidades gubernamentales y no gubernamentales la implementación de más programas de conservación para reducir la degradación de las áreas naturales.
- Los esfuerzos deben dirigirse especialmente hacia la investigación de los recursos naturales a fin de diseñar políticas y directrices cuya implementación conlleve al uso racional, la conservación y al mantenimiento de tan valiosas áreas como es el bosque nativo, páramo, vegetación arbustiva y herbácea, impulsadas por la unidad de gestión ambiental pertenecientes a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) cantonales.
- A los GADs cantonales y parroquiales que logren implementar la creación de escenarios futuros de cambios de la cobertura y uso del suelo, que sirva de guía para un adecuado ordenamiento del territorio.
- Para realizar estudios de los modelamientos futuros en lo referente al insumo cartográfico, es aconsejable obtener información actualizada de Geoportales, que brinden información confiable para su respectivo procesamiento.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C., Martínez, E. y Arriaga, L. (2000). Deforestación y Fragmentación de Ecosistemas ¿Que tan grave es el problema en México? *Biodiversitas*, 30, 5.
- Aguirre, N., Eguiguren, P., Maita, J., Coronel, V., Samaniego, N., Ojeda, T. y Aguirre, Z. (2015). Vulnerabilidad al cambio climático en la Región Sur del Ecuador: Potenciales impactos en los ecosistemas, producción de biomasa y producción hídrica. *Universidad Nacional de Loja y Servicio Forestal de los Estados Unidos*, (October), 184.
- Aguirre, Z., Aguirre, N. y Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja. *Arnaldoa*, 24(2), 20.
- Aguirre, Z. y Delgado, T. (2014). Vegetación de los bosques secos de cazaderos-mangaurco, occidente de la provincia de Loja. *ResearchGate*, (July), 16.
- Aguirre, Z., Kvist, L. y Sanchez, O. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de los Andes Centrales*, (8), 27.
- Alvarez, J. y Agredo, G. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, Caso Cuenca Urbana San Luis (Manizales). *Luna Azul*, 37(Universidad de Caldas), 19.
- Armenteras, D., González, T., Retana, J. y Espelta, J. (2016). Degradación de Bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. *IBERO-RED+*, 56.
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León, S., Romoleroux, K., Ortiz, E. y Velástegui, A. (2010). Distribución Espacial, Sistemas Ecológicos y Caracterización Florística de los Páramos en el Ecuador. *EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA*, 147.
- Calamari, N. C., Gavier, G. I., Cerezo, A., Vilela, F. J. y Zaccagnini, M. E. (2013). Pérdida y fragmentación del bosque nativo en Entre Ríos, Argentina: impacto de futuros escenarios en las poblaciones de aves. *Entre Ríos*, 13.
- Calatayud, G., García, V., Martín, P., Sierra, N. y Vélez, A. (2014). Restauración de un ecosistema de páramo en Villonaco (Loja, Ecuador) afectado por una plantación de pino patula (*Pinus patula*). *Universidad Internacional Menéndez Pelayo (IUMP)* y

Universidad Central del Ecuador (UCE), 40.

Camacho, J., Juan, P., Pineda, N., Cadena, E., Peña, L. y Sanchez, M. (2015). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera Y Bosques*, 21(1), 112.

Camacho, M. (2013). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Universidad Central del Ecuador*, 16.

De la Cruz, J. y Muñoz, G. (2016). Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de uso del suelo del área de influencia del programa de reforestación de la Federación Nacional de Cafeteros en el Municipio de Popayán, Cauca. *Universidad de Manizales*, 58.

Eastman, J. (2016). TerrSet Geospatial Monitoring and Modeling System, Manual. *Clark University*, 397.

Eraso, N., Caicedo, J., Suárez, N. y Collantes, J. (2010). Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad Nacional de Colombia y Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación.*, 80.

FAO. (2018). *El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma, 153.

Gómez, A., Anaya, J. y Alvarez, E. (2015). Análisis De Fragmentación De Los Ecosistemas Boscosos En Una Región De La Cordillera Central De Los Andes Colombianos. *Revista ingenierías Universidad de Medellín*, 4(7), 27.

Haddad, N. M., Brudvig, L. A., Clobert, J., Davies, K. F., Gonzalez, A., Holt, R. D. y Townshend, J. R. (2015). Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(e1500052), 9.

Henriquez, L. (2012). Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la mancha oriental. *Universidad Politécnica de Valencia*, 190.

Hernández, F., Sivisaca, L. y Chalco, W. (2016). Análisis de la realidad de la Zona 7. *Centro*

de Biotecnología, 5(1), 20.

Hocksztain, E., Vázquez, C. y Bernabé, M. (2012). Análisis de Navegación de Geoportales. *Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística*, 13.

Iñiguez, A. (2015). *Estudio de la realidad agrosocioeconómica y alternativas de desarrollo para las microcuencas de los ríos: Santiago y San Lucas del cantón Loja*. Universidad Nacional de Loja, 131.

Jadan, O., Cedillo, H., Zea, P., Quichimbo, P., Peralta, A. y Vaca, C. (2016). Relación entre deforestación y variables topográficas en un contexto agrícola ganadero, cantón cuenca Página. *Bosques Latitud Cero*, 13.

Lara, E., Simeón, C. y Moreno, J. (2006). Los Sistemas de Información Geográfica. *Geoenseñanza*, 11, 16.

Lombeida, A., Calderón, M., Santos, A. y Párraga, C. (2015). Evaluación geoespacial del cambio de cobertura y uso del suelo: caso del Cantón Las Naves. Provincia Bolívar. *Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, Facultad de Ciencias de la Vida*, 12.

Lopez, E., Bocco, G. y Mendoza, M. (2017). Predicción del cambio de cobertura y uso del suelo. El caso de la ciudad de Morelia. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 493(4), 21.

Lozano, P. (2014). Los tipos de bosque en el sur del Ecuador, 22.

MAE-MAGAP. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 14, Escala 1:100.000, 49.

MAE. (2017). Conectividad de los ecosistemas del Ecuador Continental. *Ministerio del Ambiente*, 26.

MAE. (2017). Deforestación del Ecuador Continental Periodo 2014-2016. *Ministerio del Ambiente*, 38.

MAGAP. (2015). Levantamiento de cartografía temática escala 1:25000, 68.

Mantovani, E. C. y Magdalena, C. (2017). Manual de agricultura de precisión, 10.

- McGarial, K. (2015). Fragstats Help, (Abril), 182.
- Muriel, P. (2008). La diversidad de ecosistemas en el Ecuador. *Enciclopedia de las plantas útiles del Ecuador*, 38.
- Nagera, O., Bojorquez, J., Cifuentes, J. y Marceleño, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del Río Molola, Nayarit. *Biociencias*, 1, 29.
- Navas, G. y Prieto, P. (2011). Geoportales en el Ecuador. *La Granja*, 14(2), 23.
- Norambuena, H. y Orellana, D. (2012). Determinantes de la deforestación en la Amazonia. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 8(1), 25.
- Obando, J. (2009). *Determinación de índices de fragmentación y modelamiento de la conectividad en los corredores biológicos de costa rica*. Instituto tecnologico de Costa Rica, 395.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Informacion Geográfica*, 854.
- Oñate, F. y Bosque, J. (2010). Application of GIS and remote sensing techniques in generation of land use scenarios for hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, 395, 8.
- Peña, E. (2018). *Análisis multitemporal para la deteccion de cambios de uso del suelo en el Cantón Catamayo, Provincia de Loja*. Universidad Nacional de Loja, 104.
- Ramos, K. (2015). *Propuestas agroturisticas en el canton Las Lajas para el desarrollo económico, social y local*. Universidad Técnica de Machala, 78.
- Rebutti, J. (2018). *Incidencia de la actividad minera en el desarrollo del cantón Zaruma. Plan estrategico para fortalecer el sector de turismo, periodo 2012-2016*. Universidad de Guayaquil, 84.
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotenté Nicaragua, 1993 – 2011. *Ecosistemas*, 22(3), 7.
- Santillan, D. (2016). Análisis multitemporal de usos y coberturas de la tierra en el período 2005-2016 en el valle de Sico-Paulaya, Honduras, 27.

- Saura, S., Vogt, P., Velázquez, J., Hernando, A. y Tejera, R. (2011). Key structural forest connectors can be identified by combining landscape spatial pattern and network analyses. *Forest Ecology and Management*, 262(2), 11.
- SENPLADES. (2012). Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional.
- Tapia, M. (2015). Definition of Areas With High Conservation Priority in Southern Ecuador – an Approach Combining Spatial and Temporal Patterns of Deforestation and Human Impact With Endemic Plant Diversity, 178.
- Tapia, M., Homeier, J., Espinosa, C., Leuschner, C. y Cruz, M. (2015). Deforestation and Forest Fragmentation in South Ecuador since the 1970s – Losing a Hotspot of Biodiversity. *PlosONE*, 18.
- Tuaza, L. (2011). Ecuador debate, 27.
- Urbina, N. (2014). Conectividad ecológica y flujo de servicios ecosistémicos en interfaces urbano-rurales, 18.
- Villavicencio, R., Santiago, A., Perez, S., Herrera, J., Chavez, J. y Toledo, S. (2012). Efecto de la fragmentación sobre la regeneración natural en la sierra de Quila, Jalisco, 16.
- Vogt, P., y Riitters, K. (2017). GuidosToolbox : universal digital image object analysis. *European Journal of Remote Sensing*, 50(1), 11.

IX. ANEXOS

Anexo 1. Matriz de evaluación de las variables.

Entrada	Variable	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Promedio
		86.35	89.76	84.60	90.10	87.43	
		91.35	98.26	87.16	96.04	93.58	
1	alos60m	8	8	6	10	9	8.2
2	defo dst	7	10	2	9	2	6.0
3	dns2016km2	4	5	5	3	5	4.4
4	drv TAgrr2016dst	1	1	1	1	1	1.0
5	drv ZAnrr2016dst	2	2	3	2	3	2.4
6	mineria dst	9	7	8	8	7	7.8
7	pane dst	5	6	7	4	6	5.6
8	pbl inec dst	12	12	12	12	12	12.0
9	rio dst	3	3	4	6	4	4.0
10	slp dgr	6	4	9	5	8	6.4
11	urb inec dst	11	11	11	11	11	11.0
12	vias mtopdst	10	9	10	7	10	9.2

Model	Accuracy (%)	Skill measure	Influence	order
With all variables	86.35	0.7270	N/A	
Var. 1 constant	86.53	0.7306	8	
Var. 2 constant	86.53	0.7306	7	
Var. 3 constant	86.33	0.7266	4	
Var. 4 constant	50.19	0.0037	1 (most influential)	
Var. 5 constant	85.95	0.7190	2	
Var. 6 constant	86.54	0.7308	9	
Var. 7 constant	86.49	0.7298	5	
Var. 8 constant	88.99	0.7798	12 (least influential)	
Var. 9 constant	86.32	0.7264	3	
Var. 10 constant	86.52	0.7304	6	
Var. 11 constant	87.51	0.7503	11	
Var. 12 constant	86.97	0.7394	10	

Model	Variables included	Accuracy (%)
With all variables	All variables	86.35
Step 1: var.[8] constant	[1,2,3,4,5,6,7,9,10,11,12]	88.99
Step 2: var.[8,11] constant	[1,2,3,4,5,6,7,9,10,12]	90.99
Step 3: var.[8,11,2] constant	[1,3,4,5,6,7,9,10,12]	90.37
Step 4: var.[8,11,2,12] constant	[1,3,4,5,6,7,9,10]	90.83
Step 5: var.[8,11,2,12,6] constant	[1,3,4,5,7,9,10]	91.05
Step 6: var.[8,11,2,12,6,10] constant	[1,3,4,5,7,9]	91.23
Step 7: var.[8,11,2,12,6,10,1] constant	[3,4,5,7,9]	91.32
Step 8: var.[8,11,2,12,6,10,1,7] constant	[3,4,5,9]	91.35
Step 9: var.[8,11,2,12,6,10,1,7,3] constant	[4,5,9]	91.33
Step 10: var.[8,11,2,12,6,10,1,7,3,9] constant	[4,5]	91.29
Step 11: var.[8,11,2,12,6,10,1,7,3,9,5] constant	[4]	90.32

1) Forzar una única variable independiente para que sea constante

3) Forzamiento constante con las demas variables.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Reordenamiento de las variables después de las cinco ejecuciones.

Entrada	Variable	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Promedio
		86.35	89.76	84.60	90.10	87.43	
		91.35	98.26	87.16	96.04	93.58	
4	drv TAgrr2016dst	1	1	1	1	1	1.0
5	drv ZAnrr2016dst	2	2	3	2	3	2.4
9	rio dst	3	3	4	6	4	4.0
3	dns2016km2	4	5	5	3	5	4.4
7	pane dst	5	6	7	4	6	5.6
2	defo dst	7	10	2	9	2	6.0
10	slp dgr	6	4	9	5	8	6.4
6	mineria dst	9	7	8	8	7	7.8
1	alos60m	8	8	6	10	9	8.2
12	vias mtopdst	10	9	10	7	10	9.2
11	urb inec dst	11	11	11	11	11	11.0
8	pbl inec dst	12	12	12	12	12	12.0

Entrada	Variable	Run 6	Run 7	Run 8	Run 9	Run 10	Promedio
		87.47	83.92	87.12	87.58	88.70	
		93.31	87.43	93.41	90.49	93.61	
1	drv TAgrr2016dst	1	1	1	1	1	1.0
2	drv ZAnrr2016dst	2	4	2	2	2	2.4
3	rio dst	3	6	5	5	5	4.8
4	dns2016km2	6	5	4	4	4	4.6
5	pane dst	5	8	6	9	6	6.8
6	defo dst	4	7	3	3	3	3.0
7	slp dgr	10	9	7	6	8	8.0
8	mineria dst	8	7	8	7	9	7.8
9	alos60m	7	3	9	8	7	6.8
10	vias mtopdst	9	10	10	10	10	9.8
11	urb inec dst	11	11	11	11	11	11.0
12	pbl inec dst	12	12	12	12	12	12.0

Reordenar

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3. Eliminación de las variables de menor influencia ara el submodelo.

Variables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Frecuencia	
drv_ZAntr2016dst	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	20
drv_TAgr2016dst	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	19
rio_dst	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	15
dns2016km2	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	12
pane_dst	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	11
defo_dst																						4
alos60m																						2
slp_dgr																						1
urb_inec_dst																						1
pbl_inec_dst																						1
vias_mtopdst																						0
mineria_dst																						0

} Variables eliminadas

Entrada	Variable	Run 21	Run 22	Run 23	Run 24	Run 25	Promedio
		96.11	96.35	96.22	95.89	95.91	
		96.15	96.43	96.33	96.04	96.13	
1	drv_ZAntr2016dst	2	2	2	2	2	2.0
2	drv_TAgr2016dst	1	1	1	1	1	1.0
3	rio_dst	4	5	3	3	4	3.8
4	dns2016km2	5	4	5	4	3	4.2
5	pane_dst	3	3	6	6	5	4.6

Fuente: Elaboración propia.

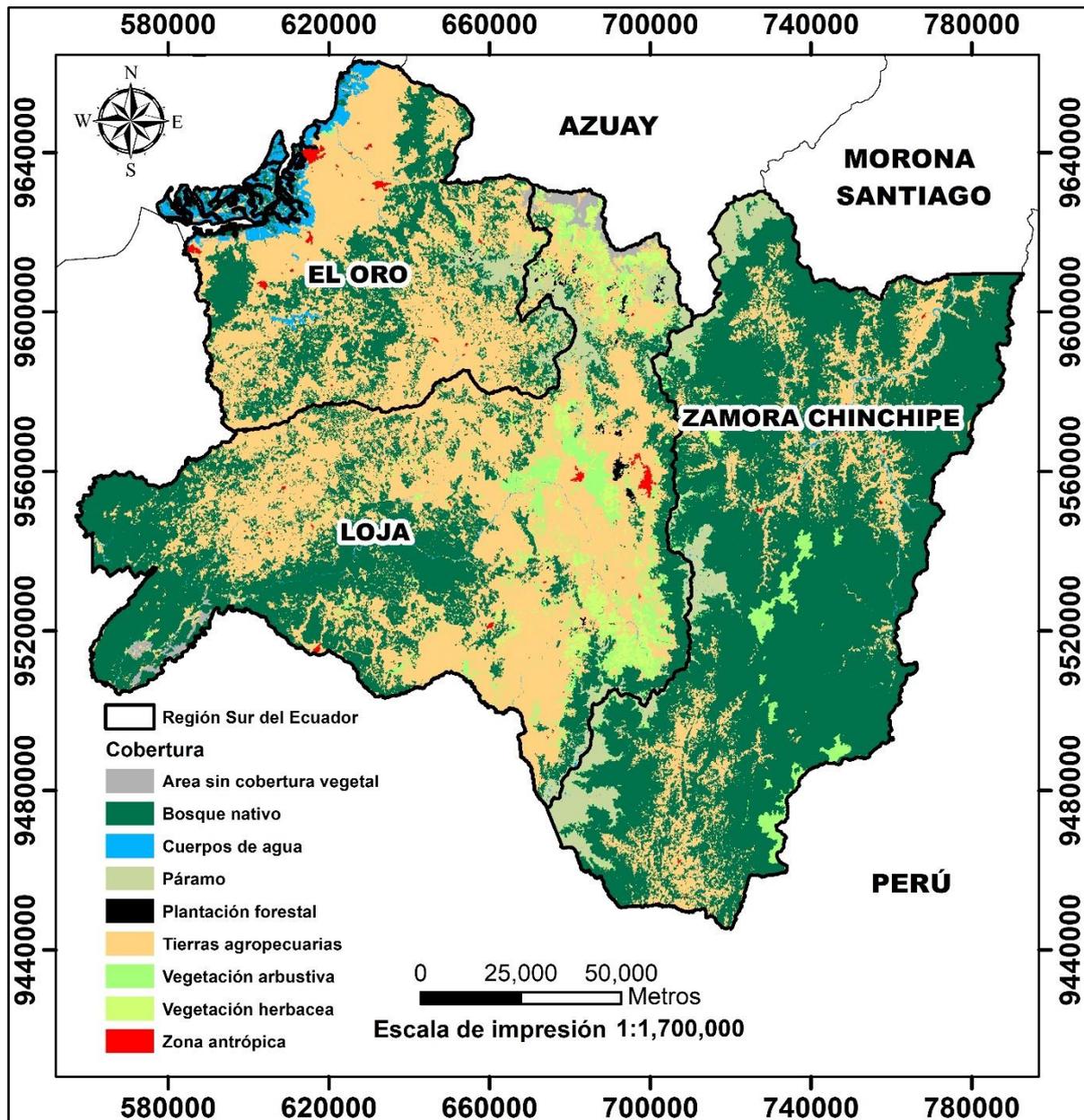
Anexo 4. Estabilización de las variables entre el orden de entrada de las variables con el promedio.

Entrada	Variable	Run 26	Run 27	Run 28	Run 29	Run 30	Promedio
		95.89	95.74	96.39	96.21	96.19	
		95.92	95.9	96.5	96.29	96.24	
1	drv_TAgr2016dst	1	1	1	1	1	1.0
2	drv_ZAntr2016dst	2	2	5	2	2	2.6
3	rio_dst	3	5	2	3	3	3.2
4	dns2016km2	6	3	3	5	5	4.4
5	pane_dst	4	6	4	4	4	4.4

ESTABILIZACIÓN

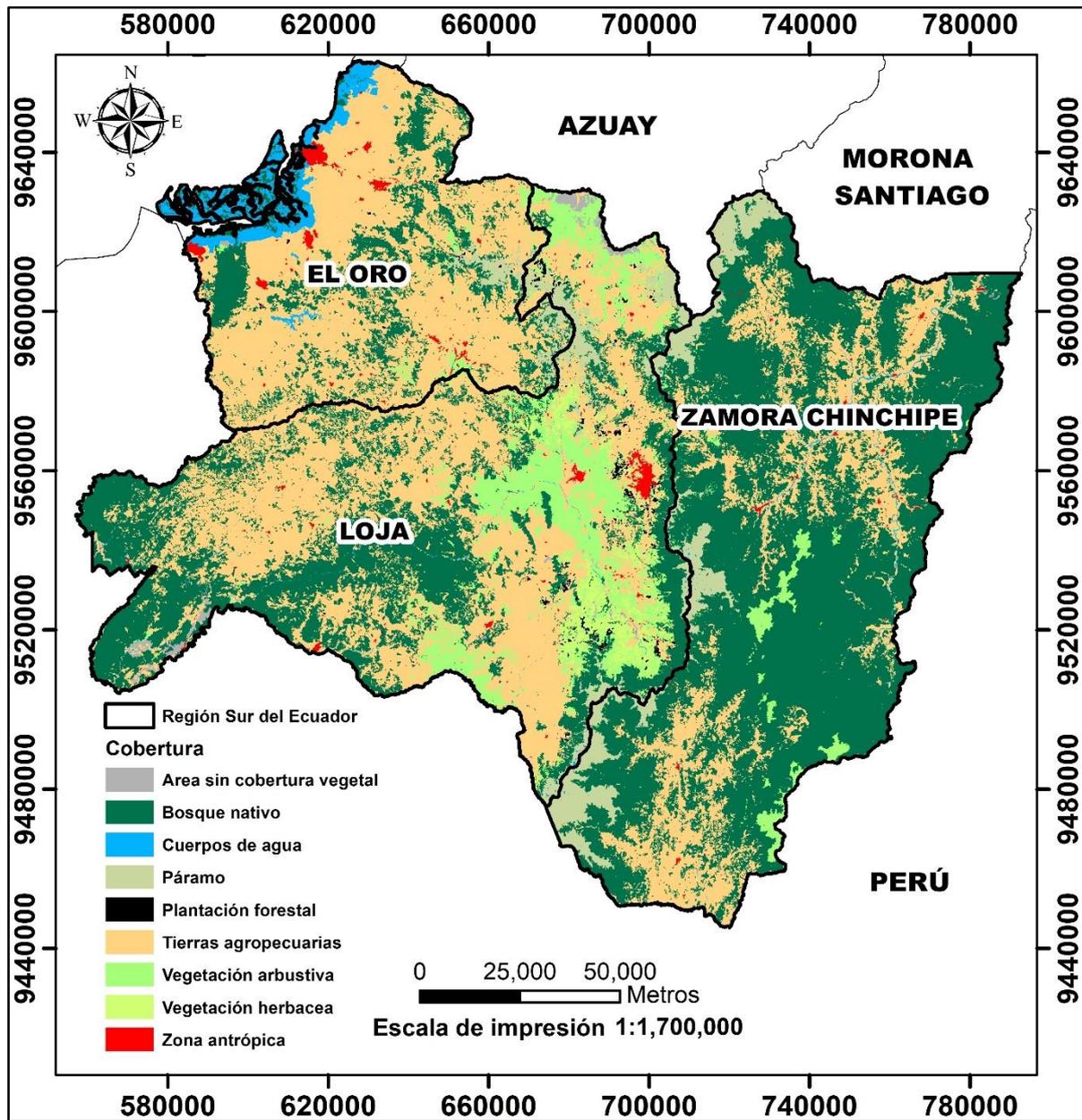
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Región Sur del Ecuador del año 2000.



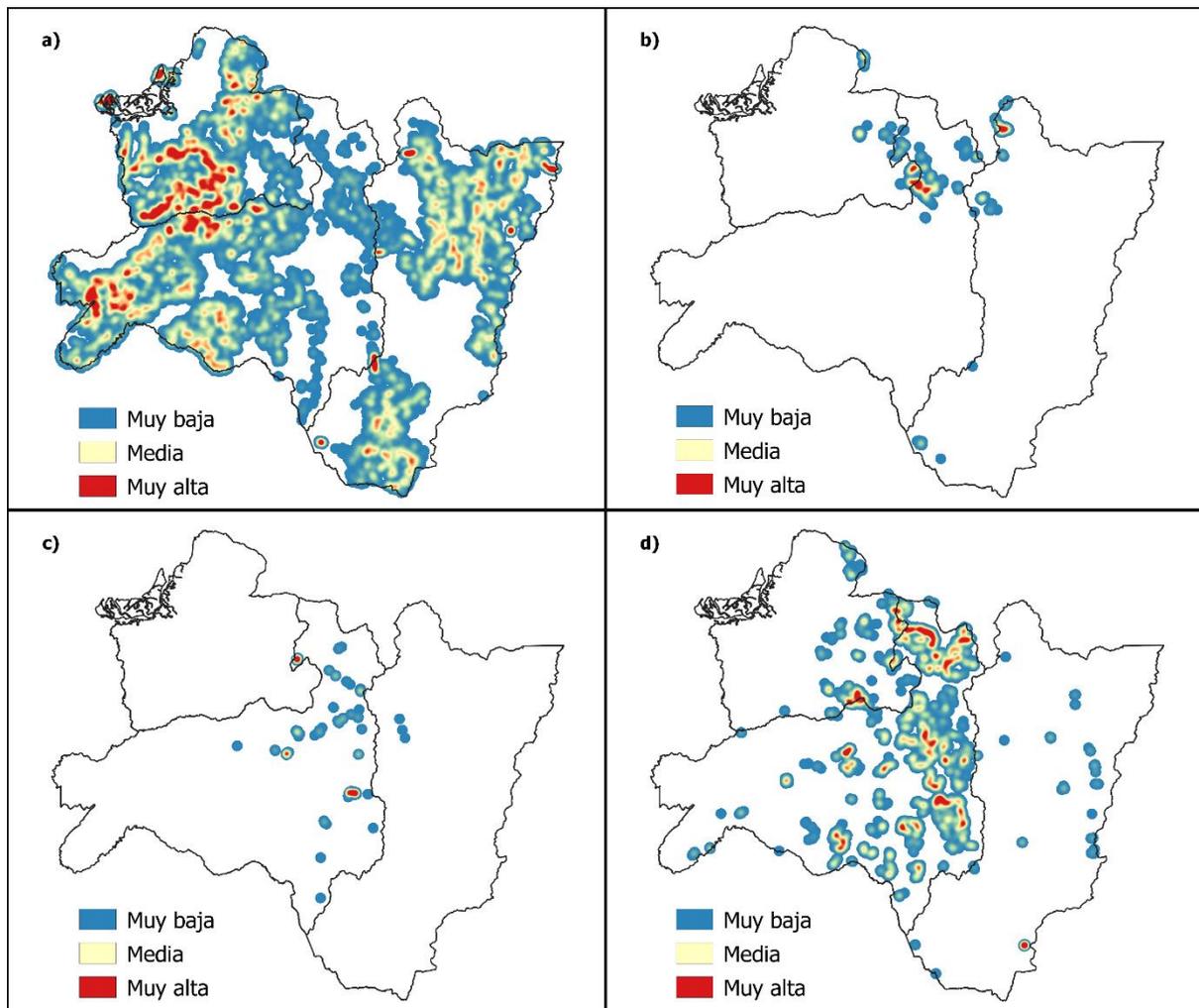
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6. Mapa de Cobertura y Uso del Suelo de la Región Sur del Ecuador del año 2016.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Probabilidades de cambio de la categoría muy alta de las coberturas naturales:
a) Bosque nativo, b) Páramo, c) Vegetación arbustiva, d) Vegetación herbácea.



Fuente: Elaboración propia.