



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DEL MATORRAL SECO MONTANO
EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, EN EL HOTSPOT
ANDES TROPICALES”

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Ipiales Guamán Bryan Alexander

Pilatasig Anrrango Ana Gabriela

DIRECTOR:

Ing. Oscar Rosales MSc.

Marzo, 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
UNIVERSIDAD ACREDITADA RESOLUCIÓN Nro. 001-073-CEAACES-2013-13
Ibarra-Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN

Ibarra, 25 marzo del 2021

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: **"PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DEL MATORRAL SECO MONTANO EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, EN EL HOTSPOT ANDES TROPICALES"**, de autoría del señor IPIALES GUAMÁN BRYAN ALEXANDER y la señorita PILATASIG ANRRANGO ANA GABRIELA estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que los autores han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

Ing. Oscar Rosales MSc.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN


.....

Ing. Mónica León MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN


.....

Ing. Gabriel Jácome MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN


Ing. Gabriel Jácome A.
DOCENTE FICAYA
.....

Misión Institucional:

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1004133847	
APELLIDOS Y NOMBRES	Ipiales Guamán Bryan Alexander	
DIRECCIÓN:	baipialesg@utn.edu.ec	
EMAIL:	Caranqui – Ibarra -Imbabura	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0959564803

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1003578398	
APELLIDOS Y NOMBRES	Pilatasig Anrrango Ana Gabriela	
DIRECCIÓN:	San Antonio -Ibarra- Imbabura	
EMAIL:	agpilatasiga@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	06-2932-970	TELÉFONO MÓVIL: 0968682435

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DEL MATORRAL SECO MONTANO EN LA CUENCA DEL RÍO

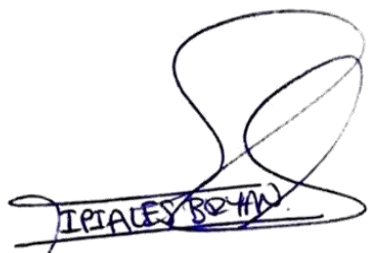
	GUAYLLABAMBA, EN EL HOTSPOT ANDES TROPICALES
AUTORAS:	Ipiales Guamán Bryan Alexander Pilatasig Anrrango Ana Gabriela
FECHA:	25 de marzo de 2021
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingenieros en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

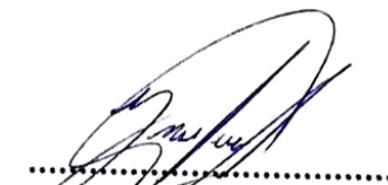
Ibarra, 25 de marzo de 2021

LOS AUTORES



.....

Ipiales Guamán Bryan Alexander
CI: 1004133847



.....

Pilatasig Anrrango Ana Gabriela
CI: 1003578398

AGRADECIMIENTO

“Todos tenemos sueños. Pero para convertir los sueños en realidad, se necesita una gran cantidad de determinación, dedicación, autodisciplina y esfuerzo”

Jesse Owens

A Dios por brindarnos sabiduría y fortaleza durante este camino de aprendizaje, por la oportunidad de permitimos compartir este trabajo y alcanzar este sueño.

Expresamos nuestro infinito agradecimiento a nuestros padres, quienes con su esfuerzo y apoyo incondicional han sido el pilar fundamental y nuestra mayor motivación para lograr culminar esta meta compartida.

De igual manera agradecemos a la Universidad Técnica del Norte y a sus docentes, por brindarnos las herramientas necesarias e impartir sus conocimientos que han contribuido en nuestra formación profesional y académica.

De forma especial agradecemos al Biol. James Rodríguez PhD y al director del trabajo de titulación Ing. Oscar Rosales MSc, por sus conocimientos, su tiempo y gestión que permitieron el desarrollo de este trabajo de investigación, a quienes expresamos nuestras infinitas gracias. Al Ing. Gabriel Jácome MSc y a la Ing. Mónica León MSc, quienes con sus conocimientos aportaron con el avance y culminación de este trabajo.

Bryan y Gabriela

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios, por haberme brindado la oportunidad de la preparación académica y humana, por iluminar mi camino y ayudarme a descubrir mi pasión y el valor de cada una de las maravillosas manifestaciones naturales de nuestra madre tierra, por enseñarme mediante el aprendizaje a descubrir el amor y el sentido de la vida.

Este objetivo cumplido también se lo dedico a mis padres Elena y José Luis, quienes gracias a su visión, compromiso y cariño me dejan la mejor herencia que para mí puede tener un hijo, la educación. A ellos, que mediante su esfuerzo, apoyo y enseñanza de buenos valores y principios me han ayudado a ser una mejor persona y a luchar por alcanzar mis sueños.

A mis hermanos Stalin, Carolina y Alisson, con quienes hemos compartido maravillosos momentos y han sido una fuente de inspiración y compromiso, mencionarles que esta meta cumplida es una muestra de que con sacrificio y constancia los sueños se hacen realidad.

A toda mi familia y maestros por toda la confianza depositada en mí a lo largo de los años, a Gaby, Alex, Ely, Andre, Galo, Mayra, Jhoselyn y de forma especial a Anitabel, valiosas personas que han sido testigos y un apoyo muy importante durante todo este recorrido de aprendizaje y materialización de esta realidad que ahora deja de ser solo una anhelada utopía. Con su apoyo puedo culminar esta importante etapa de mi vida.

Bryan Alexander Ipiales Guamán

DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por su infinito amor, por cubrirme con su manto sagrado en cada momento, derramar sabiduría y entendimiento en esta etapa de aprendizaje, por permitirme compartir esta alegría tan anhelada junto a mi familia y con las personas correctas que se presentaron en mi camino durante este recorrido.

Este triunfo va dirigido con mucho amor para mi abuelita Anita María, quien ha sido mi contención, mi principal fuente de motivación e inspiración para no rendirme y seguir adelante, a usted que me enseñó a ganarme el pan del día a base de trabajo y esfuerzo, a ti viejita que me abriste tus brazos y me acogiste como una hija más, ni todas las palabras de mundo serían suficiente para expresarle mi gratitud, abuelitos dios les pague.

A mi madre Miriam Patricia por darme la vida, mi respeto y admiración por su valentía y fuerza para salir a delante.

Este recorrido me ha permitido conocer a personas que marcaron mi vida y siempre llevare en mi corazón, Sebas, Eli, Bryan, Andre, Alex, Yaju y Edgar. Gracias amiguitos por los buenos momentos.

“Todos tenemos momentos para brillar y este es nuestro momento familia”

Con amor
Ana Gabriela Pilatasig Anrrango

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Páginas
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes o estado del arte.....	1
1.2 Problema de investigación y justificación	3
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
1.4 Preguntas directrices	5
CAPÍTULO II.....	6
REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Marco teórico referencial.....	6
2.1.1 Cambios de uso del suelo	6
2.1.2 Ecología del paisaje.....	9
2.1.3 Ecosistemas.....	11
2.1.4 Hotspot	12
2.1.5 Conservación	12
2.1.6 Conectividad ecológica	13
2.1.7 Restauración ecológica.....	13
2.1.8 Metapoblación.....	14
2.1.9 Área núcleo	15
2.1.10 Zonas buffer	16
2.2 Marco legal	16
CAPÍTULO III	19
METODOLOGÍA.....	19
3.1 Descripción del área de estudio	19
3.1.1 Clima	19
3.1.2 Ecosistemas.....	20
3.1.3 Uso del suelo.....	20

3.1.4 Hidrología	21
3.1.5 Flora y fauna	21
3.2 Métodos	22
3.2.1 Cálculo de la modificación del ecosistema matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba	22
3.2.1.1 Obtención de las imágenes satelitales	22
3.2.1.2 Preprocesamiento de imágenes	23
3.2.1.3 Clasificación supervisada	24
3.2.1.4 Índice Kappa	25
3.2.1.5 Análisis de métricas del paisaje	27
3.2.1.6 Cambios netos de uso de suelo	29
3.2.2 Identificación del cambio de los patrones espaciales del matorral seco montano y su relación con la persistencia de especies amenazadas	29
3.2.2.1 Especies amenazadas	29
3.2.2.2 Análisis de los patrones espaciales	30
3.2.3 Estrategias de manejo y conservación	30
3.2.3.1 Modelo parche-corredor-matriz	30
3.2.3.2 Análisis de la conectividad del paisaje	31
3.2.3.3 Índice de conectividad	32
3.2.3.4 Exportación del ecosistema matorral seco montano	33
3.2.3.5 Identificación de parches prioritarios	34
3.2.3.6 Diseño de corredores biológicos	35
3.2.3.7 Estrategias de manejo y conservación del matorral seco montano	37
3.2 Materiales y equipos	39
CAPÍTULO IV	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1 Cálculo de la modificación del ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba	40
4.1.1 Validación de la clasificación supervisada durante el período 1991-2017 ..	40
4.1.2 Cambios en la cobertura de paisaje	40
4.1.3 Configuración espacial del matorral seco montano	43
4.1.4 Relación espacial y temporal entre el matorral seco montano y otros tipos coberturas vegetales	45

4.1.5 Variación temporal del tamaño de parches del matorral seco montano	46
4.1.6 Cambio de uso de suelo de 1991 al 2017	48
4.2 Identificación del cambio de los patrones espaciales del matorral seco montano y su relación con la persistencia de especies amenazadas	51
4.2.1 Especies endémicas del matorral seco montano	51
4.2.2 Impactos de la disminución de hábitat	52
4.2.3 Impactos en la avifauna endémica del matorral seco montano	52
4.2.4 Impactos de la modificación del matorral seco montano en los mamíferos endémicos.....	53
4.2.5 Impactos de la fragmentación en las poblaciones de anfibios y reptiles.....	54
4.2.6 Los patrones espaciales y su incidencia en las especies florísticas.....	56
4.3 Estrategias de manejo y conservación.....	61
4.3.1 Identificación de áreas prioritarias del matorral seco montano	61
4.3.2 Estrategias manejo y conservación del matorral seco montano	67
4.3.2.1 Estrategia 1. Restauración ecológica multinivel del matorral seco montano	67
4.3.2.2 Estrategia 2. La agro-conservación como herramienta para la restauración de la matriz del paisaje	71
4.3.2.3 Estrategia 3. Educación ambiental	75
CAPÍTULO V	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1 Conclusiones	78
5.2 Recomendaciones	79
REFERENCIAS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imágenes satelitales del portal web NASA Earth Explorer.	22
Tabla 2. Tipos de cobertura vegetal de la cuenca del río Guayllabamba.....	25
Tabla 3. Rango de concordancia.....	25
Tabla 4. Métricas del paisaje usadas para el análisis de patrones espaciales del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.	27
Tabla 5. Criterios utilizados para determinar la dificultad del flujo de especies y determinar el nivel de fricción de los corredores biológicos para el ecosistema matorral seco montano.	36
Tabla 6. Principios para la restauración ecológica a nivel de paisaje.	38
Tabla 7. Materiales y equipos.....	39
Tabla 8. Matriz de contingencia.	40
Tabla 9. Tipos de cobertura entre el período de 1991 – 2017 en la cuenca del río Guayllabamba.	41
Tabla 10. Métricas de paisaje en la cuenca del río Guayllabamba	44
Tabla 11. Índice de agregación de los ecosistemas evaluados	46
Tabla 12. Matriz de transición de los cambios de cobertura y uso de suelo del periodo 1991-2017 expresado en porcentaje.....	50
Tabla 13. Vinculación entre los patrones espaciales reportados en el presente estudio y procesos ecológicos de especies amenazadas de la cuenca del río Guayllabamba.	58
Tabla 14. Índice Integral de Conectividad (dIIC) y área total para 7 parches prioritarios del matorral seco montano.	65
Tabla 15. Superficie de cada uno de los 14 corredores de la red de conectividad en el matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes del área núcleo.	15
Figura 2. Ubicación del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.	19
Figura 3. Imágenes satelitales corregidas de los años 1991, 2005 y 2017.....	24
Figura 4. Flujograma del proceso de corrección de imágenes, clasificación supervisada y validación.	26
Figura 5. Flujograma para obtener las métricas del paisaje en el software Fragstats.	28
Figura 6. Variación temporal y espacial de las coberturas de la cuenca del río Guayllabamba 1991, 2005 y 2017.	42
Figura 7. Ubicación del Parque Recreativo y Bosque Protector Jerusalem.	44
Figura 8. Cambios temporales en el índice de agregación en la cuenca del río Guayllabamba.	45
Figura 9. Variación del tamaño de parches de la cuenca del río Guayllabamba. .	48
Figura 10. Especies endémicas del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.	51
Figura 11. Importancia de los parches para la conectividad global del matorral seco montano, dIIC %.....	62
Figura 12. Importancia de cada uno de los parches del matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICintra %.	63
Figura 13. Importancia de cada uno de los parches del matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICflux %.	64
Figura 14. Importancia de cada uno de los parches de hábitat de matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICconnector %.	65
Figura 15. Corredores biológicos para asegurar la continuidad del paisaje.....	67

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

“PÉRDIDA Y FRAGMENTACIÓN DEL MATORRAL SECO MONTANO
EN LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, EN EL HOTSPOT
ANDES TROPICALES”

Trabajo de titulación

Autores: IpiALES Guamán Bryan Alexander
Pilatasig Anrrango Ana Gabriela

RESUMEN

El matorral seco montano es un ecosistema catalogado en peligro crítico debido a los cambios de uso de suelo que han modificado su estructura y composición. En el presente estudio se cuantificó la pérdida y fragmentación del matorral seco montano y la incidencia de este fenómeno en los procesos ecológicos de la biodiversidad. La investigación se desarrolló en la cuenca del río Guayllabamba, en el hotspot Andes tropicales, donde se evaluó la pérdida y fragmentación del matorral seco en los años 1991, 2005 y 2017. También se analizó el estado del paisaje mediante la aplicación de las métricas correspondientes y se identificaron especies de flora y fauna endémicas del lugar, según lo reportado en las plataformas digitales de la UICN, BIOWEB y libros rojos del Ecuador. Además, se diseñaron corredores biológicos como una propuesta de restauración de la conectividad del ecosistema. Como resultado se obtuvo que el matorral seco montano redujo su cobertura en un 2,09% durante los años de 1991, 2005 y 2017. Adicionalmente, se identificaron seis especies de flora, seis de fauna, y se diseñaron 14 corredores biológicos que conectan siete parches prioritarios identificados según el índice integral de conectividad (dIIC). Con base en los resultados obtenidos y según el modelo parche-corredor-matriz, se realizó una propuesta de restauración de la conectividad del ecosistema desde una escala de paisaje con la finalidad de conservar la biodiversidad, asegurar los procesos ecológicos, así como la calidad y provisión de los servicios ecosistémicos en el ecosistema matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.

Palabras clave: matorral seco montano, especies endémicas, procesos ecológicos, restauración de la conectividad, parche-corredor-matriz.

SUMMARY

The dry montane scrub is a critically endangered ecosystem due to changes in land use that have modified its structure and composition. This research evaluated the loss and fragmentation of the dry montane scrub and the incidence of this phenomenon in the ecological processes of biodiversity. The study was developed in the Guayllabamba river basin, in the tropical Andes hotspot, during 1991, 2005 and 2017. The landscape was analysed by the application of the corresponding metrics. Endemic species were identified according with the reports of IUCN, the BIOWEB digital platform, and the red books of Ecuador. Biological corridors were designed as a proposal to restore connectivity to the ecosystem. As results it was obtained that the dry montane scrub has reduced in 2.09% during 1991, 2005 and 2017. Additionally, six species of flora and six of fauna were identified, and 14 biological corridors were designed, which connect seven priority patches identified according to the comprehensive connectivity index (dIIC). Based on the results and according to the patch-corridor-matrix model, a proposal was made to restore the connectivity of the ecosystem from a landscape scale, to conserve biodiversity, ensure ecological processes, as well as quality and provision of ecosystem services in the dry montane scrub ecosystem of the Guayllabamba river basin.

Key words: dry montane scrub, endemic species, ecological processes, restoration of connectivity, patch-corridor-matrix.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes o estado del arte

En los últimos años la conservación de los recursos naturales a nivel global ha empezado a desarrollarse desde un enfoque a nivel de paisaje para optimizar esfuerzos de conservación de la biodiversidad y ecosistemas, tomando en cuenta las conexiones internas entre ecosistemas de un territorio y las comunidades ecológicas como un componente importante para la supervivencia de la especie humana y de las demás formas de vida (Bezaury, 2007). Por medio de mecanismos como el Convenio de Diversidad Biológica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, se ha logrado reducir las amenazas a las que se encuentran sujetos los paisajes y sus componentes, priorizando su conservación según su importancia (Bland, 2018).

En ecología el paisaje es definido como una superficie de territorio integrado por parches de hábitat totalmente heterogéneos, en donde se encuentran diferentes clases de coberturas (Arroyo-Rodríguez et al., 2017). La poca información existente sobre los procesos ecológicos de las especies dificulta los esfuerzos de dimensionar el tamaño ideal de un paisaje y su incidencia en la conservación de la biodiversidad (Brennan et al., 2002). Estos elementos albergan riqueza y abundancia de especies al ser considerados una unidad de organización biológica, además se distribuyen a lo largo de la superficie del planeta y también forman parte de la biodiversidad destacada a nivel mundial distribuida especialmente en 12 países (PNUMA, 2015).

Ecuador es considerado como uno de los países que presentan un mayor porcentaje de biodiversidad, en él se registra la presencia de dos hotspots, estos son los Andes Tropicales y el Chocó ecuatoriano. Su presencia se debe a varios componentes como: la influencia de la cordillera de los Andes; que atraviesa el territorio nacional de norte a sur; el callejón interandino; las corrientes marinas y la actividad volcánica (Bravo, 2014). La conjugación de estos componentes permite la existencia de

diferentes ecosistemas, de tal modo en Ecuador se han identificado 91 ecosistemas, de los cuales 65 son boscosos, 14 herbáceos y 12 arbustivos (Ministerio del Ambiente, 2015).

Según Vargas (2002), las zonas secas del Ecuador han sido alteradas por las actividades humanas que han modificado la estructura y composición del paisaje, acciones que han contribuido a la reducción de especies endémicas que se caracterizan por adaptarse a condiciones extremas de sequía. En estas zonas se puede encontrar especies de flora como *Opuntia bakeri*, *Opuntia soederstromiana*, *Bursera graveolens*, *Acacia macracantha* entre las más representativas de estos ecosistemas.

Los bosques secos tropicales en el país se encuentran catalogados en peligro crítico, esto debido a la transformación constante que han sufrido a través del tiempo. Hasta el momento existen documentos que registran la pérdida de biodiversidad y la cobertura vegetal original de los bosques principalmente a causa de los efectos directos e indirectos de las actividades humanas, tal es el caso de la agricultura que es la responsable de la pérdida del 75% de la cobertura de los bosques (Ferrer et al., 2019).

Según Aguirre, Kvist y Sánchez (2006), el bosque seco se encuentra distribuido en la región Costa y en los valles interandinos de la región Sierra, en las provincias del Oro, Loja, Pichincha e Imbabura, entre los 1 000 y 2 600 msnm. Además, se establece en un rango altitudinal de 0 a 1 000 msnm, se desarrollan en condiciones extremas, a una temperatura de 24°C y precipitación anual de 400 a 600 milímetros aproximadamente. En el año 2004 se inició la documentación de información sobre el bosque seco del suroccidente de Ecuador como uno de los primeros avances de investigación sobre este tipo de ecosistemas en el país, de tal manera que varios estudios reportan que el 50% de los bosques han sido altamente modificados, razón por la cual son considerados como ecosistemas frágiles e importantes.

La cuenca del río Guayllabamba es considerada uno de los principales sistemas hidrográficos del Ecuador debido a que dentro de su superficie contiene uno de los más grandes asentamientos humanos del país ante la presencia del Distrito Metropolitano de Quito, razón por la cual es notorio el acelerado proceso de expansión urbana y la fragmentación y pérdida de la cobertura forestal de importantes ecosistemas como los bosques montanos y el bosque seco ubicado dentro de esta región (FONAG, 2009).

Valencia, Cerón, Palacios y Sierra (1999), mencionan que el valle de Guayllabamba se caracteriza por la presencia de especies endémicas que se han adaptado a las extremas condiciones que presenta este ecosistema. Baquero et al. (2004), clasifican el bosque seco en matorral seco montano y espinar seco montano, los cuales se encuentran en un rango de temperatura entre 5°C y 18°C. Este ecosistema es modificado principalmente por la extracción de material pétreo y la deforestación.

Según Tucci (2009), en un período de ocho años el uso del suelo de la cuenca del río Guayllabamba, se ha modificado en 55.7 km² de la superficie total de la cuenca. Para el 2007, el uso del suelo estaba representado por pastos en un 27%, bosques y matorrales un 18% entre los porcentajes más significativos, incluyendo páramo, cultivo, zona urbana, agua, escasa cobertura y otros con porcentajes menores. Numerosos reportes investigativos demostraron, que la principal causa que genera cambio en el uso del suelo es la deforestación actividad de gran impacto realizada por el ser humano (Delgado et al., 2017).

1.2 Problema de investigación y justificación

Los bosques secos tropicales han sido alterados y modificados por la intensificación de las actividades antrópicas como la extracción de especies forestales, la agricultura, ganadería y la construcción de infraestructura, acciones que han cambiado por completo la cobertura natural del bosque incrementando la fragmentación, pérdida del paisaje y la vulnerabilidad de las especies, generando alteración de los procesos ecológicos (Acosta y Rodríguez, 2015).

Según el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (2009), los cambios de uso de suelo en la cuenca del río Guayllabamba, han alterado la estructura del bosque seco, se ha identificado que la deforestación y fragmentación son las principales actividades que causan pérdidas significativas del hábitat natural.

Abad (2020), menciona que la disminución del tamaño e incremento del número de parches, originada por el avance de la frontera agrícola, ha aumentado considerablemente el efecto borde generando alteración en la composición de especies. Gran parte de este ecosistema ha sido reemplazado por infraestructura debido al aumento de la masa poblacional y creación de vías de comunicación. El cambio extremo de uso del suelo ha modificado los patrones espaciales del bosque seco de la cuenca del río Guayllabamba, alterando los procesos ecológicos de las especies, en especial de las que se encuentran amenazadas, incrementando su riesgo de extinción (Pineda, 2011).

El presente estudio forma parte del proyecto “Planificación para la sustentabilidad ambiental del territorio Norte del Ecuador”; el cual contribuirá con información clave sobre el estado actual en el que se encuentra el bosque seco, el cambio de uso de suelo y la afectación en los procesos ecológicos de especies de flora y fauna amenazadas que se encuentran en la cuenca del río Guayllabamba. Además, con los resultados obtenidos se propondrán estrategias que contribuyan a la preservación, protección y conservación, para evitar la pérdida total del ecosistema.

Mediante esta investigación se desea aportar con el cumplimiento del objetivo 3 del Plan Nacional “Toda Una Vida”, en el cual se garantizan los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; de tal forma que se muestra la importancia de los ecosistemas, y se asegura la conservación y preservación de la naturaleza (Plan Nacional de Desarrollo, 2017).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la pérdida y fragmentación del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba durante 1991, 2005 y 2017, con el fin de proponer estrategias de manejo y conservación para este ecosistema.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar los impactos del cambio de uso del suelo en el ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.
- Analizar la relación entre el cambio en los patrones espaciales del matorral seco montano y la persistencia de especies amenazadas.
- Proponer estrategias de manejo y conservación del ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.

1.4 Preguntas directrices

¿Cuáles son los impactos del cambio de uso del suelo en matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba?

¿Cómo los cambios de los patrones espaciales del matorral seco montano pueden influenciar la persistencia de especies amenazadas?

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Marco teórico referencial

2.1.1 Cambios de uso del suelo

El cambio de uso de suelo es definido como la transformación de ecosistemas forestales nativos debido a las actividades antrópicas implementadas por la intervención humana (Arriaga, 2009). Es ocasionado principalmente por las actividades que realiza el ser humano, las cuales cambian la cubierta natural del suelo, causando su degradación (Velásquez, Bocco y Siebe, 2014). El crecimiento poblacional ha inducido el avance de la frontera agrícola, acción que genera cambio en el uso del suelo por la intensificación de las actividades que superan la resiliencia del paisaje, además el cambio de uso del suelo es una de las principales causas que contribuyen al cambio climático (Pineda, 2011).

Los cambios en los ecosistemas terrestres son generados por la intervención humana y se relacionan con tres procesos: el cambio de la cobertura vegetal debido a la urbanización y deforestación, la degradación del suelo por erosión, salinización y la intensificación del uso de suelo por la aplicación de fertilizantes; estos factores que cambian el uso de suelo disminuyen el área de ocupación de especies ya que se modifica drásticamente los patrones de distribución y se altera la estructura y función del ecosistema (Farfán et al., 2020).

- **Deforestación**

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (2010), la deforestación es la pérdida masiva de la cobertura forestal ocasionada por actividades antrópicas o efectos naturales, las principales causas de la deforestación son la expansión de la frontera agrícola y la explotación maderera, ya que a través de estas actividades las poblaciones cercanas a los bosques

encuentran una alternativa de ingresos económicos, dejan como resultado el cambio de uso de suelo y la alteración de la estructura natural del paisaje.

A nivel mundial se estima que anualmente la pérdida de cobertura forestal es de alrededor de 17 millones de hectáreas (Garciglia, 2014). Debido a lo anterior las especies presentes en dichos hábitats forestales no tienen la capacidad de adaptación a estos cambios repentinos. Algunos estudios reportan que el 70% de animales y plantas no logran sobrevivir a la deforestación, lo que incrementa el número de especies amenazadas (National Geographic, 2010). Según Sierra (2013), en Ecuador durante de un período de 18 años la cobertura forestal natural presentó una dinámica de reducción, tiempo en el cual se estima una pérdida de aproximadamente 19 000 km², por lo tanto, la disminución de la dicha superficie fue de 8,9% con relación al área total de la cobertura de bosques a nivel nacional.

Además, dentro de la cuenca del río Guayllabamba durante el período de 1987-2017 se registra un avance de la zona urbana del 15 al 39% respectivamente sobre la superficie donde se localiza el ecosistema bosque seco debido al crecimiento poblacional en la zona, esta dinámica concuerda con la percepción social y con la modificación del suelo en función de los nuevos requerimientos de los habitantes (Abad, 2020).

- **Fragmentación**

La fragmentación es considerada como la principal causa de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial, porque conduce al aislamiento de las poblaciones e incrementa el índice de extinción (Gómez et al., 2005). La fragmentación del paisaje está directamente relacionada con el desarrollo de la infraestructura, agricultura y la expansión urbana, actividades que reducen la conectividad entre hábitats disminuyendo la posibilidad de migración, dispersión y reproducción de las especies (Herrera y Díaz, 2013).

Otros autores mencionan que la fragmentación es la división de la cobertura vegetal en numerosos parches relativamente más pequeños. Mientras el tamaño de los parches decrece la densidad de especies va a ser menor, además, es uno de los factores que influye en la disminución de la biodiversidad, se relaciona directamente con la pérdida y aislamiento de hábitats, ocasiona un alto nivel de vulnerabilidad en la flora y fauna (Otavo y Echeverría, 2017). La conectividad del paisaje forestal se ve limitada por la fragmentación, al reducirse la movilidad de las especies se reduce la capacidad de reproducción, en consecuencia, los procesos ecológicos que realizan las especies se ven alterados al no ser finalizados (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2011).

- **Degradación**

La degradación forestal es el resultado de la modificación al que se exponen los bosques, causando cambio en la estructura y alteración directa a las funciones y los procesos del ecosistema forestal (Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Bosques y Medio Ambiente, 2014). Según Lanly (2003), la degradación representa la disminución de los servicios ecosistémicos que proveen los bosques, este fenómeno se deriva de las actividades humanas y eventualidades naturales, y en efecto existe incidencia en la funcionalidad, los procesos ecológicos, elementos y la calidad del bosque. Son variaciones permanentes que en su mayoría pueden ser irreversibles y afectan significativamente a la capacidad de regeneración natural (Greenheck, 2005). Según Armenteras, Gonzales, Retana y Espelma (2016), la degradación es más susceptible en bosque secos, puesto que son considerados como ecosistemas frágiles y presentan una baja capacidad de resiliencia.

Romero et al., (2009), mencionan que la degradación de los paisajes arremeten directamente con la estructura y función de los ecosistemas por medio de la desaparición o degradación de los ecotopos, la cual puede ser evaluada a través de los cambios que presenta el territorio en tiempo y espacio, además comentan que existen ciertos hábitats que se encuentran en estado corregible mediante la

aplicación de estrategias acertadas que comprometan a las entidades locales, nacionales y las comunidades para restablecer la conectividad entre parches.

2.1.2 Ecología del paisaje

En 1810 el naturalista Humboldt empleó por primera vez el término de paisaje, definiéndolo como una superficie de tierra que está compuesta por varios elementos. Sin embargo, la ecología del paisaje forma parte de una institución impulsada por el geógrafo K. Troll, que se fortalece en la década de los 50 y 60 (Etter, 1990). Según Echeverría, Bolados, Rodríguez, Aguayo y Premoli (2014), la ecología del paisaje se ha desarrollado como una ciencia multidisciplinaria, que a través del tiempo ha logrado vincular tanto procesos ecológicos y patrones espaciales del paisaje. Esta ciencia surge de la necesidad de conocer la estructura y funcionalidad del territorio a niveles más extensos.

- **Paisaje**

Según Forman y Godron (1986), el paisaje forma parte de los niveles de organización biológica, considerado a nivel jerárquico más incluyente que el ecosistema. Se lo define como una unidad territorial que se compone por varios elementos heterogéneos denominados parches, pueden ser de diferente tamaño, estos agrupan una diversidad de hábitats, vegetación de diferente tipo y suelos destinados a diferentes actividades y usos.

Dentro del paisaje existen una relación de contraste entre elementos bióticos que incluye flora y fauna con los componentes abióticos que integran el entorno donde se desarrollan todas las formas de vida (Troll, 2010). Investigaciones realizadas indican que los paisajes que no han sido alterados en gran magnitud aún conservan el 60% de su cobertura vegetal natural (Pérez, Ezkurdia y Bilbao, 2015).

- **Atributos del paisaje**

Dentro del paisaje existen tres atributos que otorgan características propias para poder diferenciar un paisaje de otro. El primer atributo son los patrones espaciales los cuales integran la composición y la estructura, el primero hace referencia a la cobertura vegetal, al suelo y sus tipos y la calidad, mientras que la estructura o configuración es entendida como la forma en que se distribuyen los elementos o parches dentro del paisaje. El segundo atributo hace referencia a los procesos del paisaje, se los define como el flujo de energía entre organismos vivos que se da a través de sus interacciones. El último atributo del paisaje es el cambio del paisaje, éste es constante y guarda una relación muy importante con los procesos y patrones espaciales. Las actividades antrópicas que se implantan en un paisaje generan alteraciones de los atributos y múltiples consecuencias para sus elementos (Echeverría, Bolados, Rodríguez, Aguayo, y Premoli, 2014).

- **Escala espacial y heterogeneidad**

García (2006), menciona que la escala espacial es la magnitud en la que se presenta un proceso ecológico dentro de la superficie terrestre, por lo tanto, los patrones del paisaje y los procesos ecológicos se encuentran relacionados directamente y pueden ser descritos mediante la escala espacial. Además, mediante la interpretación del paisaje desde una escala adecuada se conoce el estado de los organismos en función de los atributos de este, en donde se conjugan características propias de cada elemento del paisaje y a la vez representa uno de los objetivos que tiene esta idea de la ecología (Fernández y Piñero, 2008).

- **Métricas del paisaje**

Las métricas del paisaje constituyen una herramienta de estudio de la estructura y composición del paisaje, existen una variedad de métricas según el requerimiento del investigador. Generalmente para la obtención de los resultados de las métricas se necesita un apoyo previo de los sistemas de información geográfica. Por lo tanto, mediante la elaboración de mapas temáticos se cuantifica el estado de un

paisaje con datos numéricos, es por esto que se conoce la evolución y cambios de un paisaje, y a su vez permite realizar comparaciones y posteriormente la planificación y ordenamiento sustentable del territorio (Aguilera, 2010).

2.1.3 Ecosistemas

El ecosistema es una unidad de organización biológica en donde se produce el flujo de energía entre los organismos bióticos mediante la relación entre los eslabones de la pirámide alimenticia, todo este proceso dentro del medio físico y las condiciones que presenta el ecosistema. Los ecosistemas son áreas delimitadas por características específicas como biológicas, físicas y ecológicas, a través de las cuales estos pueden ser clasificados según su composición natural en distintas unidades ambientales (Sáenz y Onofa, 2005). Según el Ministerio del Ambiente (2015), hasta el momento en Ecuador se han identificado un total de 91 ecosistemas, de los cuales 65 son boscosos, 14 herbáceos y 12 arbustivos.

- **Bosque seco**

Según Uslar, Mostacedo, y Saldias (2004), los bosques secos al encontrarse altamente amenazados por desastres naturales y actividades humanas son considerados como ecosistemas frágiles, por consiguiente, su capacidad de regeneración natural es muy lenta con respecto a la deforestación e incendios. En Ecuador el bosque seco se distribuye en la región Costa y Sierra, en la provincia del Oro, Loja, Pichincha e Imbabura, entre los 1 000 – 2 600 msnm, es un ecosistema poco estudiado y el más intervenido al estar ubicado en zonas rurales donde son de gran importancia económica para la subsistencia de las comunidades que se dedican a la sustracción de madera. En el año 2004 se inicia el estudio de estos ecosistemas en el suroccidente de Ecuador con la finalidad de conservar estos ecosistemas que poseen una biodiversidad única (Aguirre, Kvist y Sánchez, 2006). Estudios reportan que tan solo el 30% de bosque seco total perteneciente a Ecuador se encuentra intacto (Lozano, 2002).

2.1.4 Hotspot

Según Letelier (2005), los hotspot o puntos calientes de biodiversidad son zonas donde se encuentra la máxima concentración de especies endémicas, sin embargo, son espacios que en los últimos años han perdido gran cantidad de su hábitat natural. Por tal razón se consideran como prioridad global para la conservación, y hasta el momento se han identificado 34 hotspot en todo el mundo. Otras investigaciones aseguran que actualmente existen 35 hotspot estos representan el 2,3% de la superficie total a nivel mundial (Critical Ecosystem, 2015).

- **Hotspot Andes Tropicales**

Los Andes Tropicales es uno de los hotspot de biodiversidad, que comprende la cordillera de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina y Chile, se caracteriza por su riqueza de especies y alto número de plantas endémicas, que se encuentran amenazadas debido a la reducción de su hábitat natural en un 70%. Este hotspot se encuentra en un rango de elevación entre 500 y 6 000 msnm, conformada por pendientes, quebradas y valles sobresalientes, la agrupación de estas y otras características físicas y geológicas ha dado como resultado una gran variedad de vegetación que se agrupa y clasifica en los siguientes ecosistemas: páramo, bosque montano siempre verde, bosque seco montano, matorral xerofítico. Sin embargo, existen otras clasificaciones donde se identifican alrededor de 160 tipos de ecosistemas. Ecuador “A pesar de su tamaño relativamente pequeño, tiene 79 áreas clave para la biodiversidad, que cubren el 35 por ciento de la porción del hotspot del país” (Critical Ecosystem, 2015), de las cuales 28 se destacan por su alta biodiversidad.

2.1.5 Conservación

La conservación al ser un término integrador puede tener diferentes significados, en cuanto a la conservación ambiental hace referencia al uso sostenible que el hombre le da a los recursos naturales. Este uso tiene como objetivos preservar, proteger, recuperar y restaurar los paisajes, además asociar estos aspectos a la

investigación y educación para conseguir un manejo responsable de los elementos y servicios ecosistémicos que proporciona la naturaleza (Vázquez y Ulloa, 1997).

- **Modelo Parche-Corredor-Matriz**

Según Lindenmayer y Franklin (2002), este es un modelo en donde se representa la estructura del paisaje como una variedad de mosaicos de corredores y parches de cobertura vegetal en donde se observa la calidad y los tipos de formaciones vegetales. Esta representación es importante para conocer las distintas condiciones que se presentan en el paisaje, desde un análisis que integra la relación de los procesos ecológicos entre los parches o hábitats, dentro de la matriz que refleja una composición distinta a la del hábitat. Este conocimiento permite entender la adaptación de las especies a aquellos escenarios en constante evolución.

2.1.6 Conectividad ecológica

La conectividad del paisaje tiene dos componentes claves, la conectividad estructural que hace referencia a los elementos físicos que componen el paisaje y la conectividad funcional que se refiere al comportamiento de los individuos en el medio físico, básicamente la conectividad tiene el propósito de facilitar la dispersión y flujo de genes a través del desplazamiento de especies con el fin de estabilizar a los ecosistemas (Rico, 2017). Según Gurrutxaga (2011), la conexión entre parches del paisaje se lleva a cabo mediante corredores naturales que aseguran la continuidad del paisaje, además permiten el desplazamiento de los organismos y evita de forma directa la pérdida de biodiversidad.

2.1.7 Restauración ecológica

Según la Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (2004), es “el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado, dañado, o destruido” por factores externos como internos. Este proceso se desarrolla con el objetivo de recuperar la estructura, composición y funcionalidad de los ecosistemas, conservar el patrimonio natural y enfatizar en el desarrollo sostenible (Mola et al., 2018).

Existen dos tipos de restauración: la restauración pasiva o sucesión natural donde el ecosistema se recupera por si solo siempre y cuando no existan barreras que impidan su regeneración, en cuanto a la restauración activa o asistida se aplica cuando los ecosistemas han perdido en su totalidad su capacidad de regeneración y por ende necesitan la intervención humana para asegurar el proceso de recuperación. El éxito de la restauración ecológica radica en el compromiso de las comunidades con las organizaciones locales ya que es un proceso a largo plazo y es necesario garantizar su continuidad mediante su colaboración e intervención (Vargas, 2011).

2.1.8 Metapoblación

Las metapoblaciones están integradas por un grupo de subpoblaciones que ocupan áreas y parches de paisajes fragmentados con “patrones dinámicos de extinciones locales, recolonizaciones, flujo genético y migración entre subunidades” que detienen la extinción de la metapoblación, varias poblaciones logran mantenerse en el tiempo no solo por la reproducción, sino por la migración de especies entre subpoblaciones que les permite estar conectadas, esta interacción se conoce como metapoblaciones (ecotono, 1996).

El modelo de Levins (1969) asegura la persistencia de la especie en los parches a través del tiempo tomando en cuenta dos factores: la tasa de colonización de parches vacíos y la tasa de extinción de parches ocupados el cual se basa en cinco supuestos: la extinción es inevitable por ende la supervivencia de una especie depende netamente de la colonización, todos los parches tienen la posibilidad de ser colonizados, la colonización es directamente proporcional a la fracción de parches ocupados, las poblaciones pueden extinguirse y la extinción de las poblaciones es independiente.

La estructura metapoblacional se divide en distintos grupos: metapoblación clásica que agrupa a parches de similar tamaño, forma y distancia, donde básicamente la extinción y formación de nuevas poblaciones es frecuente; metapoblación isla-

continente la cual se desarrolla a través de una población grande denominada “continente” que sirve como fuente proveedora de individuos a los parches adyacentes de menor tamaño; y las metapoblaciones fuente-sumidero en donde la población fuente contiene individuos y puede mantenerse así mismo, además de proporcionar individuos a las poblaciones sumidero (Valverde, 1999).

2.1.9 Área núcleo

El área núcleo comprende la parte interna del parche la cual no se encuentra afectada directamente por los bordes ni los factores externos. El tamaño del área núcleo de un parche se determina a través del efecto borde y del tamaño y forma del parche (Figura 1). Además, la complejidad de la forma del parche incide en el tamaño del área núcleo, es decir mientras más compleja sea la forma menos área núcleo tendrá el parche, a diferencia de las formas uniformes (Ortega, 2007).

Según Bennet (1999), “las áreas núcleo forman las fuentes de dispersión y el resto de los componentes del paisaje van a incrementar o disminuir los flujos de materia y energía por el paisaje”, además este autor menciona que dos áreas núcleo pueden ser conectadas siempre y cuando existan tres elementos del paisaje como: permeabilidad del mosaico, la existencia de los corredores y la presencia de puntos de paso.

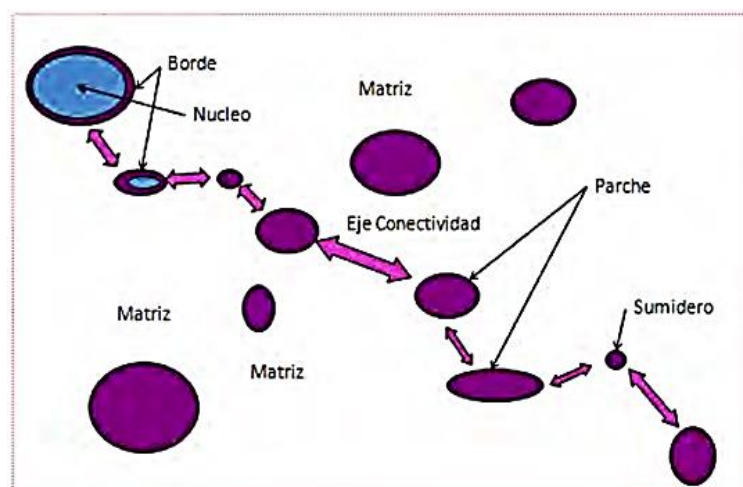


Figura 1. Componentes del área núcleo.
Fuente: Ortega, 2007

2.1.10 Zonas buffer

Las zonas buffer o zonas de amortiguamiento son franjas de vegetación que rodean al paisaje e incide en los procesos ecológicos, proveen bienes y servicios, se las conoce como vías verdes, cortinas rompevientos y corredores para fauna. El objetivo primordial de estas zonas es la protección de recurso suelo, optimizar la calidad del aire, agua entre otros recursos (Bentrup, 2008).

Las zonas de amortiguamiento en las áreas protegidas son imprescindibles porque reducen las amenazas de intervención o modificación sobre estos ecosistemas, este cinturón ecológico que rodea el área permite la subsistencia de flora y fauna que se encuentra fuera del área natural protegida. Considerada como una herramienta de apoyo para la conservación y desarrollo, donde las actividades incompatibles a la conservación son restringidas con la finalidad de asegurar la protección, además permiten mejorar la calidad del ambiente y favorece a las comunidades cercanas mejorando su calidad de vida (Blanes et al., 2003).

2.2 Marco legal

La Constitución de la República del Ecuador del año 2008, como la principal normativa legal nacional, manifiesta de forma implícita el manejo sustentable del patrimonio natural, para alcanzar un desarrollo que prioriza el respeto por la naturaleza como elemento sujeto de derechos. Además, en el título II, capítulo segundo, de los derechos del buen vivir, el Art. 14 y 15 hacen mención del derecho de la ciudadanía a vivir en un ambiente sano, el aprovechamiento responsable de los servicios ecosistémicos para satisfacer las necesidades y la participación activa en la preservación y conservación de los ecosistemas.

Según el capítulo séptimo, de los derechos de la naturaleza, mediante el Art. 71,72 y 73 se indica que el estado ecuatoriano es responsable de implementar estrategias y medidas de conservación para evitar la pérdida de la riqueza natural, de esta manera se fortalece el cuidado de la Pacha Mama, se destaca la obligación de restauración de ecosistemas degradados, y el respeto hacia el medio ambiente desde

una visión integral, que asegure mantener el equilibrio ecológico de los diferentes niveles biológicos, así como también la facultad de la sociedad para exigir al estado el cumplimiento de los derechos y deberes de lo establecido en la normativa legal en materia ambiental.

El Ecuador según el título VI, capítulo primero que corresponde al régimen de desarrollo, en el Art. 276 numeral 4, debe ser quien impulsé la conservación y recuperación de la naturaleza para garantizar el acceso equitativo y permanente a los servicios ecosistémicos derivados de los componentes naturales, y así alcanzar la calidad de vida de la población.

Además, el Estado ecuatoriano reconoce a los bosques tropicales secos y húmedos, como ecosistemas frágiles y amenazados, tal como le menciona el título VII, capítulo II en el Art. 406, el cual hace referencia al deber estatal de regular el aprovechamiento y establecer limitaciones y métodos de restauración en los ecosistemas frágiles presentes dentro del territorio nacional.

En el contexto internacional, el Ecuador ha formado parte de varios convenios que destacan la importancia de la biodiversidad a nivel mundial para el desarrollo de la sociedad, así como también la necesidad de establecer mecanismos de conservación y restauración ante los efectos antrópicos, y así garantizar la provisión de servicios ecosistémicos a través del tiempo. Uno de ellos es el Convenio de Diversidad Biológica firmado en el año 1992, el cual en el Art. 1 establece el compromiso de los estados para conservar la riqueza biológica presente en sus territorios, el uso responsable y el acceso equitativo a los servicios provenientes de la biodiversidad. Además, según el Art. 12 el estado debe incentivar al desarrollo de la investigación como herramienta para llevar a cabo la conservación y el manejo sustentable de la biodiversidad (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

El Ecuador consciente de la importancia y del valor incuantificable de sus recursos naturales, elaboró el Código Orgánico del Ambiente, publicado en el año 2017 que se encuentra en vigencia desde el año 2018. Este instrumento legal tiene relación

con este estudio debido a que tanto en el Art. 1,3 y 5 indican la importancia de los derechos y el respeto por la naturaleza, la conservación y el manejo responsable del patrimonio natural para mantener el equilibrio ecológico de los ecosistemas, con especial énfasis en los ecosistemas categorizados frágiles, esto mediante incentivos y estrategias de conservación y restauración de los espacios naturales desde una visión integradora, y así garantizar el derecho a la ciudadanía de vivir en un ambiente sano. Además, hay que destacar que la importancia de implementar criterios ambientales en la planificación del territorio como lo establece el Art 6, que adicionalmente menciona la competencia de la autoridad ambiental nacional de generar lineamientos para el ordenamiento en función del conocimiento de los procesos naturales.

Finalmente, el Estado ecuatoriano dentro de su planificación destaca lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo Toda una Vida vigente en el presente período de gobierno (2017-2021) dentro del eje 1, su objetivo 3, el cual resalta el compromiso gubernamental de manejar la biodiversidad nacional desde un enfoque sustentable, estableciendo un compromiso de garantía de la provisión de servicios ecosistémicos para las presentes y futuras generaciones. Por lo tanto, se refleja el deseo de un trabajo conjunto y coordinado desde los diferentes niveles de gobernanza para incluir en la planificación las estrategias de conservación de los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la cuenca del río Guayllabamba, localizada en la región interandina norte del Ecuador, la cual se encuentra distribuida en las provincias de Imbabura (Otavalo y Cotacachi) y Pichincha (Cayambe, Distrito Metropolitano de Quito, Mejía, Pedro Moncayo y Rumiñahui), la cual posee una superficie total de 6 812,52 km². El ecosistema matorral seco montano se encuentra dentro de la cuenca del río Guayllabamba, el cual cuenta con una superficie de 274,72 km² (Figura 2).

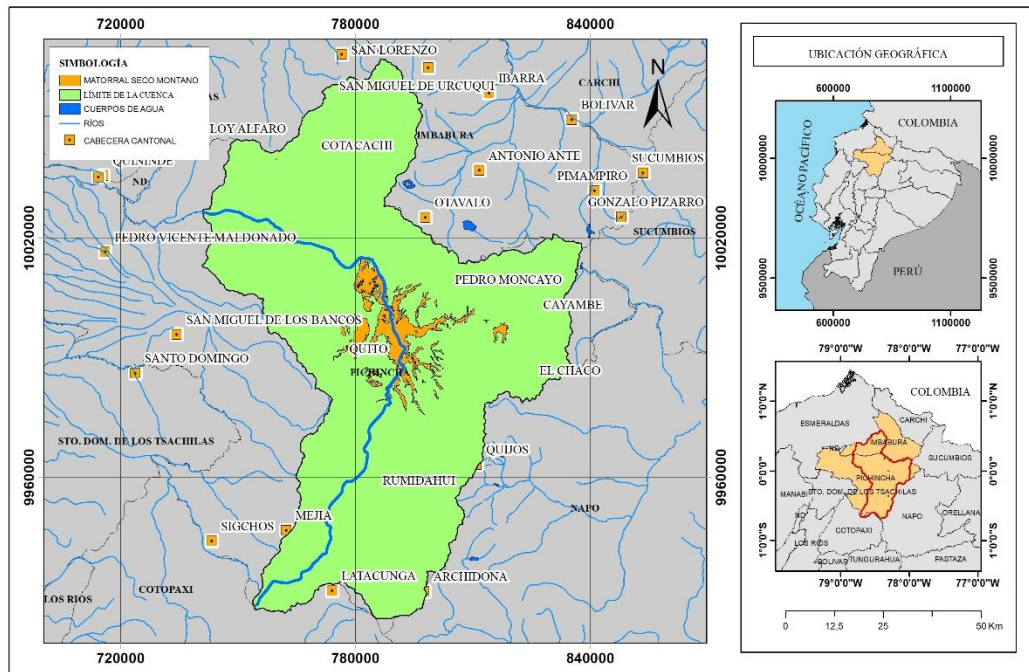


Figura 2. Ubicación del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.

3.1.1 Clima

La cuenca del río Guayllabamba presenta una altura máxima de 5 893 msnm y una mínima de 870 msnm en su punto más bajo (Quilachamin, 2016). El Fondo para la

Protección del Agua (2009) menciona que en la cuenca del río Guayllabamba se encuentran distintos tipos de clima, entre los que se encuentran:

- **Clima tropical semiárido temperado:** presenta una temperatura que varía entre los 16 a 24 °C, con una precipitación que oscila entre 400 y 700 mm/año, generalmente estas condiciones son propias de un rango altitudinal de entre los 1 000 a 2 000 msnm.
- **Clima mesotérmico semihúmedo y seco:** situado a una altura de 2 000 a 3 000 msnm con una temperatura desde los 12 a 20 °C, además, rangos de precipitación que varían desde los 1 000 a 1 600 mm/año.
- **Clima ecuatorial de alta montaña:** caracterizado por situarse sobre los 3 000 msnm, por lo tanto, la temperatura se encuentra bajo los 8 °C y la precipitación es de 1 000 a 1 600 mm/año.

3.1.2 Ecosistemas

En la cuenca del río Guayllabamba, se distinguen diversos ecosistemas, esta variedad se origina debido a las características físicas que posee la zona, de tal manera que favorecen al desarrollo de vegetación arbustiva, bosques siempre verdes, páramos, herbazales y bosques secos entre los más representativos, que se distribuyen a lo largo de toda la cuenca. Según Tucci (2009), los bosques secos y páramos son considerados como ecosistemas frágiles, por ese motivo necesitan mayor énfasis en su preservación y conservación, debido a que han sido los más afectados por la intensificación de las actividades agrícolas.

3.1.3 Uso del suelo

El uso del suelo en la cuenca del río Guayllabamba, ha sido modificado por las actividades antrópicas, en la parte alta de la cuenca existen amenazas que afectan al paisaje forestal como la extracción de material pétreo, la tala, destrucción de bosques y la agricultura constituyen las actividades más representativas encontradas en la cuenca y en sitios donde está presente el matorral seco montano. Desde un análisis general el páramo es la cobertura vegetal que presenta un mayor porcentaje

de la superficie de la cuenca con un 18%, mientras que los nevados ocupan el menor porcentaje con un 0.5% (Fondo para la Protección del Agua, 2009).

3.1.4 Hidrología

La cuenca del río Guayllabamba forma parte del sistema hídrico del río Esmeraldas que desemboca en el Océano Pacífico. Está ubicada dentro de los territorios de la zona centro - norte del Ecuador, además sus principales tributarios captan el agua de la zona andina, de los nevados Cayambe, Antisana, Illiniza y Cotopaxi, razón por la cual dentro de esta cuenca se identifican pisos altitudinales incluso sobre los 5 000 msnm. Por otra parte, debido al sistema montañoso situado dentro de esta superficie, es relevante la presencia de pendientes de diferentes rangos, desde bajas hasta muy fuertes. En base a estas características se ha determinado una pendiente media del 35% para este territorio. Su principal afluente es el río Guayllabamba, el cual capta el agua del volcán Illiniza y conforme avanza su cauce capta el caudal del río San Pedro y del Pita (Gordón, 2015). Además, esta unidad hidrográfica abarca una superficie de drenaje de 8 239 km² caracterizada por un promedio de precipitación que varía entre 38 y 205 mm mensuales. Es importante mencionar la longitud de su cauce de 312,6 km. Adicionalmente destacar que esta cuenca es considerada de cuarto nivel (Carvajal, 2016).

3.1.5 Flora y fauna

Según el Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (2009), dentro de la cuenca del río Guayllabamba existe una alta biodiversidad debido a la variedad climática que presenta este territorio, por lo tanto, dentro de la superficie de la cuenca existen varias especies de flora y fauna de diferentes ecosistemas como polylepis, pajonales, anfibios y lobos de páramo, árboles de gran tamaño, epifitas, musgos y murciélagos en el bosque montano alto y el bosque húmedo, entre otros. En el caso del bosque seco se encuentra dominado por la presencia de vegetación xerofítica, las cuales tienen espinas, y muchas de las especies adaptadas a este ecosistema no presentan gran tamaño como es el caso de algunas leguminosas y las distintas variedades de cactáceas. Debido a sus complicadas condiciones existen pocas

especies adaptadas a este ecosistema como el caso de la guagsa (*Stenocercus guentheri*) considerada una de las especies de reptiles endémicas.

3.2 Métodos

A continuación se detalla la metodología que se implementó para la evaluación de la pérdida y fragmentación del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba, a partir de la clasificación de imágenes, cálculo las métricas del paisaje, revisión bibliográfica de especies endémicas y amenazadas situadas en el área de estudio, para finalmente proponer estrategias de conservación, lo cual se organizó en fases por cada objetivo planteado.

3.2.1 Cálculo de la modificación del ecosistema matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba

3.2.1.1 Obtención de las imágenes satelitales

Se adquirió las imágenes satelitales Landsat con una resolución de 30 x 30 m del portal web de la NASA Earth Explorer correspondiente a los años de 1991, 2005 y 2017, se consideró imágenes con un porcentaje de nubes máximo de 10% debido a que un alto porcentaje de nubosidad en la imagen interfiere en la información del espectro electromagnético y no permite obtener información confiable. Para el año de 1991 se utilizó el sensor Landsat 5 TM, para el 2005 el sensor Landsat 7 ETM+ y 2017 el sensor Landsat 8 OLI/TIRS (Tabla 1) (Moreno, 2015).

Tabla 1. Imágenes satelitales del portal web NASA Earth Explorer.

Tipo de imagen	Código de imagen satelital	Fecha
Landsat 8 OLI/TIRS	LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1	Octubre 2017
Landsat 7 ETM+	LE07_L1TP_010060_20050709_20170113_01_T1	Julio 2005
Landsat 5 TM	LT05_L1TP_010060_19911015_20170126_01_T1	Julio 1991

3.2.1.2 Preprocesamiento de imágenes

Se realizó el preprocesamiento de las imágenes satelitales mediante el software ENVI 4.5 (Figura 3), el cual permitió realizar correcciones georreferenciales, atmosféricas y topográficas, con la finalidad de mejorar la calidad de las imágenes y obtener resultados más precisos. Posteriormente se procedió a la elaboración de los mapas de uso de suelo y cobertura vegetal.

- **Georreferenciación**

Este proceso permite dar validez a las imágenes satelitales, es necesario realizar una corrección geométrica de los píxeles presentes en las imágenes tomando como guía los sistemas de georreferenciación y sus respectivas coordenadas. Se usó el sistema de coordenadas UTM que contiene 60 zonas, el área de estudio se encuentra en la zona 17S (Wainschenker, 2008).

- **Corrección atmosférica**

Los sensores satelitales tienen la funcionalidad de capturar información de la cobertura terrestre, mediante el proceso de corrección atmosférica se puede realizar la evaluación y eliminación de las distorsiones de los datos de radiancia producidos por la atmósfera. A través de la aplicación de este proceso es posible mejorar la calidad visual de las imágenes digitales (Aguilar, Mora y Vargas, 2014).

- **Corrección topográfica**

La corrección topográfica es un proceso que garantiza la disminución y eliminación de sombras y relieves de las imágenes generada por la iluminación solar en diferentes intensidades, principalmente en áreas con pendientes mayores, a través de este proceso se logra homogeneizar la cantidad de luz. Esta corrección es ideal para implementarlo en zonas boscosas, obteniendo una mejor apreciación de la cobertura vegetal y uso de suelo (Vázquez, Romero, Novillo y Ramos, 2016).

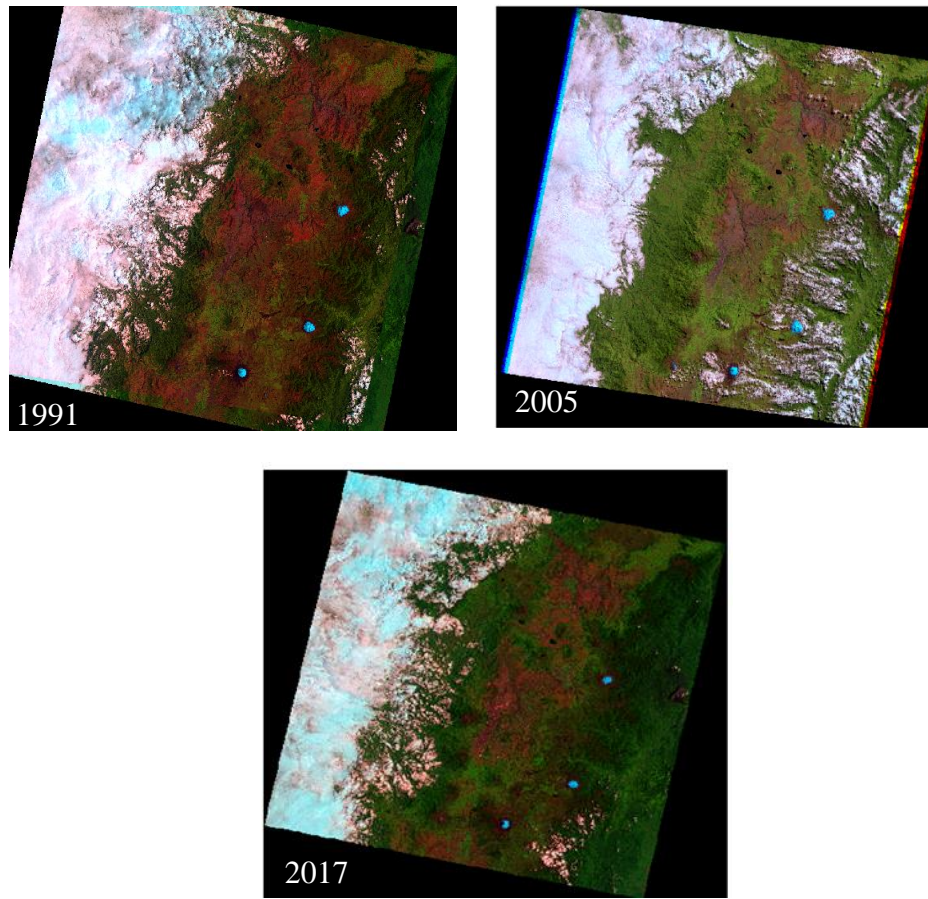


Figura 3. Imágenes satelitales corregidas de los años 1991, 2005 y 2017.
Fuente: NASA Earth Explorer

3.2.1.3 Clasificación supervisada

Para la obtención de los 10 tipos de cobertura (Tabla 2), en primera instancia se analizó el área a evaluar determinando características y patrones propios de las clases mediante la manipulación de los píxeles de las imágenes satelitales, posteriormente se designaron nombres a los patrones o clases evaluadas (Rodríguez, 2011). La clasificación supervisada se realizó mediante el software ArcGIS 10.4 creando áreas de entrenamiento mediante el método de polígonos, por cada imagen satelital se identificó un total de 400 polígonos con su respectiva identificación (Figura 4) (Alsparlan, Coskun y Alganci, 2009).

Tabla 2. Tipos de cobertura vegetal de la cuenca del río Guayllabamba

ID	Cobertura
1	Bosque
2	Matorral seco montano
3	Cuerpos de agua
4	Nieve
5	Nubes
6	Páramo
7	Pastos y cultivos
8	Suelo sin cobertura vegetal
9	Vegetación arbustiva
10	Zona urbana

3.2.1.4 Índice Kappa

Mediante la aplicación del índice Kappa, que presenta un rango de 0 a 1 (Tabla 3), se validó la clasificación de las imágenes procesadas en ArcGIS 10.4, mediante la superposición de los puntos GPS obtenidos en las salidas de campo al área de estudio con los mapas de uso de suelo. A través de la herramienta “*Pivot table*” del ArcGIS se generó una tabla que permitió la realización de la matriz de confusión (Figura 4) (Ministerio del Ambiente, 2013).

Tabla 3. Rango de concordancia.

Valor de k	Fuerza de concordancia
0,21-0,40	Débil
0,41-0,60	Moderada
0,61-0,80	Buena
0,81-1	Muy buena

Fuente: Cerda y Villarroel (2008)



Figura 4. Flujoograma del proceso de corrección de imágenes, clasificación supervisada y validación.

3.2.1.5 Análisis de métricas del paisaje

Para la obtención de las métricas del paisaje se utilizó el software Fragstat 4.2, en primera instancia se exportó las tablas generadas por el ArcGIS 10.4 de las imágenes clasificadas en formato txt. Las métricas se calcularon a nivel de parche y de clase las cuales se seleccionaron bajo el requerimiento del estudio (Tabla 4 y Figura 5) (Calvo y Ortiz, 2012). Este procedimiento permite visualizar la estructura del paisaje, según su área total, la distribución, densidad y el tamaño de los parches, también se obtienen resultados de índices como: agregación, del parche más grande entre otros, esta herramienta facilita el entendimiento de los cambios de los patrones espaciales del paisaje (MaGarigal et al., 2012).

Tabla 4. Métricas del paisaje usadas para el análisis de patrones espaciales del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.

Métricas	Descripción	Unidad de medida	Rango de variación
Área total	Es la sumatoria de todas las áreas de los parches del mismo tipo de bosque.	Hectáreas	CA>0, sin limite
Índice del parche más grande	Porcentaje del área de parche más grande, de la superficie total del paisaje.	Porcentaje	0< LPI≤100
Longitud del borde total	Es la sumatoria de las longitudes	Kilómetros	TE ≥ 0, sin límite
Número de parches	Es la cantidad de parches del mismo tipo de bosque.	Ninguna	NP ≥ 1
Densidad de parches	Es el número de parches del bosque dividido por la superficie total del área de estudio.	Hectáreas	PD > 0
Relación media perímetro área	Es la relación del perímetro del parche con el área.	Ninguna	PARA> 0, sin límite

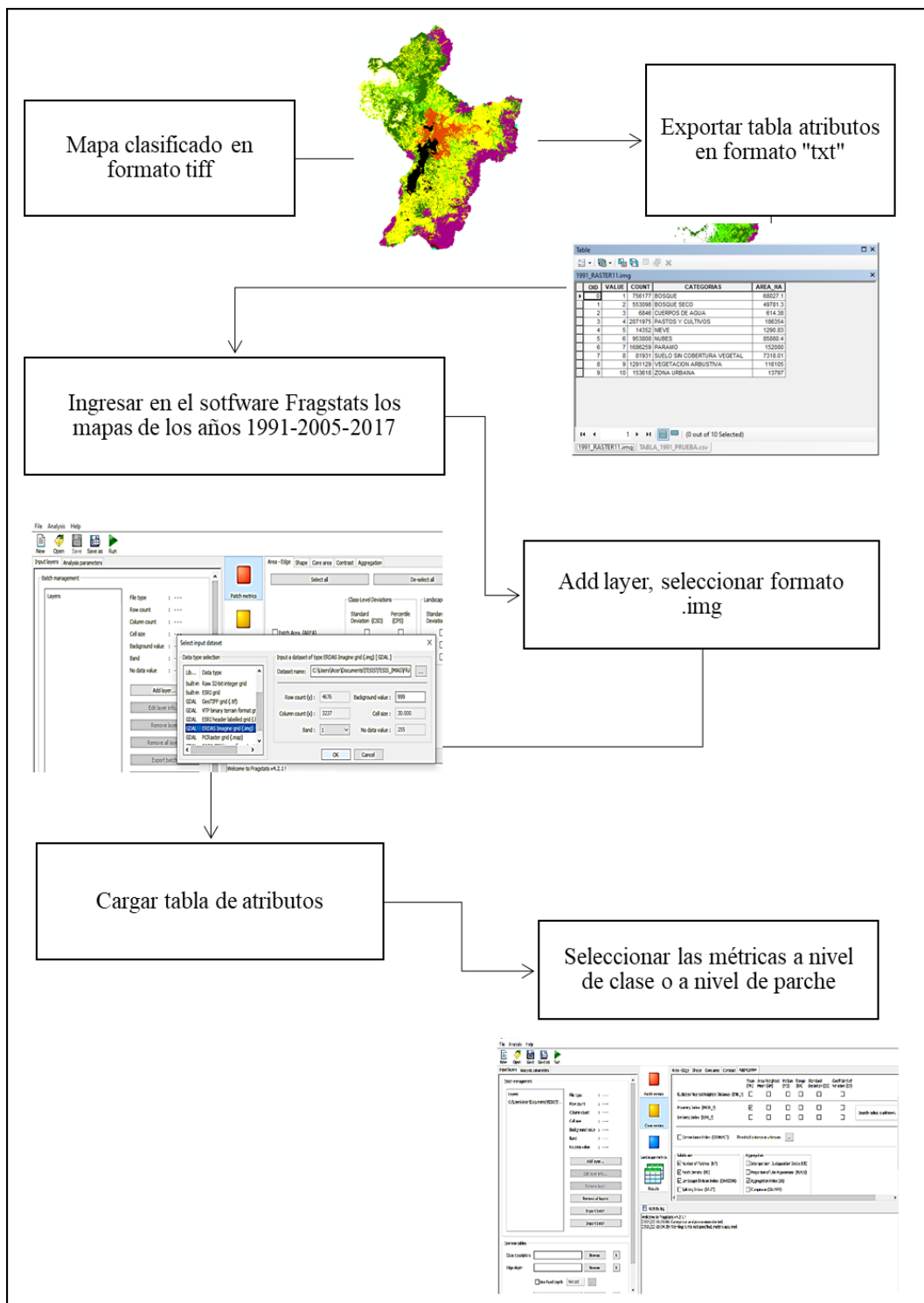


Figura 5. Flujo para obtener las métricas del paisaje en el software Fragstats.

3.2.1.6 Cambios netos de uso de suelo

En el software ArcGIS se cargó los mapas de uso de suelo del año de 1991 y 2017 en formato raster, con la herramienta “*raster calculator*” se sobrepuso los mapas y se obtuvo los cambios netos de uso de suelo, posteriormente mediante la matriz de transición desarrollada por Pontius se identificó la pérdida, ganancia, cambio neto, intercambio y el cambio total de las categorías de ordenamiento dentro del paisaje en función de la temporalidad y escala (Farfán, Rodríguez y Francois, 2016).

3.2.2 Identificación del cambio de los patrones espaciales del matorral seco montano y su relación con la persistencia de especies amenazadas

3.2.2.1 Especies amenazadas

Mediante la revisión bibliográfica se obtuvo información puntual del estado de conservación y los procesos ecológicos de flora y fauna identificadas como amenazadas y consideradas endémicas del matorral seco montano, se tomaron en cuenta publicaciones realizadas por organizaciones nacionales e internacionales dedicadas a la conservación, con mayor énfasis en lo reportado dentro de los siguientes repositorios y textos científicos:

- **Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)**

Esta plataforma al ser considerada como la red más extensa y con mayor trayectoria a nivel mundial, fue utilizada como punto de partida para la identificación de especies endémicas de flora y fauna del ecosistema matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba, listados que posteriormente se sistematizaron según su estado de conservación, siendo de mayor importancia aquellas especies que se encontraron catalogadas como en peligro crítico (UICN, 2020).

- **Libros Rojos**

Los libros rojos de aves, mamíferos y plantas endémicas al contener información netamente del Ecuador, se consideraron como herramientas claves que permitieron

recopilar y validar la indagación del estado de conservación, los procesos ecológicos, su área de ocupación, el registro de las características globales de las especies identificadas como amenazadas (Tirira, 2001).

- **BIOWEB**

Esta plataforma de libre acceso desarrollada por la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, permitió conocer mediante sus publicaciones la distribución gráfica de cada una de las especies, fotografías, características generales, su estado de conservación y otros. Mediante la información recopilada en las distintas plataformas se procedió a la vinculación de los patrones espaciales y los procesos ecológicos de las especies (Brito et al., 2019).

3.2.2.2 Análisis de los patrones espaciales

Mediante los resultados obtenidos a partir de las métricas del paisaje se identificaron los cambios de los patrones espaciales durante 1991, 2005 y 2017 que afectaron en la persistencia de las especies endémicas del matorral seco montano. Posteriormente se realizó la vinculación de los patrones espaciales con los procesos ecológicos de las especies.

3.2.3 Estrategias de manejo y conservación

Las estrategias de manejo y conservación se realizaron a través del análisis de los resultados de la pérdida y fragmentación del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba. Se estableció sitios prioritarios y mecanismos para la conservación y restauración del ecosistema mediante la aplicación del programa Conefor 2.6.

3.2.3.1 Modelo parche-corredor-matriz

Se propuso estrategias de manejo y conservación a escala de paisaje, esto se realizó a través del modelo parche-corredor-matriz desarrollado por el ecólogo Richard Forman, el cual permite mantener la calidad y cantidad de los parches del matorral

seco montano a través del manejo de la matriz. Las condiciones de la matriz pueden ser más importantes para determinar la persistencia de especies ante el aislamiento de los parches. Por lo tanto, el manejo de la matriz estuvo enfocado en áreas sensitivas buffer que mejoran la conectividad entre parches de matorral e incrementen la capacidad de la matriz para mantener la biodiversidad. Además, al implementar este modelo se permite la inclusión de grupos sociales e instituciones locales y globales en la conservación del matorral seco montano (Lindenmayer y Franklin, 2002).

3.2.3.2 Análisis de la conectividad del paisaje

Se analizó la conectividad del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba a través del programa Conefor 2.6 con extensión al software ArcGIS 10.4, herramienta totalmente gratuita creada en la Universidad Politécnica de Madrid por Santiago y Josep, esta permitió identificar sitios críticos o zonas de importancia para la conservación, priorización y planificación del paisaje, es considerado como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones que involucren la conservación, desarrollada con la finalidad de mejorar la conectividad ecológica entre fragmentos a escalas amplias. Además, la evolución de esta versión incluye nuevos índices de conectividad funcional como: el índice integral de conectividad (IIC) y probabilidad de conectividad (PC) que han demostrado ser más eficientes que otros índices ya existentes (Saura y Torné, 2012).

- **Modelo de grafos del paisaje**

Se utilizó el modelamiento de grafos del paisaje que teóricamente se basan en una red de nodos o vértices y enlaces que permiten la conexión entre parches cercanos, para el desarrollo de nodos conectados mediante enlaces depende de dos factores el uso del suelo intermedio y la distancia que existe entre cada fragmento tomando en cuenta principalmente la extensión ocupada por las especies. Si su capacidad de dispersión lo requiere se genera una conexión entre dos nodos mediante un enlace que representa la capacidad de una especie a desplazarse de un hábitat inhóspito

hacia otro hábitat con los mismos componentes no alterados (Pascual-Hortal y Saura, 2006).

La estructura de grafos permitió almacenar la información de los atributos y elementos del paisaje que se utilizó para el análisis de conectividad y además implementa algoritmos de cálculo complejos y eficientes superando todo tipo de limitaciones, la implementación de esta técnica nos aseguró un buen manejo de datos extensos mediante la combinación de información ecológica y topológica (Pascual-Hortal et al., 2005).

3.2.3.3 Índice de conectividad

El índice posteriormente explicado se aplicó a cada uno de los parches de la cobertura del matorral seco montano

- **Índice integral de conectividad**

El índice integral de conectividad (dIIC) es conocido por ser el mejor índice binario para el análisis de conectividad que se desarrolla mediante gráficos espaciales y mide la disponibilidad del hábitat a escala de paisaje, es muy eficiente al momento de detectar cambios negativos que pueden alterar a un hábitat, jerarquizando los parches de mayor importancia que deben ser conservados. Este índice se obtiene a partir de los parches y su distancia, además se aplica para cualquier tipo paisaje que se encuentre conectado o no, tiene un rango definido que va de 0 a 1. El dIIC está representado por la siguiente fórmula (Pascual-Hortal y Saura, 2006):

$$dIIC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{a_i \cdot a_j}{1 + nl_{ij}}}{A_L^2}$$

donde n es el número total de parches en el paisaje, ai y aj representan a los atributos de los parches i y j, nl_{ij} es el número de enlaces en la ruta más corta entre parches i y j, y AL es el área total del paisaje.

El dIIC está conformado por tres fracciones, el dIICintra hace referencia a la disponibilidad de hábitat dentro del parche, es totalmente independiente a la ubicación topológica, a las distintas conexiones entre parches y a la capacidad de dispersión de las especies, dIICflux mide básicamente la cantidad de flujo de dispersión que se lleva a cabo mediante las conexiones de los parches siendo un parche determinado el origen o el destino del flujo, y la fracción dIICconnector mide la importancia del parche como elemento de conexión hacia otros parches adyacentes, esta fracción es independiente del área o de cualquier atributo de los parches. Los cálculos de estos índices contribuyeron al diagnóstico y al desarrollo de la propuesta para la restauración de la conectividad global del paisaje (Saura y Pascual-Hortal, 2007).

3.2.3.4 Exportación del ecosistema matorral seco montano

Las entradas para el respectivo procesamiento se generaron a partir del mapa de uso de suelo del año 2017, posteriormente mediante el software ArcGIS 10.4 se elaboró un archivo shapefile del ecosistema matorral seco montano de tipo polígono el cual se obtuvo del archivo vectorial del mapa de 2017, seleccionando y exportando únicamente la categoría de matorral seco montano que representan los parches de interés del presente estudio. Se tomó en cuenta que dentro de la tabla de atributos de este archivo se encuentre los campos ID de los parches y la superficie (área), esto debido a que las características antes mencionadas fueron necesarias para el trabajo en la extensión de ArcGIS Conefor inputs.

Con el archivo vectorial del ecosistema y mediante el uso de la extensión se generaron los parches y demás archivos necesarios para Conefor 2.6, procesamiento del cual se destaca la información obtenida como la distancia euclidiana. Para esta actividad se estableció una distancia máxima de 1 km y así optimizar el tiempo del procesamiento. Finalmente, se obtuvieron archivos de texto ASCII (nodes file, distances file) que fueron utilizados con la información de entrada en Conefor 2.6 para determinar el Índice Integral de Conectividad dIIC.

3.2.3.5 Identificación de parches prioritarios

Con la información necesaria para el cálculo del índice integral de conectividad se realizó el procesamiento en Conefor 2.6, se empleó la información de los archivos de texto ASCII en los campos connection file y node file. Para conectar los parches se determinó trabajar con una longitud límite de 500 m de tal manera que los parches conectados mediante distancias superiores a lo establecido fueron considerados como aislados y que no presentan vínculos. Además, con este filtro realizado se asignó conexiones a los parches con distancias igual o menores a los 500 m.

Se trabajó con el formato parcial en el archivo de conexión debido a que se determinó etiquetas numéricas en el resultado de Conefor inputs únicamente para los pares de parches con presencia de algún vínculo, posteriormente se identificó los parches de mayor importancia mediante el Índice Integral de Conectividad (IIC) del cual se dividen tres secciones dIICintra, dIICflux y dIICconector, que fueron aplicados en los diferentes parches del ecosistema matorral seco montano.

Previo a la ejecución del software se realizó el cálculo de la variación absoluta con los datos del índice de conectividad a nivel de paisaje luego de la desaparición de cualquier tipo de parche, por lo tanto, para este proceso fue necesario trabajar con “*Mostrar vars*”. Posteriormente se corrió el software con el respectivo análisis tomando en cuenta la mejor precisión posible.

Los resultados que se obtuvieron del análisis fueron el grado de importancia de cada parche y la contribución que estos fragmentos brindan hacía la conectividad del paisaje, de tal manera que se logró obtener una clasificación de los parches en rangos de importancia para posteriormente tener una visión de un manejo tomando en cuenta el máximo aporte de los fragmentos de hábitat.

Adicionalmente, la información resultante permitió realizar un diagnóstico del estado de la conectividad del territorio mediante los datos generales del índice de conectividad, la diferenciación de los distintos parches, los valores probabilísticos

de producto y dispersión entre pares de fragmentos de hábitat. Para guardar la información resultante se utilizó un formato DBF, además, para la visualización de esta información se empleó el software ArcGIS 10.4 mediante el cual posteriormente se realizó la vinculación de los parches de mayor importancia en una capa dentro del documento de ArcGIS 10.4.

Finalmente, mediante la capa que contiene la información conjunta de los parches de bosque seco y la evaluación de la métrica de conectividad se eligieron aquellos fragmentos de hábitat que presentaron los valores numéricos mayores de acuerdo a la clasificación de los sitios prioritarios, de tal manera que quedaron definidos los parches con mayor relevancia en materia de conectividad.

3.2.3.6 Diseño de corredores biológicos

- **Modelamiento espacial de corredores biológicos**

Para el diseño de los corredores biológicos se hizo uso de las herramientas de SIG (Sistemas de información geográfica) tomando en cuenta la información obtenida de los parches de matorral seco montano prioritarios para la adecuación de esta estrategia de restauración y conservación que permitirá recuperar la conectividad en la cuenca del río Guayllabamba. Dentro de esta actividad es importante destacar la aplicación de algunas herramientas del software ArcGIS como “*Cost path*”, “*Cost distance*”, “*Cost bank link*”, “*raster calculator*”, “*reclassify*”, “*raster to polyline*” y “*raster to polygon*”.

- **Información de entrada para la elaboración de corredores biológicos**

En el proceso de diseño de los corredores fue necesario tomar en cuenta algunas variables que interactúan en la matriz del paisaje y que a su vez son elementos que dificultan el flujo de las especies y sus procesos ecológicos, por lo tanto, se elaboró un mapa de fricción que tomó en cuenta variables como la distancia y presencia de vías, distancia a poblados y zonas suburbanas, cobertura vegetal, el tamaño del lote y los cuerpos de agua dentro de la cuenca del río Guayllabamba. Una vez

seleccionadas las variables se procedió a categorizarlas según el nivel de dificultad, es decir, se usó un valor de tres para las que presentan mayor fricción, dos para las de fricción intermedia, y uno para aquellas de baja fricción (Tabla 5).

Tabla 5. Criterios utilizados para determinar la dificultad del flujo de especies y determinar el nivel de fricción de los corredores biológicos para el ecosistema matorral seco montano.

Variable	Criterio	Rangos de variable	Valoración
Cobertura	Ecosistemas boscosos y estados sucesionales avanzados presentan menor dificultad al desplazamiento	Bosque	1
		Vegetación arbustiva, pastos y cultivos, matorral seco montano	2
		Cuerpos de agua, suelo sin cobertura vegetal, zona urbana	3
Distancia a vías	La red vial dificulta el transcurso de las especies. A menor distancia a las vías, mayor dificultad de desplazamiento	Distancias a vías de 0 a 110 m	3
		Distancias a vías de 110 a 300 m	2
		Distancias a vías mayor de 300 m	1
Tamaño de lote	En lotes de mayor superficie, mayor facilidad en el desarrollo de estrategias de conservación	Lotes menores a 5 ha	3
		Lotes de 5 a 16 ha	2
		Lotes mayores a 16 ha	1
Distancia a suelo suburbano	A menor distancia de suelo suburbano, mayor dificultad en el desplazamiento de especies	Distancia a suelo suburbano de 0 a 100 m	3
		Distancia a suelo suburbano de 100 a 300 m	2
		Distancia a suelo suburbano mayor a 300 m	1
Distancia a cuerpos de agua	Las zonas hídricas representan una ventaja para el desplazamiento. A mayor distancia, mayor dificultad	Distancias entre 0 a 100 m	1
		Distancias entre 100 a 300 m	2
		Distancias mayores a 300 m	3

Se establecieron un par de puntos por cada fragmento de hábitat de tal manera que el corredor biológico elaborado se distribuya por la mayor superficie posible dentro

del área de estudio y así la restauración de la conectividad del ecosistema sea más eficiente.

En el modelamiento espacial se cargó la información de entrada y se aplicó la herramienta “*Cost distance*” para el cálculo de la distancia de menor coste acumulativo sobre una distancia de coste, “*Cost back link*” para definir el vecino y “*Cost path*” para determinar la ruta de menor coste desde un punto de origen hasta su llegada.

Se obtuvieron un total de 14 archivos de rutas en tipo raster los cuales posteriormente se transformaron a archivos de formato vectorial, para las distintas rutas generadas se tomó en cuenta un buffer de 100 m ya que esta es una dimensión ideal para el flujo de especies indispensables en la restauración de la conectividad de un paisaje y de la estructura de la cobertura forestal del territorio.

3.2.3.7 Estrategias de manejo y conservación del matorral seco montano

En función de la evolución del ecosistema matorral seco montano durante el período de 26 años de evaluación y de los cambios de la estructura y composición en el paisaje de la cuenca del río Guayllabamba, así como también según el análisis del estado de conectividad de este ecosistema se plantearon alternativas que permitan restaurar principalmente la conectividad de este ecosistema, proceso en el cual la viabilidad de los procesos ecológicos propios de cada especie serán los que posteriormente contribuyan a la recuperación del hábitat y de todos los componentes del paisaje en general. Para realizar las propuestas de las estrategias a aplicarse ante el objetivo planteado se tomó en cuenta ciertos principios de restauración ecológica desde una escala de paisaje (Tabla 6).

Tabla 6. Principios para la restauración ecológica a nivel de paisaje.

Principio	Función
1	Mantener parches grandes de vegetación nativa y evitar la fragmentación por actividades antrópicas.
2	Determinar prioridades para la conservación de especies y conservar los parches de hábitat que dificultan la distribución y abundancia de especies.
3	Conservar los componentes raros del paisaje y guiar el desarrollo hacia la homogeneización de áreas del paisaje.
4	Conservar la conectividad entre parches de hábitat de vida silvestre, identificar e implementar corredores biológicos.
5	Conservar los procesos ecológicos relevantes como inundaciones e incendios en áreas protegidas.
6	Fortalecer la conservación de especies mediante el manejo de sus hábitats y ecosistemas.

Fuente: Adaptado y traducido de Turner et al. (2001)

Como estrategia de conservación del matorral seco montano se consideró los conceptos del modelo parche-corredor-matriz, así como también los principios de metapoblaciones en donde fue importante realizar un proceso de priorización de parches de hábitat según el aporte que brindan en la conectividad del paisaje. Se tomó en cuenta dos características de vital importancia de los parches como: i) si tenían un gran tamaño en cuanto a la superficie y ii) el aporte y funcionalidad dentro de las redes de conectividad en el paisaje.

De tal manera que se realizó la selección de parches de gran superficie debido a que estos presentan una resistencia mayor a los efectos de borde provenientes de la matriz y también porque son este tipo de parches los que cuentan con poblaciones óptimas que servirán para repoblar los parches aislados. De esta manera se aplica la teoría de metapoblaciones como una importante estrategia de restauración de la conectividad del ecosistema, el paisaje y la conservación de los parches más sensibles (Badii y Abreu, 2006).

3.2 Materiales y equipos

Para el desarrollo de este estudio se utilizó diferentes materiales y equipos (Tabla 7).

Tabla 7. Materiales y equipos.

Equipos	Materiales de campo y oficina	Softwares
Computadoras portátiles	Imágenes Landsat de los años 1991, 2005 y 2017	ArcGIS 10.4
GPS	Biblioteca virtual	Fragstats 4.2
Cámara fotográfica	Libreta de campo	ENVI 4.5
	Plan de internet mensual	Conefor 2.6

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de cada uno de los objetivos:

4.1 Cálculo de la modificación del ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba

4.1.1 Validación de la clasificación supervisada durante el período 1991-2017

La estimación del índice Kappa para el período 1991-2017, obtuvo una precisión de 85%, con una fuerza de concordancia “Muy buena” (Tabla 8).

Tabla 8. Matriz de contingencia.

Clases	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Clasificación general	Precisión
1	28	3	0	2	0	0	1	3	0	37	76%
2	1	30	0	1	0	0	0	1	0	33	91%
3	0	0	22	0	3	0	0	0	0	25	88%
4	8	6	0	13	0	0	3	7	0	187	87%
5	0	0	0	0	10	0	0	0	0	10	100%
6	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12	100%
7	0	1	0	0	0	0	14	0	0	15	93%
8	0	0	0	0	0	0	0	27	0	27	100%
9	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	100%
Verdad en general	37	40	22	166	13	12	18	38	14	360	
Precisión real	76%	75%	100%	98%	77%	100%	78%	71%	100%		

4.1.2 Cambios en la cobertura de paisaje

La cobertura de la cuenca del río Guayllabamba mostró un cambio significativo durante el período de 1991-2017. El bosque nativo tuvo un incremento de 44 557,83 ha (6,54%), el aumento de esta cobertura se justifica debido a la presencia de nubes que cubren el área de bosque en la imagen del año 1991, además se determinó el crecimiento significativo de la cobertura de pastos y cultivos de 92 251,53 ha

(13,55%), de igual forma la zona urbana que no mostró un mayor crecimiento superior a 13 060,80 ha (1,92%). Sin embargo, existieron descensos de algunas coberturas como, el matorral seco montano que disminuyó 14 195,34 ha (2,09%), la superficie de páramo tuvo una reducción de 343 999,26 ha (5,05%), del igual forma el área de vegetación arbustiva perdió 44 502,39 ha (6,53%). En cuanto a los cuerpos de agua y nieve durante 26 años no existió mayor reducción al 1% (Tabla 9).

Tabla 9. Tipos de cobertura entre el período de 1991 – 2017 en la cuenca del río Guayllabamba.

Tipo de Cobertura	1991		2005		2017	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Bosque	68 055,93	9,99	128 978,2	18,95	112 613,76	16,53
Matorral seco montano	49 778,82	7,31	41 052,15	6,03	35 583,48	5,22
Cuerpos de agua	616,14	0,09	560,34	0,08	573,84	0,08
Nieve	1 291,68	0,19	1 614,87	0,24	688,86	0,1
Nubes	85 842,72	12,6	21 882,96	3,21	32 324,04	4,75
Páramo	151 763,31	22,28	97 605,72	14,34	117 364,05	17,23
Pastos y cultivos	186 477,75	27,37	294 594,5	43,27	278 729,28	40,92
Suelo sin cobertura vegetal	7 373,79	1,08	3 778,38	0,56	4 743,18	0,7
Vegetación arbustiva	116 201,61	17,06	74 921,49	11,01	71 699,22	10,53
Zona urbana	13 825,62	2,03	15 762,06	2,32	26 886,42	3,95
Área Total	681 227,37	100	680 750,6	100	681 206,13	100

Además, se observó que la zona de cultivo se encuentra en la periferia urbana y cerca al páramo, también representan en conjunto con el asentamiento urbano las principales presiones hacia el matorral seco montano (Figura 6). Esta información presenta resultados similares en el estudio de algunas parroquias dentro de la cuenca media del río Guayllabamba donde se observa un crecimiento de las zonas agrícolas y de pastoreo, así como también de la zona urbana y las zonas con presencia de erosión como el caso del valle de Guayllabamba (Logroño, 2018).

Un estudio realizado en el Centro Sur de Chile en el período 1979-2000, afirma que las coberturas donde se observaron mayores cambios fueron los matorrales, bosques nativos, terrenos agrícolas y plantaciones forestales (Aguayo et al., 2009). Datos

similares se observaron en un estudio realizado en los bosques templados de Chile en el período de 1975 a 2000, donde se registró que la cobertura del bosque nativo se redujo en un 14% es decir en 80 992 ha, y en cuanto a las tierras agrícolas y pastoreo mostró un incremento del 4%, además través de sus resultados nos ilustra que los cambios de patrón se relacionan directamente con la fragmentación del paisaje (Echeverría et al., 2006).

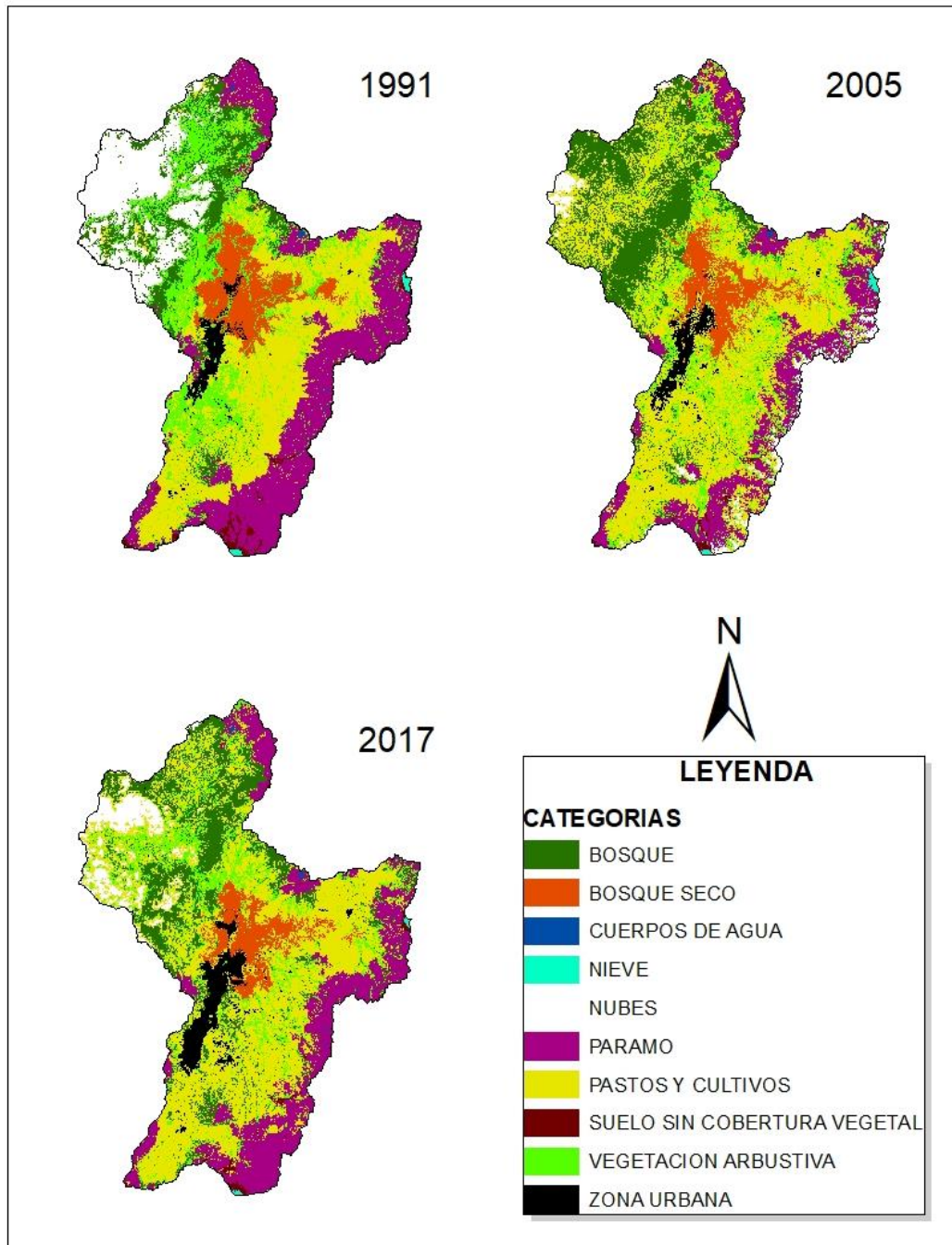


Figura 6. Variación temporal y espacial de las coberturas de la cuenca del río Guayllabamba 1991, 2005 y 2017.

4.1.3 Configuración espacial del matorral seco montano

Para 1991 se registró una densidad de parche de 0,34 fragmentos del matorral seco montano por 100 ha, posteriormente disminuyendo a 0,027 en el año 2005. La menor densidad de parches se registró en el año 2017 con 0,012. En cuanto al número de parches durante los años de estudio tuvo una reducción significativa de 2 266 (Tabla 10). En una investigación realizada en el municipio de Yopal-Colombia durante el período de 2000 a 2016 se identificó un aumento en el número de parches de matorral seco montano, lo que significa que existió una fragmentación en el ecosistema de esta localidad (Alarcón, 2017). Sin embargo, en esta zona de estudio durante el período evaluado los parches disminuyeron de 2 351 a 85 en un período de 26 años, al igual que la densidad de parches, es decir que la fragmentación del ecosistema matorral seco montano en este caso fue disminuyendo.

Durante el período de análisis, el área total del parche se redujo en 14 195,34 ha dentro de la superficie total de la cuenca del río Guayllabamba. El índice de parche más grande disminuyó un 2%, este valor se asocia con un proceso de alteración del ecosistema (Tabla 10), tal como se menciona en el estudio realizado en la Cordillera Oriental de la provincia del Carchi, la disminución en el valor de esta métrica significa la presencia de fragmentación, y a la vez es un indicador de la afectación a la conectividad y funcionalidad de un ecosistema (Vaca, 2018). Una investigación realizada en la comuna de Arauco-Chile durante el período de 1990-2010, estos resultados a diferencia del presente estudio reflejan una constante fragmentación, debido al aumento considerables de la densidad de parche de 7 a 9 aproximadamente y el índice de parche más grande disminuyó de 0,79 a 0,12 (Rodríguez-Echeverry et al., 2018).

Tabla 10. Métricas de paisaje en la cuenca del río Guayllabamba

Índices del paisaje	1991	2005	2017
Área total (ha)	49 778,82	41 052,15	35 583,48
Índice del parche más grande (%)	6,37	5,51	4,37
Longitud de borde total (km)	3 160,83	4 846,59	3 266,46
Relación media perímetro área	1 107,19	538,35	494,77
Número de parches	2 351	190	85
Densidad de parches (n/100ha)	0,34	0,03	0,01

Dentro de la cuenca del río Guayllabamba se han implementado ciertas medidas de conservación para este ecosistema, como el caso de la declaratoria del Bosque Protector Jerusalem ubicado en el cantón Pedro Moncayo y que conserva una extensión de 1 110 ha desde el año 1 989 (Figura 7) (González, 2008).

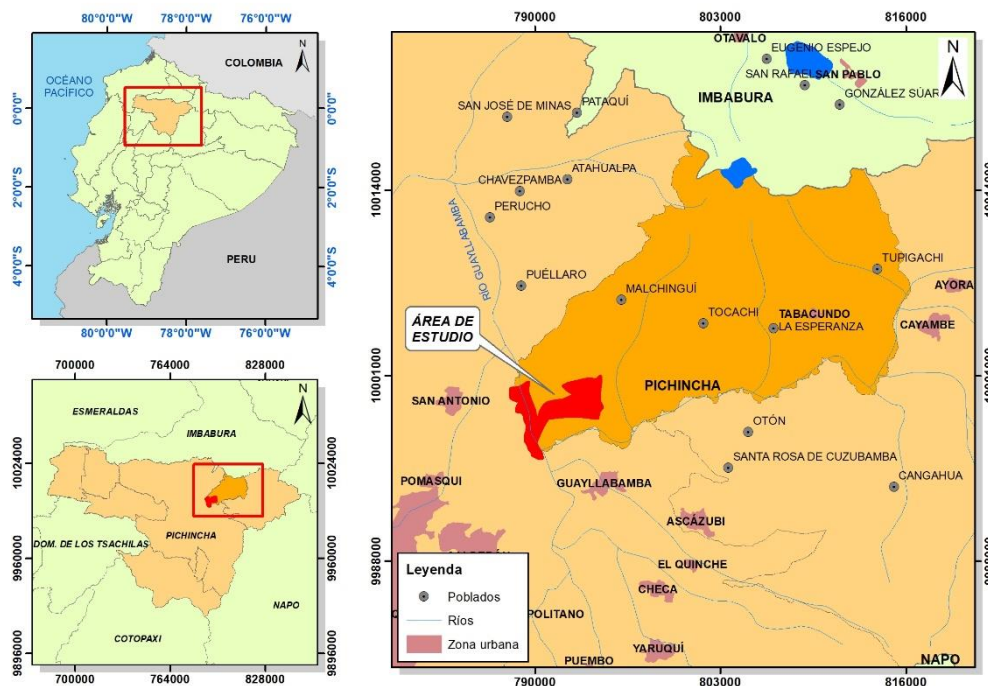


Figura 7. Ubicación del Parque Recreativo y Bosque Protector Jerusalem.
Fuente: Zapata (2018)

Esta estrategia implementada dentro de este territorio es un elemento importante para que el ecosistema evaluado no se encuentre significativamente fragmentado y no presente un incremento en el número de parches de bosque, ya que la creación de áreas naturales protegidas sirve para mantener la estructura integral de los

paisajes, biodiversidad y servicios ecosistémicos (UICN, 2008). Esto debido a que el principal indicador de un paisaje fragmentado es el aumento progresivo del número de parches (Rodríguez-Echeverry et al., 2018).

4.1.4 Relación espacial y temporal entre el matorral seco montano y otros tipos coberturas vegetales

El análisis del índice agregación permitió evidenciar de manera porcentual cuan agregadas se encuentran las coberturas al ecosistema matorral seco montano y al paisaje, además se identificó la tendencia de agregación en los años 1991, 2005 y 2017 (Figura 8).

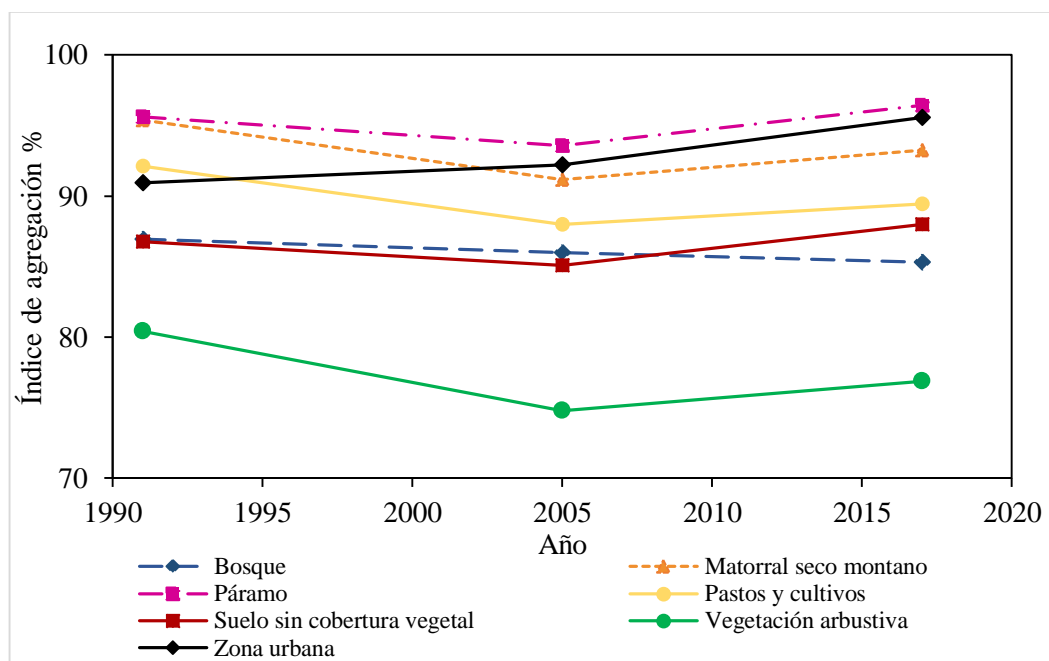


Figura 8. Cambios temporales en el índice de agregación en la cuenca del río Guayllabamba.

Para el período de estudio, la cobertura con mayor agregación al ecosistema matorral seco montano fue páramo con un valor mayor al 93%, mientras que la cobertura de vegetación arbustiva mostró menor agregación con valores inferiores al 80%. Sin embargo, la agregación de las demás coberturas de la cuenca del río Guayllabamba presentaron un valor mayor al 85% durante el período de estudio, a excepción de la cobertura de vegetación arbustiva que redujo su agregación al 74% para el año 2005 (Tabla 11).

Tabla 11. Índice de agregación de los ecosistemas evaluados

Coberturas	Índice de agregación (%)		
	1991	2005	2017
Bosque	86,94	85,99	85,29
Matorral seco montano	95,37	91,17	93,26
Páramo	95,61	93,58	96,41
Pastos y cultivos	92,09	87,97	89,45
Suelo sin cobertura vegetal	86,77	85,09	88,00
Vegetación arbustiva	80,41	74,77	76,85
Zona urbana	90,92	92,19	95,55

En una investigación realizada en la Cordillera costera, entre Río Maule y Cobquecura en Chile durante período de 1975-2000, obtuvieron un índice de agregación para el año 1990 la cobertura con mayor agregación fue la cobertura de matorrales con 86% y menor agregación el bosque nativo con 62.7%, en el año 2000 el nivel de agregación de matorrales y el bosque nativo disminuyó en un 80% y 59% respectivamente, siendo la cobertura con el nivel más bajo de agregación (Echeverría et al., 2006).

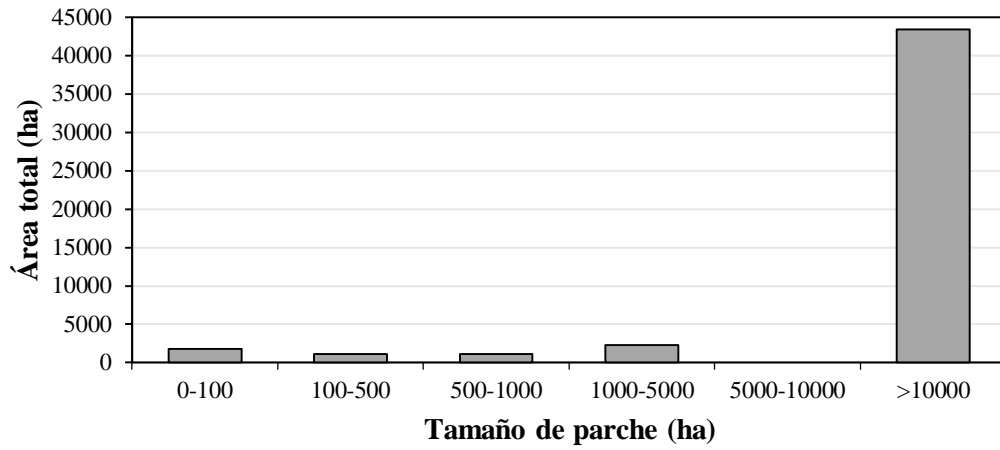
4.1.5 Variación temporal del tamaño de parches del matorral seco montano

La distribución del tamaño de los parches para el periodo de 1991 – 2017, se reportó que durante los 26 años existió una disminución considerable de parches de menor tamaño. En 1991, el 87,2% del área de matorral seco montano se encontraba en parches mayores a 10 000 ha, el 12,8% en parches inferiores a 5 000 ha. Para el año 2005, el 91,28% estaba distribuido en parches mayores a 10 000 ha, el 8,72% estaba distribuido en parches inferiores a 500 ha. Finalmente, para el año 2017, el 95,21% del área total del matorral seco montano se distribuyó en fragmentos mayores a 10 000 ha y tan solo el 4,79% en parches inferiores a 1 000 ha (Figura 9).

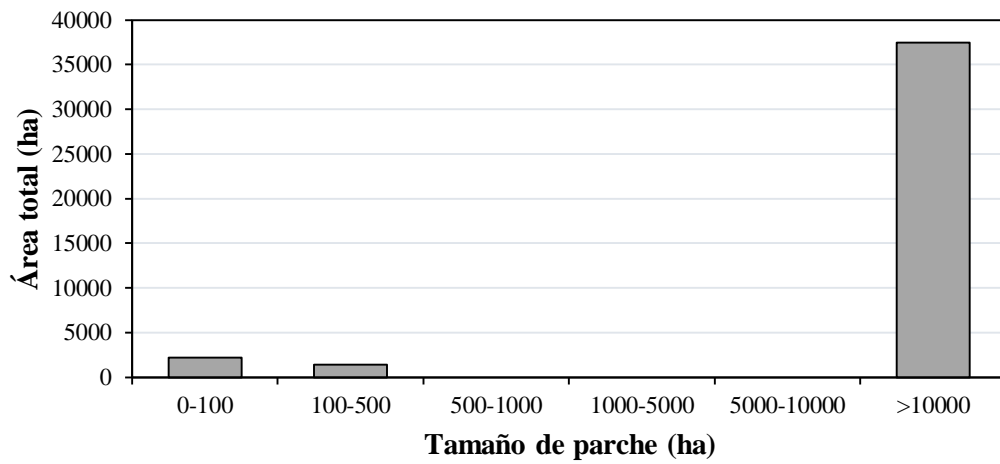
Sin embargo, en un estudio similar realizado en el río Maule-Chile reportaron cambios considerables en cuanto a la distribución del tamaño de parche, en donde para el año 1975 el 44% se encontraba en parcelas de gran tamaño, para el año 1990 y 2000 las parcelas de gran tamaño disminuyeron drásticamente al 59% y 69%

respectivamente a parches de 100 ha o menos, es decir existió un incremento significativo de parches pequeños evidenciado una alta fragmentación del paisaje (Echeverría et al., 2006).

1991



2005



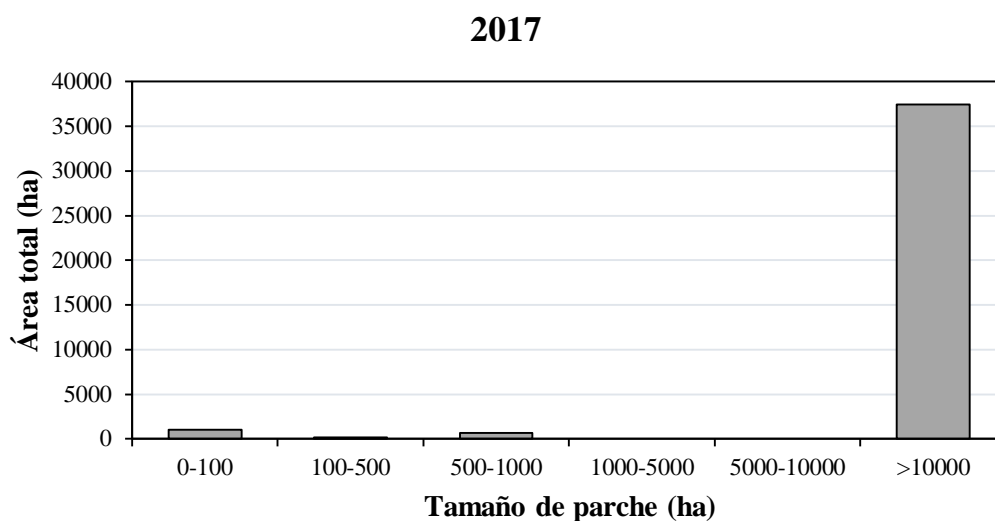


Figura 9. Variación del tamaño de parches de la cuenca del río Guayllabamba.

4.1.6 Cambio de uso de suelo de 1991 al 2017

Para el período de investigación en lo referente a la transición de la cobertura vegetal en el área de estudio se identificó pérdidas y ganancias en las diferentes clases de uso de suelo (Tabla 12). El ecosistema matorral seco montano registró una reducción de 5,45%, mientras que el páramo se incrementó un 6,09% en un período de 26 años. Además, el cambio neto de uso de suelo indicó en bosque 5,97%, pastos y cultivos 1,94% y zona urbana 3%. Sin embargo, también existieron pérdidas en: el matorral seco montano 1,46%, el páramo con un 0,71%, suelos sin cobertura vegetal 0,34%, vegetación arbustiva 3,37%.

El cambio de uso de suelo dentro de la cuenca del río Guayllabamba fue significativo dentro del período de estudio, en función del incremento de 92 251 ha (13,55%) en la superficie del suelo ocupado para los pastos y cultivos y 13 068 ha (1,92%) en la zona urbana, estas actividades han sido las más incidentes en el cambio y fragmentación del paisaje. En cuanto al matorral seco montano, este ecosistema se redujo 14 195 ha (2,09%), de esta manera se determinó un proceso de modificación dentro del ecosistema. Se encontraron resultados similares en la investigación realizada en el Distrito Metropolitano de Quito durante el período de 1986 al 2009, donde se registró un incremento del área de cultivo de 6 958 ha y en

la superficie de tipo artificial 3 372 ha dentro del ecosistema de bosque seco en el Distrito Metropolitano de Quito (Cabrera, 2015).

Uno de los factores que influyen en la pérdida del bosque seco en la provincia de Pichincha es el incremento poblacional, esto ha derivado en un crecimiento de las zonas urbanas y la disminución de las superficies naturales de 64,92% al 44,34% en la ciudad de Quito y sus alrededores desde el período de 1987 al 2017, además tomando como referencia esta dinámica del incremento de la densidad poblacional se han identificado consecuencias significativas como la pérdida de especies endémicas e introducidas, debido a que los espacios naturales están sufriendo una transformación a asentamientos urbanizados desde 1980 (Abad, 2020).

También, se afirma que la parte alta de la cuenca del río Guayllabamba es considerada una de las zonas con mayor densidad poblacional del país, y este factor influye drásticamente en el cambio de usos del suelo que radica principalmente en la expansión de la frontera agrícola que ha ocasionado la disminución y desaparición del bosque secos, otro factor que afecta directamente, son los incendios forestales que han alterado las propiedades del suelo generando erosión y disminuyendo la capacidad de retención del agua (FONAG, 2011).

En una investigación realizada en el bosque seco de Loja, se afirma que las principales causas de su deterioro son la deforestación, el pastoreo, expansión de la frontera agrícola, la introducción de especies exóticas y otros, actividades que han incidido en la pérdida de los bosques nativos, lo que ha generado un cambio drástico en la estructura y configuración del paisaje (Vásquez et al., 2001).

Un estudio realizado en el bosque seco del arroyo de Pechelín-Colombia determinaron que las zonas de agricultura se incrementaron y es la principal causa de la fragmentación y pérdida del bosque seco en esta región, de esta manera se establece que la expansión urbana y agrícola tienen una incidencia directa en la modificación del bosque seco (Galván et al., 2015).

Tabla 12. Matriz de transición de los cambios de cobertura y uso de suelo del periodo 1991-2017 expresado en porcentaje.

2017												
1991	Bosque	Matorral seco montano	Cuerpos de agua	Nieve	Nubes	Páramo	Pastos y cultivos	Suelo sin cobertura vegetal	Vegetación arbustiva	Zona urbana	Total 1991	Ganancia
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
Bosque	6,53	1,40E-02	1,80E-04	6,70E-04	3	0,83	1	0,04	4	1,80E-03	15,9	9,41
Matorral seco montano	0,18	3	7,50E-05	2,30E-04	1,40E-02	0,23	3	0,05	2	0,08	8,8	5,45
Cuerpos de agua	6,80E-05	0	7,53E-02	0	0	6,03E-04	5,50E-04	9,00E-05	2,90E-04	0	0,1	0
Nieve	0	0	0	0,105	0	0	0	1,00E-06	0	0	0,1	0
Nubes	0,48	3,04E-04	0	2,10E-04	4	4,40E-05	0,11	5,00E-06	0,15	2,10E-04	4,7	0,74
Páramo	0,05	0,25	1,00E-03	9,90E-03	6,90E-03	16	3,6	0,46	1	4,10E-03	21,7	5,38
Pastos y cultivos	1,3	2	3,20E-05	0	3	2	15,39	0,06	4	0,15	29,3	13,92
Suelo sin cobertura vegetal	2,50E-03	0,062	1,20E-02	3,20E-02	3,80E-03	0,1	0,06	0,4	0,03	0,018	0,7	0,33
Vegetación arbustiva	1,46	0,52	2,10E-04	1,30E-03	2	2	3	0,04	4	0,02	13,6	9,33
Zona urbana	1,40E-02	0,9	1,30E-03	3,20E-02	5,20E-03	3,97E-02	1	0,02	1	2	5	3,27
Total 2017	9,97	7,31	0,09	0,18	12,6	22,38	27,37	1,07	17	2,02	100	
Pérdida	3,44	3,99	0,02	0,08	8,6	6,09	11,98	0,67	12,69	0,27	47,82	

4.2 Identificación del cambio de los patrones espaciales del matorral seco montano y su relación con la persistencia de especies amenazadas

4.2.1 Especies endémicas del matorral seco montano

Se identificó un total de 12 especies endémicas, dos especies de aves, dos anfibios, un mamífero, un reptil y seis especies de flora que se encuentran en distintos estados de conservación. Mediante la información recopilada de cada una de las especies se presenta la vinculación entre los cambios de los patrones espaciales del matorral seco montano con la persistencia de las especies (Figura 10).

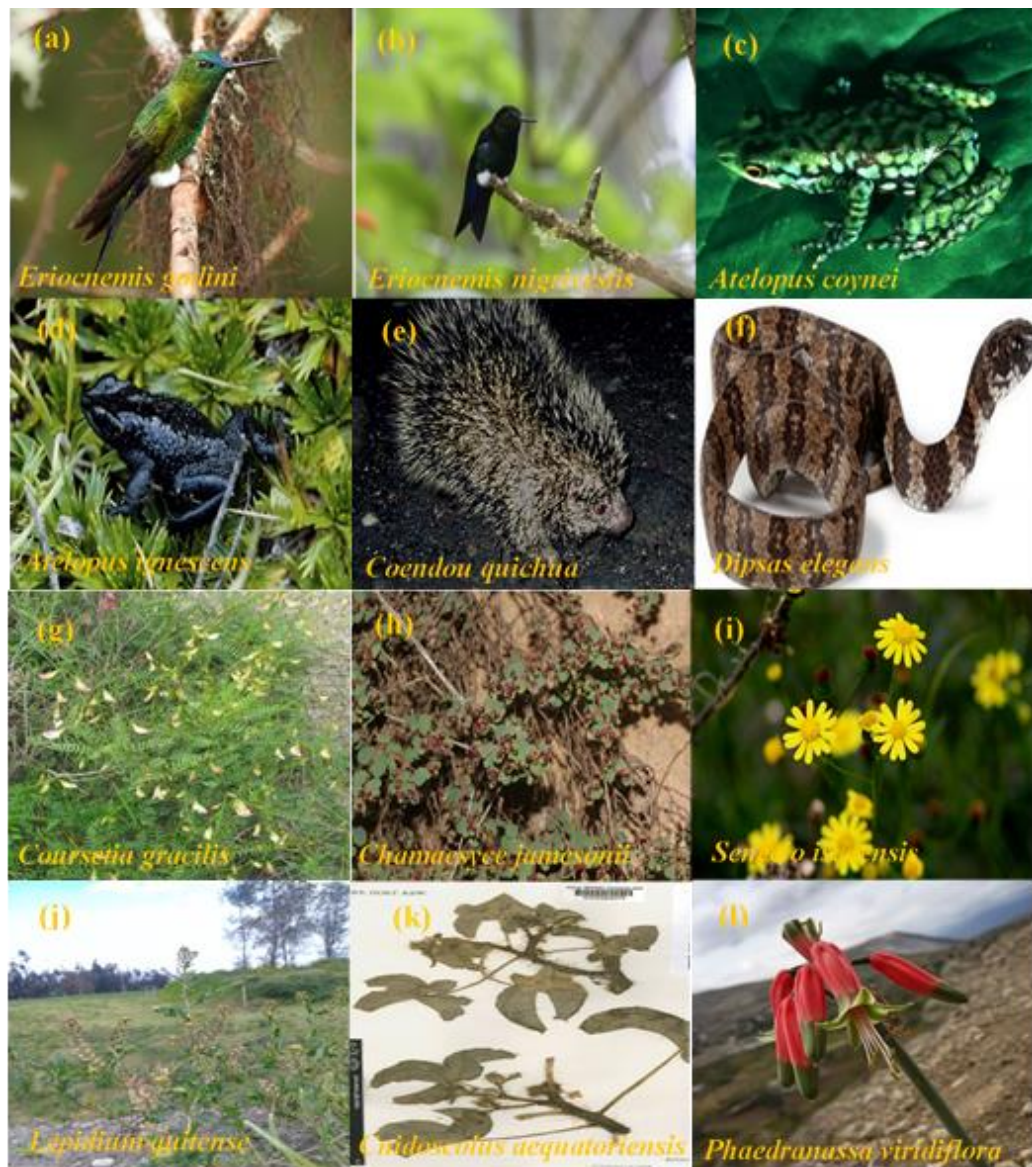


Figura 10. Especies endémicas del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.

4.2.2 Impactos de la disminución de hábitat

Durante 26 años la transformación del paisaje fue a causa del crecimiento de la frontera agrícola y el asentamiento urbano, se evidenció una notable pérdida del matorral seco montano de 49 778,22 ha en 1991 a 35 583,48 ha en el 2017. Esta situación se vio reflejada en el porcentaje del parche más grande del matorral seco montano, debido a que en el año 1991 este índice era de 6,37%, en el 2005 el 5,50% y finalmente en el año 2017 representaba el 4,37%. No obstante, la concentración de bosque nativo según los parches de distintas dimensiones indicó que en el año 1991 el 87,2% de este ecosistema se concentraba en parches mayores a 10 000 ha. Sin embargo, para el año 2017 la superficie de matorral seco montano se concentraba en un 95,21% en fragmentos mayores a 10 000 ha. Estas características dentro del ecosistema implican un riesgo para la biodiversidad de la localidad, debido a que una menor cantidad de fragmentos de hábitat modifica la estructura y composición de las comunidades, la dinámica de las poblaciones y los procesos ecológicos de las especies.

La pérdida y disminución de bosques tropicales genera impactos negativos en la diversidad y riqueza del bosque, la cantidad y variedad de las poblaciones de aves, la persistencia de distintas especies de anfibios, reptiles, mamíferos, entre otros (Otavo y Echeverría, 2017). Según Biota Colombia (2012), es importante conocer como realmente funcionan los procesos ecológicos dentro de un ecosistema, además ampliar el conocimiento biológico sobre la distribución interna de flora y fauna y su composición, información esencial para alcanzar un alto nivel de conservación y disminuir la fragmentación acelerada de los bosques que albergan especies únicas e indispensables para los ecosistemas.

4.2.3 Impactos en la avifauna endémica del matorral seco montano

Según la UICN dentro del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba se han registrados varias especies endémicas de gran importancia para la conservación. Una de las especies de aves es *Eriocnemis godini*, caracterizada por habitar en remanentes de bosque nativo, de la cual se registraron

algunos ejemplares en el valle de Guayllabamba hace más de 150 años. Sin embargo, se presume que el desarrollo de la agricultura ha sido la causa principal que ha reducido casi en su totalidad su hábitat, entre los principales se encuentran cultivos frutales, maíz y caña de azúcar. Este factor ha sido muy significativo en la persistencia de la especie, además es una de las razones de la escasa información, es probable que se encuentre extinta ya que su último registro fue en 1850 (Bird Life, 2018).

Acorde con la lista roja de aves endémicas de la PUCE, otra especie de aves que se registró dentro del matorral seco montano de la cuenca evaluada fue *Eriocnemis nigrivestis*, especie que ha mermado su población a 250 individuos aproximadamente debido a la presión de las actividades humanas sobre su hábitat. Además, debido a la disminución de la conectividad del matorral seco montano y del paisaje, el comportamiento migratorio de la especie hacía las zonas de páramo para su alimentación ha cambiado, ya que esta especie tiende a realizar asensos en la época de florecimiento de *Palicourea huigrensis*, consecuentemente con la degradación del hábitat su ciclo anual se ha visto afectado (Arzuza, 2019). En un estudio realizado por Jahn y Santarder (2008), donde se afirman que las pequeñas subpoblaciones del zamarrillo pechinegro conocido comúnmente, han sufrido diversos cambios debido a la deforestación, fragmentación de su hábitat y por el cambio climático. Algunas investigaciones realizadas en diferentes localidades del mundo indican que la fragmentación y pérdida de ecosistemas, así como también el número y el tamaño de los parches presentan relación con la composición de poblaciones y a la estructura de comunidades (Cadotte et al., 2002).

4.2.4 Impactos de la modificación del matorral seco montano en los mamíferos endémicos

En el área de estudio se encontró una especie endémica de mamífero, *Coendou quichua*, especie localizada en la provincia de Pichincha, cantón Puenbo y a la cual se encuentra en parches de bosque nativo y poco alterados (Voss, 2003). Según Torres (2006), esta especie no presenta un área de ocupación fija, por lo tanto,

requiere de grandes extensiones de hábitat para poder subsistir. Al presentarse una disminución del bosque seco por la ya conocida agricultura extensiva y el proceso de urbanización que avanza dañando la estructura y configuración de los parches de bosque en el área de estudio, una de las problemáticas que se presenta para esta especie es el riesgo ante la presencia de sus predadores como el caso de *Leopardus pardalis* (Tirira, 2017). Además, el aumento del borde total del ecosistema, el cual para el año 2017 fue 3 266,46 km tiene implicancia en la fragmentación del área de estudio. Este se genera debido a la presencia de importantes arterias viales y el hecho de que este matorral seco montano se encuentra en las cercanías de la ciudad capital, razón por la cual la especie es susceptible a ser atropellada.

Resultados similares se han encontrado en estudios de algunas regiones colombianas, en donde se recalca la falta de información existente de las amenazas para las diferentes especies del género *Coendou*. Sin embargo, se han identificado algunas actividades que generan impactos y ponen en riesgo la capacidad de sobrevivencia de estas especies, las principales amenazas han sido la cacería, el tráfico de especies silvestres, los atropellamientos, la destrucción de hábitat, entre otros (Racero et al., 2016). Además, al fragmentarse el paisaje, los patrones espaciales presentan variaciones y con ello los procesos ecológicos de las especies son susceptibles a amenazas, consecuentemente el fenómeno de fragmentación trae consigo resultados negativos en el comportamiento y estructuras de las poblaciones, con mayor énfasis en el terreno ocupado y el número de individuos (Galindo, 2007).

4.2.5 Impactos de la fragmentación en las poblaciones de anfibios y reptiles

Se identificó la presencia de *Dipsas elegans*, una especie de reptil endémica de Ecuador, cuya distribución también abarca el matorral seco montano. Dentro de la cuenca del río Guayllabamba se encontraron registros de ejemplares en algunas parroquias como Cumbayá, el Quinche y Guayllabamba, mismas en donde se localiza el ecosistema evaluado. Estos sitios se han ido transformando a zonas urbanas ante el incremento demográfico constante dentro del Distrito Metropolitano de Quito y la cuenca en estudio en general, lo que se traduce en la pérdida y fragmentación tanto del matorral seco montano como de los demás ecosistemas, así

como también la modificación de los patrones espaciales. Sin embargo, se estima que la especie antes mencionada tendría una alta capacidad de adaptación ante la expansión urbana, debido a que se tiene registros en diferentes localidades con características ambientales diferentes (Valencia et al., 2017).

Resultados similares se encontraron en la investigación de Carrillo (2015), quien corrobora la presencia de esta especie en los bosques tropicales, montanos bajos muy húmedos y en los matorrales montano en la cuenca del río Guayllabamba, además se menciona que una de las amenazas para la especie es la devastación de la cobertura vegetal de los bosques, lo cual afecta su ciclo de vida y en especial su proceso reproductivo. Un estudio realizado en el bosque seco tropical en Córdoba, Colombia, afirma que la alteración de los bosques está directamente relacionada con la disminución de área total, pérdida de la calidad del hábitat y el aumento de la intervención humana, además se menciona que las especies de reptiles son extremadamente vulnerables a procesos de extinción debido a los efectos del borde y a la pérdida y fragmentación del hábitat (Cogollo y Urbina, 2008). Esto a razón de que la fragmentación del paisaje genera una secuencia de afectaciones, en primera instancia hacía los patrones espaciales y posteriormente a los procesos ecológicos de las especies; en especial a la movilidad de estas entre los diferentes parches de hábitat, lo que se resumen en una disminución de la conectividad del paisaje (Gurrutxaga, 2006).

De igual manera, tomando como referencia la base de datos de la UICN y de la plataforma virtual de la PUCE se encontró que dentro del matorral seco montano en la cuenca de estudio existe la presencia de una especie de anfibio endémica *Atelopus ignescens*, esta se encuentra amenazadas por la alteración de este ecosistema ya que una característica de la especie es la migración y al modificarse su hábitat ante la presencia de la zona urbana, así como también las zonas de agrícolas muchos ejemplares mueren atropellados en las arterias viales, a tal punto que se ha observado una reducción significativa en las poblaciones de esta especie (Ron et al., 2003). Además, el cambio climático ha mermado la población debido a que la especie no ha logrado adaptarse a este fenómeno, razón por la cual en la

actualidad es complicado observar un ejemplar en zonas en donde se encontraba comúnmente. La variación de la temperatura es una de las consecuencias de la fragmentación de ecosistemas, esto influye en las condiciones de los territorios y a la vez ocasiona repercusiones en las especies de flora y fauna (Banco de Occidente, 2006).

Esta información concuerda con lo reportado en un estudio realizado en los Andes tropicales de Ecuador, donde se menciona que a partir del año 1988 no se han generado registros de avistamiento de esta especie, y unos de los factores que se considera ante el estado crítico de la especie es la variación climática, así como también la acción de algunos patógenos que puede derivarse de la alteración de los patrones espaciales en el área de estudio (Ron et al.,2003).

4.2.6 Los patrones espaciales y su incidencia en las especies florísticas

El matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba presenta una variedad de especies endémicas de flora, según la información base validada por el Libro rojo de plantas endémicas del Ecuador en este estudio se determinó la presencia de *Coursetia gracilis*, esta especie es un tipo de arbusto el cual se distribuye en los bosques secos ubicados en el norte del país, dentro de los valles del Chota y Guayllabamba. Además, en concordancia con este estudio y con los datos disponibles en el portal web de la PUCE se identificó que una de las principales amenazas para la especie es el avance de la frontera agrícola, debido a que esta especie solo puede desarrollarse en suelos arenosos, los cuales están siendo transformados a cultivos de frutales o caña de azúcar (Neill, 2017).

Otra de las especies encontradas fue *Chamaesyce jamesonii*, especie cuyos registros indican situarse dentro de dos sitios importantes en la provincia de Pichincha como son: en las cercanías del volcán Pululahua y en el valle de Guayllabamba. Según este estudio dentro de las localidades en donde se determinó la existencia del matorral seco montano la principal amenaza para este ecosistema es la presencia de las áreas de cultivos y pastos, actividades responsables de los cambios de la cobertura vegetal y de alterar la persistencia de las especies. Los resultados

obtenidos tienen concordancia con la información que se cuenta a nivel nacional con relación a esta especie, en donde se indica que las malas técnicas de manejo de pastos como la quema es uno de los principales factores para que esta especie haya sido catalogada como vulnerable dentro del Libro Rojo del país (Cerón et al., 2017).

Además, especies de flora como *Lepidium quitense*, *Cnidoscolus aequatoriensis* y *Phaedranassa viridiflora*, fueron identificadas dentro del matorral seco montano evaluado. Según la base de datos del Libro rojo de especies endémicas del Ecuador se determinó que estas especies y las demás en general presentan amenazas comunes, destacando el caso del avance de la frontera agrícola y ganadero, las malas prácticas de cultivos y pastoreo empleados por los grupos sociales, también el crecimiento poblacional que ha ocasionado el incremento de espacios destinados para la infraestructura humana, han sido determinantes para la subsistencia de las poblaciones de flora antes mencionadas, debido a que se observa una clara modificación del paisaje en la cuenca, y la superficie del matorral seco montano, y con ello la variación de las características ambientales de este ecosistema.

La fragmentación de un paisaje y los cambios en los patrones espaciales implican un riesgo para la persistencia de las poblaciones de especies de flora, dando como resultado poblaciones situadas en fragmentos de hábitat reducidos, lo que conlleva una disminución de la variabilidad genética al complicarse la interacción flora y fauna que constituye un factor importante en el éxito de reproducción de las especies vegetales (Valdés, 2011). El proceso de cambio de uso de suelo es un problema de mucha incidencia en la conservación de la biodiversidad, debido a que las especies al tener que ceder sus espacios naturales ante las actividades humanas tienden a extinguirse, además los suelos de bosque seco no son considerados aptos para la agricultura, por lo tanto, son degradados con facilidad, y su regeneración demanda un margen de tiempo considerable (Banco de Occidente, 2006).

Tabla 13. Vinculación entre los patrones espaciales reportados en el presente estudio y procesos ecológicos de especies amenazadas de la cuenca del río Guayllabamba.

Patrón espacial del matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba	Impactos ecológicos reportados por otros estudios para especies amenazadas				
	Especies	Categoría Vigente	Fuente	Impactos	Referencia
Pérdida del matorral seco montano en 30%.	<i>Eriocnemis godini</i>	Peligro crítico (CR)	UICN-LIBRO ROJO	La deforestación y fragmentación afecta el tamaño de las poblaciones de aves que ocupan parches >1 000 ha. La composición y la estructura del bosque es un componente clave para la subsistencia de las aves. Son especies residentes y migratorias, causa por la cual se han convertido en más vulnerables a los cambios permanentes del hábitat.	Bird Life, 2018
	<i>Eriocnemis nigrivestis</i>	Peligro crítico (CR)	UICN-LIBRO ROJO		
Ecosistema Matorral seco montano dividido en 2 351 parches. Disminución de la conectividad entre los parches del matorral seco montano.	<i>Atelopus coynei</i>	Peligro crítico (CR)	UICN	Especie severamente afectada por la alteración de su hábitat. La destrucción y fragmentación de parches >1 000 ha genera un complicado proceso reproductivo de las especies, incrementándose el riesgo de supervivencia en las primeras fases de desarrollo de las mismas y por ende en todo el ciclo de vida.	Banco de Occidente, 2006
	<i>Atelopus ignescens</i>	Peligro crítico (CR)	UICN		

Reducción del índice del parche más grande en 2%. División del paisaje en fragmentos <10 000ha.	<i>Coendou quichua</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO	Se encuentra en parches de bosque nativo y poco alterados La fragmentación y disminución del índice del parche más grande, genera menos disponibilidad de alimento y lugares de refugio. Especie que requiere parches de 200 000 ha para subsistir. Se incrementa su vulnerabilidad en relación a su predador directo <i>Leopardus pardalis</i> .	Voss, 2003; Torres, 2006; Tirira, 2017
Pérdida y fragmentación del bosque. Reducción del área total de matorral seco montano. Aumento de la longitud del borde total en 10 600 km	<i>Dipsas elegans</i>	Vulnerable (VU)	UICN	Es conocida por su capacidad de adaptación y tolerar algunas perturbaciones, mas no persiste a la destrucción total de su hábitat. El cambio en los patrones del paisaje y la estructura de este ecosistema influye en la persistencia de esta especie que habita superficies de 200 000 ha.	Valencia et al., 2017
Pérdida de cobertura en 30%. Variación del número y tamaño de parches. 85 parches discontinuos de	<i>Coursetia gracilis</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO	La modificación del paisaje y las actividades humanas han ocasionado un cambio en el uso y estructura del suelo.	Neill, 2017
	<i>Chamaesyce jamesonii</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO	La disponibilidad de zonas adecuadas para la subsistencia de especies endémicas de flora que ocupan 200 000 ha se reduce y el riesgo de extinción va en aumento.	
	<i>Senecio iscoensis</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO		

matorral seco montano.	<i>Lepidium quitense</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO	La disminución de la conectividad genera alteración en la dispersión de especies de flora.
Disminución de la conectividad entre parches.	<i>Cnidocolus aequatoriensis</i>	Vulnerable (VU)	LIBRO ROJO	
	<i>Phaedranassa viridiflora</i>	En Pelígro (EN)	LIBRO ROJO	

4.3 Estrategias de manejo y conservación

A continuación, se presentan detalladamente los resultados de conectividad e información complementaria obtenida mediante el cálculo dIIC y el desglose de las fracciones que lo componen, a través de la aplicación del software Conefor 2.6 y su extensión al ArcGIS 10.4. Mediante estos resultados se generaron diferentes mapas de los índices calculados y de los corredores biológicos, proceso que permitió llevar a cabo el Modelo Parche-Corredor-Matriz.

4.3.1 Identificación de áreas prioritarias del matorral seco montano

Para los parches que conforman el matorral seco montano se obtuvo el nivel de importancia bajo el índice integral de conectividad (dIIC), además se desarrolló el análisis de las fracciones que componen el dIIC como: dIICintra, dIICflux y dIICconnector. Mediante este cálculo se identificó y priorizó los parches del matorral seco montano, tomando en cuenta su contribución para conectividad global del matorral seco montano. Los resultados son presentados de manera gráfica y dividida según la clasificación de mínimo, medio y máximo referente a su importancia.

En una investigación de conectividad forestal realizada en México, se menciona que el cálculo del dIIC se basa en la utilización de dos elementos que conforman el paisaje, la estructura que hace referencia a la distancia entre parches y la funcionalidad donde se identifica el área de cada parche. En este estudio se obtuvo un valor de 73,2% de dIIC calculado a una distancia de 1,1 km dando como categoría muy alta según su clasificación (Villavicencio et al., 2017).

En cuanto a los resultados del dIIC en este estudio a un kilómetro de distancia se obtuvo un valor que oscila de 0 a 98%, el valor mínimo 0,009% demostró la alta fragmentación que implica dificultad para conexión de parches, el valor máximo 98% permitió identificar y priorizar los parches de mayor importancia los cuales necesitan ser conservados y conectados para prevalecer sus funciones internas y externas (Figura 11).

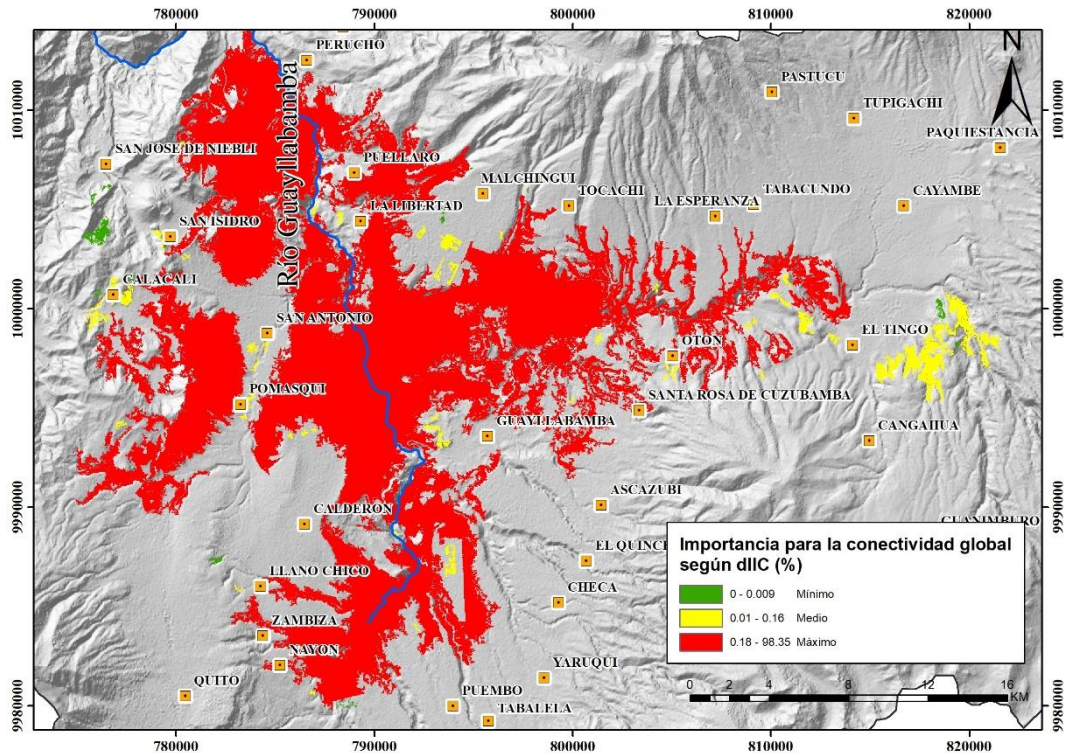


Figura 11. Importancia de los parches para la conectividad global del matorral seco montano, dIIC %.

Saura y Rubio (2010) mencionan la importancia de analizar los resultados de las fracciones de manera individual debido a las diferentes afectaciones que difieren en la disponibilidad y conexión del hábitat; el dIICintra permitió visualizar la disponibilidad de hábitat que existe dentro de los parches. Los datos obtenidos en el estudio para la primera fracción comprenden un rango de 0 a 87%. Donde existieron valores considerados como mínimos de 0,0007%, lo que significa la presencia de parches extremadamente pequeños, estos posiblemente pueden ser usados como puentes para conectar parches de gran tamaño y obtener la disponibilidad de hábitat total. Sin embargo, el valor máximo fue de 87% lo que permitió identificar los parches de importancia (Figura 12).

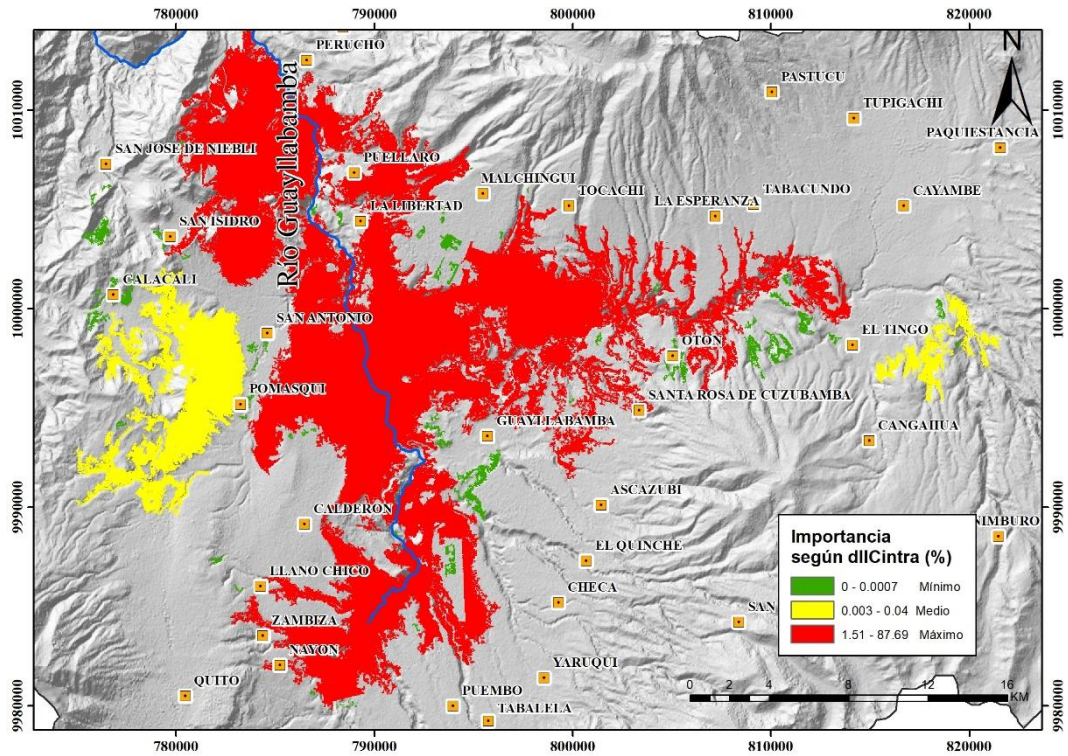


Figura 12. Importancia de cada uno de los parches del matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICintra %.

Mediante el cálculo del dIICflux se identificó la mayor cantidad de flujo de dispersión que recibe cada uno de los parches conectados (Saura y Rubio, 2010). Los datos obtenidos para la segunda fracción de dIICflux comprende un rango de 0 a 10%. Existieron valores que se consideraron como mínimos de 0,09% lo que demuestra la dispersión de los parches. Sin embargo, el valor máximo fue de 10% lo cual permitió identificar los parches donde existe el mayor flujo de dispersión y las zonas de prioridad. Estos parches abarcan dimensiones que oscilan desde 97 147 ha hasta 3 944,98 ha, cubriendo la mayor parte de la superficie total del matorral seco montano, permitiendo el éxito del intercambio genético y la protección de la diversidad (Figura 13).

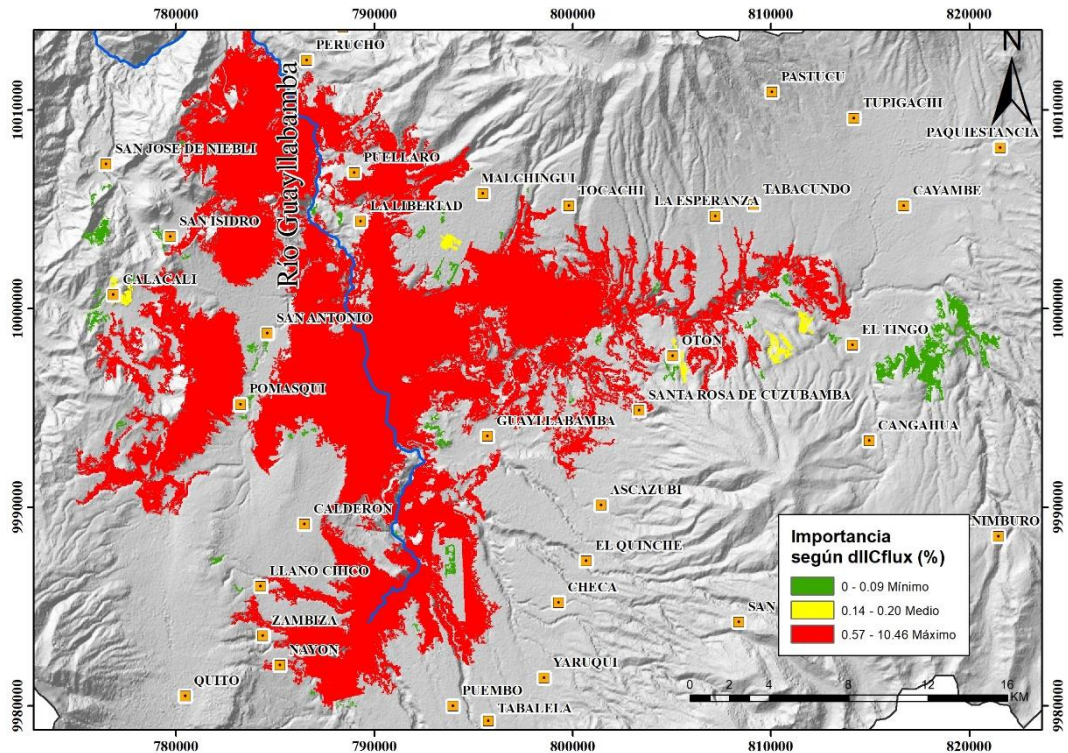


Figura 13. Importancia de cada uno de los parches del matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICflux %.

La fracción dIICconnector identifica la relevancia de los diferentes parches de matorral seco montano en función a su ubicación dentro de las redes de conectividad, además el cálculo de la tercera fracción analiza la contribución del parche como un posible puente de conexión o enlace entre las zonas de hábitat designadas como prioritarias. Prácticamente se evaluó la facilidad de flujo dispersivo entre parches dependiendo únicamente de su ubicación en el mosaico ya que pueden ser potencialmente útiles para la conectividad global del matorral seco montano (Figura 14) (De la Cruz y Maestre, 2013),

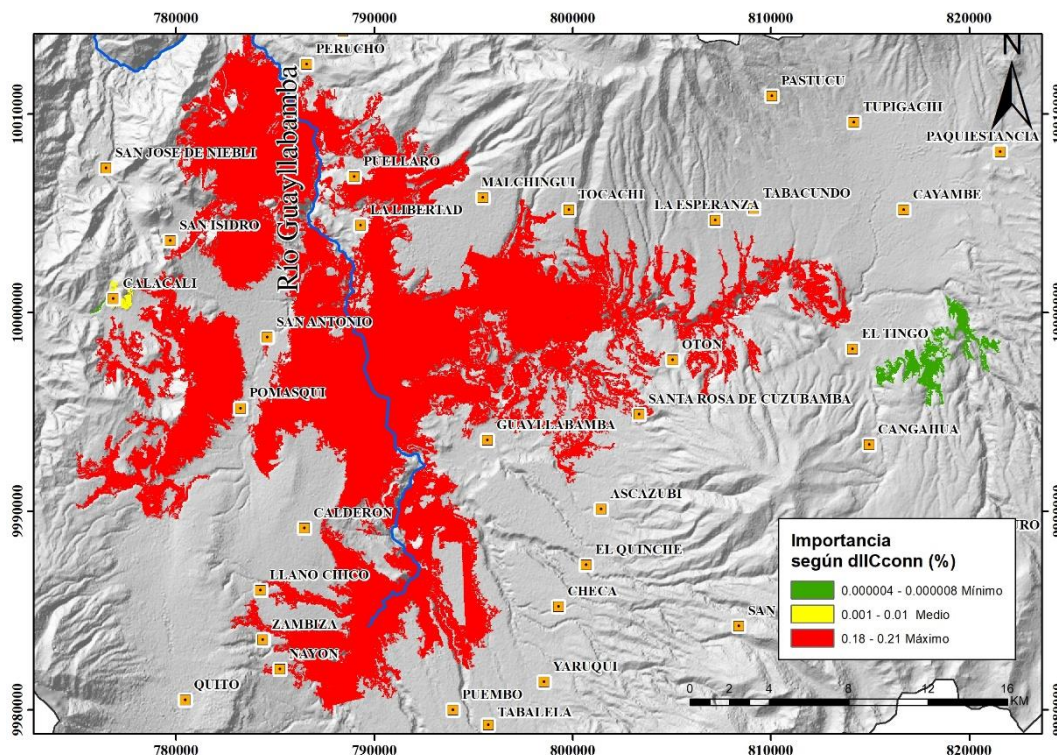


Figura 14. Importancia de cada uno de los parches de hábitat de matorral seco montano de acuerdo con la fracción dIICconnector %.

Finalmente, se identificaron los parches con mayor importancia para el mantenimiento de la conectividad global del ecosistema matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba, mediante el dIIC. Se puede evidenciar como la importancia de los parches se concentra en los de mayor superficie.

En concreto, se priorizó siete parches que abarcan una superficie total de 30 826,11 ha, es decir el 86% del matorral seco montano, que contribuyen al libre desplazamiento de las especies (Tabla 14).

Tabla 14. Índice Integral de Conectividad (dIIC) y área total para siete parches prioritarios del matorral seco montano.

Node	dIIC (%)	Área (ha)
58	0,014259	97,147
46	0,047545	685,029
62	0,144423	75,401
49	0,040231	891,007
84	983,522	30038,8
50	0,401485	639,147
29	9 643,566	3944,98

Valdiviezo (2018), menciona que una de las razones para mantener la continuidad de los fragmentos es facilitar el flujo genético, la migración y dispersión entre hábitats. Por tanto, se proponen 14 corredores biológicos de 100 m de amplitud que abarcan una superficie total de 707,04 ha. Estos corredores conectan a los siete parches prioritarios, con los cuales se mejoraría la interconexión de los nodos de matorral seco montano, para garantizar la conservación de la biodiversidad genética de flora y fauna endémica del ecosistema matorral seco montano (Tabla 15).

Tabla 15. Superficie de cada uno de los 14 corredores de la red de conectividad en el matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.

N° corredor	Área (ha)	Longitud (km)
1	26,06	1,26
2	34,44	1,68
3	32,99	1,61
4	91,42	4,53
5	145,77	7,25
6	89,78	4,44
7	94,55	4,68
8	35,50	1,93
9	43,35	2,37
10	9,78	0,45
11	13,14	0,62
12	18,95	0,90
13	21	1,01
14	50,30	2,47

Estos corredores biológicos tienen la finalidad de garantizar la biodiversidad y generar espacios apropiados para el desplazamiento de aves, mamíferos, reptiles y anfibios, en especial de aquellas especies endémicas del matorral seco montano que se encuentran registradas como en peligro crítico, peligro y vulnerables (Figura 15). Según Schlönvoigt (2014), la implementación de corredores biológicos es una estrategia que busca prevenir la fragmentación del paisaje, mediante enlaces que conecten hábitats distintos. En una investigación realizada en Costa Rica se priorizaron 15 zonas de todo el país incluyendo áreas protegidas, hábitats naturales y ecosistemas de importancia que fueron conectados a través de una red de enlaces, con el propósito de proteger la biodiversidad, las funciones ecosistémicas y

servicios ambientales que estas zonas brindan. Además, se menciona que los corredores biológicos al no ser áreas protegidas necesitan mayor compromiso entre la comunidad e instituciones (Schlönvoigt, 2019).

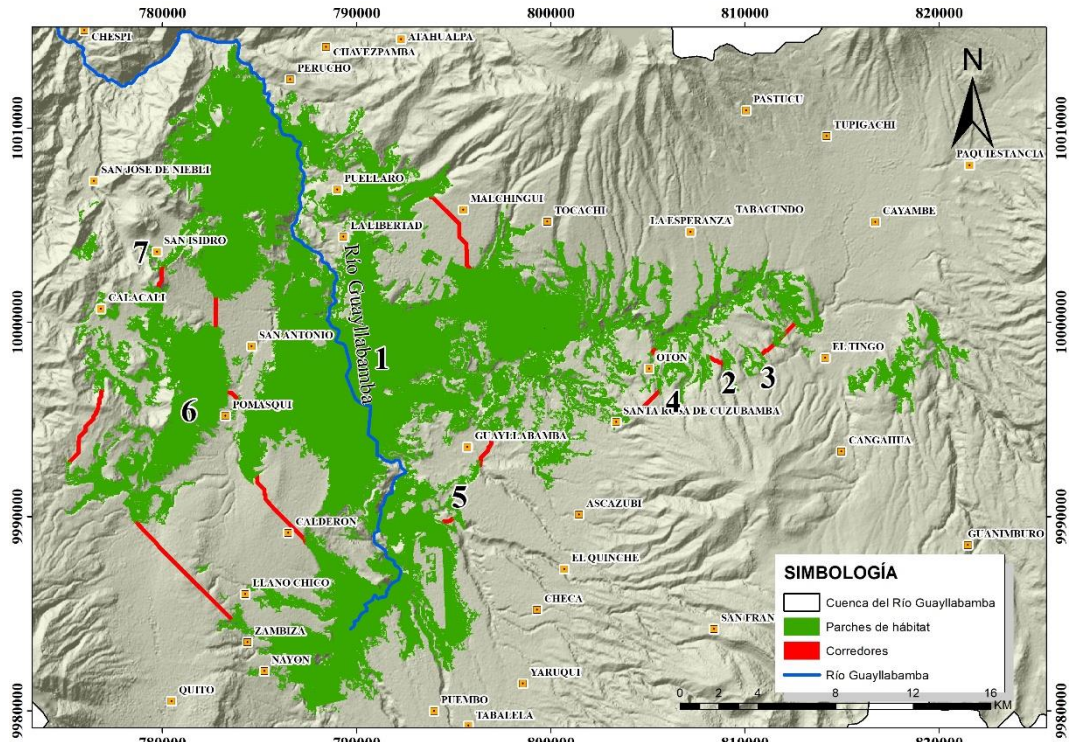


Figura 15. Corredores biológicos para asegurar la continuidad del paisaje

4.3.2 Estrategias manejo y conservación del matorral seco montano

4.3.2.1 Estrategia 1. Restauración ecológica multinivel del matorral seco montano

Ubicación

Se aplicará restauración ecológica desde diferentes niveles en las superficies que conforman el sistema de corredores ecológicos del matorral seco montano, de acuerdo con la evaluación de la conectividad del ecosistema.

Justificación

La restauración ecológica en la actualidad es una herramienta de alto impacto que contribuye a la conservación de la biodiversidad. Para realizar este proceso de forma eficiente es necesario comprender la dimensión del territorio y todos los componentes que forman parte de él. Es importante establecer un enfoque de conservación que involucre la superficie del ecosistema matorral seco montano y los procesos ecológicos que se desarrollan dentro de este espacio, y así garantizar la sustentabilidad de este sistema natural. Por lo tanto, ante la necesidad de contribuir en el manejo de este importante ecosistema se proponen las técnicas de nucleación por ser consideradas herramientas que aportan en la restauración de la conectividad del paisaje y del ecosistema, esto mediante el manejo de especies de flora y el desarrollo de hábitats con excelentes condiciones ambientales, de tal manera que se cree vínculos con las especies de fauna y así el desarrollo de nuevas poblaciones en las zonas fragmentadas. Ante estas estrategias, es importante focalizar la atención en los resultados provenientes de dos escalas, a nivel local en donde se hace referencia a las zonas que necesitan restaurarse y a nivel de contexto en los sitios aislados a causa de los efectos de la fragmentación. Según Yarraton y Morrison (1974), mencionan la importancia de las técnicas de nucleación para recuperar la conectividad del paisaje tomando como referencia la capacidad de ciertas especies para formar núcleos de biodiversidad, atraer organismos y mejorar la calidad de los ecosistemas.

Alcance

Restaurar la conectividad biológica funcional y estructural del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba para garantizar la sostenibilidad de los procesos ecológicos y la conservación de la biodiversidad del ecosistema.

Objetivos específicos

- Determinar las áreas de importancia entre los parches de matorral seco montano.
- Instaurar plantaciones de especies endémicas según las técnicas de nucleación.

- Evaluar la eficiencia de las técnicas de nucleación mediante la medición de la tasa de crecimiento y supervivencia de las especies plantadas.

Técnicas

Nucleación: Esta técnica es muy importante debido a que constituye el principal mecanismo para la formación de comunidades y la recuperación de poblaciones en ambientes degradados, así como para la recuperación de las conexiones entre parches de hábitat, debido a que mediante esta técnica los procesos ecológicos que se suscitan en el interior de estos núcleos dan inicio a procesos de sucesión ecológica en las zonas afectadas. Sin embargo, resulta crucial manejar correctamente esta metodología y usar las especies correctas para la restauración, por lo tanto, las especies endémicas de una localidad son las más indicadas para llevar a cabo este proceso debido a su adaptación a las condiciones ambientales de cada ecosistema (Tres y Reis, 2007). Al tomar como referencia una superficie de una hectárea de terreno se puede crear núcleos de 13, 21 o 25 unidades vegetales, dicho sistema puede estar conformado por una sola especie o por una combinación para generar heterogeneidad, además para optimizar recursos y esfuerzos se recomienda usar distancias de 1m entre cada unidad plantada para garantizar supervivencia de cada conjunto de plántulas (Anderson, 1953). Ante esta metodología se realiza la propuesta de aplicar los núcleos para la restauración con las especies endémicas identificadas dentro de este estudio, tales como *Coursetia gracilis*, *Chamaesyce jamesonii*, *Lepidium quitense*, *Cnidoscolus aequatoriensis* y *Phaedranassa viridiflora*.

Transposición de suelos: Esta es una metodología cuyo objetivo es recuperar ecosistemas tomando como principal elemento al suelo y la restauración y conservación de sus propiedades edáficas. Consiste en tomar cantidades de suelo de sitios de referencia del mismo ecosistema en buenas condiciones, con presencia de material orgánico y microorganismos, de esa manera potenciar la sucesión ecológica. Para su aplicación en una superficie de una hectárea se seleccionan ocho sitios estratégicos en los cuales se excavan orificios de 40 x 40 cm y de 10 cm de profundidad en donde se deposita el sustrato en buen estado (UICN, 2016).

Transposición de gavillas o abrigos artificiales: Esta técnica se basa principalmente en captar la atención y lograr la presencia de las especies de fauna mediante la acumulación de remanentes forestales y rocas dentro de las superficies en proceso de restauración, debido al papel esencial que cumplen los grupos animales en la dispersión de semillas y que se refleja en el incremento de la conectividad del paisaje, esto debido a que se mejora los vínculos entre flora y fauna y los procesos ecológicos que se generan en una superficie y cuyos efectos cumplen un patrón de dispersión (Tres y Reis, 2007).

Posadores artificiales: Considerada como la mejor alternativa para restaurar la conectividad del paisaje debido a que genera flujos biológicos bidireccionales. Esta estructura busca atraer a las especies las cuales realizan depósitos de semillas sobre las superficies a restaurar y forman núcleos ideales para mejorar la conexión entre parches de hábitat. Básicamente este método se desarrolla según la funcionalidad de las cadenas tróficas y sus procesos dentro del territorio en donde se busca disminuir el impacto de la matriz sobre los fragmentos del ecosistema (Tres y Reis, 2007).

Adicionalmente se muestran las actividades a desarrollarse para la restauración multinivel del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.

Actividades

1. Elaboración un mapa temático para seleccionar los parches de matorral seco montano de mayor importancia para la conservación.
2. Diagnóstico en campo de los parches seleccionados para conservar.

Nucleación

1. Implementar un vivero de especies forestales, en donde se priorice el manejo de las especies endémicas a usarse en la restauración.
2. Realizar campañas de siembra aplicando la técnica de nucleación.

Transposición de suelos

1. Extracción de superficies de suelo de los parches de hábitat en excelentes condiciones en cantidades equivalentes a 1m².

Transposición de gavillas o abrigos superficiales

1. Formar abrigos superficiales para las especies de fauna mediante la acumulación de residuos forestales.
2. Establecer un control de las condiciones óptimas para la generación de materia orgánica por la actividad de los microorganismos.
3. Aprovechar el resultado de la descomposición de los residuos sobre los núcleos establecidos para restaurar.

Posaderos artificiales

1. Incentivar el aprovechamiento de trozos de madera como una alternativa para la implementación de estructuras de soporte para aves y murciélagos.
2. Elaborar prototipos a base de madera y colocar alimento de preferencia para las especies de aves que se quiere llamar la atención, es importante considerar una altura de un metro para su ubicación.
3. Preparar el sustrato del suelo en la superficie situada bajo la estructura del posadero artificial con el objetivo de garantizar la germinación de las plántulas presentes en las excretas de las especies.

Responsables: GAD provincial de Pichincha, GADS cantonales, GADS parroquiales, comunidad, instituciones educativas.

4.3.2.2 Estrategia 2. La agro-conservación como herramienta para la restauración de la matriz del paisaje

Ubicación

Se debe implementar medidas de agro-conservación sobre la superficie de la matriz dominante del paisaje, es decir en las zonas de producción agrícola y pecuaria, focalizando un esfuerzo mayor en las zonas indicadas según el índice Icintra.

Justificación

La matriz es el elemento de mayor porcentaje dentro del paisaje, por ende, es lo que se encuentra más próximo a los parches de hábitat, de tal manera que su presencia

tiene una clara incidencia en la dinámica desarrollada en un ecosistema. El manejo sustentable de la matriz genera condiciones ideales para que se lleven a cabo los procesos ecológicos de las especies, también regula la funcionalidad de los parches de hábitat y determina el grado de conectividad y la estructura del paisaje. Este componente del paisaje representa un hábitat diferente al de los parches, sin embargo, algunas especies tienen la capacidad de aprovechar estos recursos, por lo tanto, la matriz es de vital importancia para garantizar la viabilidad de las poblaciones y la restauración de los espacios degradados. Además, al analizar la ecología de las especies se comprende que los procesos ecológicos no solo se desarrollan en los parches de hábitat, si no existe una interacción parche-matriz mediante la cual los organismos se benefician de los servicios presentes en ambos elementos. Según la importante función de la matriz resulta esencial manejar su estructura para lograr alcanzar un mayor beneficio por parte de las especies y lograr su subsistencia, por lo tanto, es necesario establecer medidas de conservación las cuales se enfoquen en homogeneizar la composición y estructura de la matriz con la de los parches, y así reducir el efecto de borde y evitar la pérdida de poblaciones, de tal manera que se logre conseguir un paisaje viable (Herrera, 2011).

Por lo tanto, se propone implementar estrategias de agro-conservación en la superficie que comprende la matriz del paisaje, especialmente en las zonas circundantes a los parches identificados de mayor importancia y de esta manera trabajar para mejorar la conectividad de este territorio. Para el cumplimiento de este objetivo, se plantean a los sistemas agroforestales como una herramienta para mantener la biodiversidad, los procesos ecológicos y la inserción de nuevas especies dentro de un sistema natural, adicionalmente se destaca la colaboración de esta estrategia en la dispersión de especies desde los parches hacía un contexto externo y así restaurar el paisaje (Moreno-Calles y Casas, 2008).

Alcance

Conservar la estructura y funcionalidad de los parches de matorral seco montano mediante la implementación de sistemas agroforestales para asegurar el desarrollo de los procesos ecológicos dentro del ecosistema y el paisaje de la cuenca del río Guayllabamba.

Objetivos específicos

- Identificar los parches de mayor importancia para la conservación del ecosistema matorral seco montano.
- Realizar un manejo de la matriz del paisaje mediante sistemas agroforestales.
- Establecer programas de educación, aprovechamiento e investigación con fines de conservación.

Técnicas

Cercas vivas: son hábitats rectilíneos contruidos en zonas agrícolas, con la finalidad de delimitar sus áreas de pasto, cultivo y evitar daños por la presencia de animales. Las especies arbóreas presentes en las cercas vivas sirven como corredores de paisajes fragmentados, mantienen la conectividad boscosa, ayudan a la migración de especies, contribuyen a la conservación de la biodiversidad local, aseguran su supervivencia mediante el continuo flujo genético, conservación de suelos, brindan sombra para el ganado e ingresos económicos mediante la leña y madera que se puede extraer (Harvey et al., 2003).

Harvey y Chacón (2006), mencionan que la densidad de las cercas vivas es directamente proporcional a la abundancia y riqueza de aves por tal motivo son consideradas como un hábitat potencial. El tamaño y forma de las cercas vivas dependen de diferentes factores como: la extensión de la zona agrícola, la densidad de la copa de los árboles, la distancia de siembra que puede ser de 3 a 5 m y el manejo que realiza cada agricultor con respecto a las podas.

Cortinas rompevientos: son líneas conformadas por árboles o arbustos que tienen diferentes tamaños, los cuales son seleccionados bajo varios parámetros como su adaptación a la zona, su capacidad de soportar épocas extensas de verano, que tenga rápido crecimiento y se prioriza los árboles leguminosos por ser excelentes fijadores de nitrógeno (Mota et al., 2010). Son conocidos también como barreras físicas y fajas de albergue por servir de hábitat a algunas especies, la cortina rompevientos es muy común en zonas agrícolas, pastizales, suelo sin cobertura vegetal y áreas pobladas. La aplicación de esta práctica reduce considerablemente la fuerza del viento protegiendo las diferentes plantaciones y además retiene la humedad, estas

barreras son orientadas de norte a sur y de este a oeste, diseñadas de preferencia en forma cuadrada o circular para asegurar la protección (Arsenio et al., 2014).

Agrosilvopastoriles: es el sistema más adecuado para desarrollarse en zonas semiáridas, donde se incluye componentes agrícolas, pecuarios y forestales, esta práctica pretende un uso integrado y sostenible de los recursos naturales. Se basa en la división del área productiva en tres parcelas donde cada una tiene su función definida como la producción agrícola, actividad pastoril y producción de madera, esta división es recomendada para áreas superiores a tres hectáreas (Araújo y Cavalcante, 2001).

El sistema agrosilvopastoril es considerado como una alternativa de producción agroecológica, que brinda beneficios en conjunto para el ambiente y la comunidad, mediante esta técnica es posible detener la degradación del suelo, elevar la cantidad de materia orgánica a partir del estiércol de ganado y de los residuos de la producción forestal, generar un ambiente agradable, regular la temperatura, optimizar los recursos y contribuir en la economía de las comunidades productoras mejorando su calidad de vida (Zambrano, 2020).

Actividades

1. Elaboración un mapa temático para identificar los parches prioritarios a conservar.
2. Visitas in situ para elaborar un diagnóstico de la matriz aledaña a los parches de importancia.
3. Recolección de semillas de las especies endémicas y propias del ecosistema matorral seco montano.
4. Establecimiento de viveros forestales priorizando las especies endémicas identificadas en el presente estudio.
5. Visualización de las condiciones ambientales de la matriz, sus potencialidades y necesidades.
6. Preparación del suelo y sus condiciones para la siembra de las especies agrícolas y forestales.
7. Realización de experimentos de restauración ecológica para evaluar la conectividad del territorio.

8. Establecimiento de programas de seguimiento y control de los sitios a restaurar para implementar mejoras.
9. Dotación de apoyo técnico para la planificación de los cultivos en las zonas identificadas de mayor importancia.

Responsables: GAD provincial de Pichincha, GADS cantonales, GADS parroquiales, comunidad, instituciones educativas.

4.3.2.3 Estrategia 3. Educación ambiental

Ubicación

La estrategia se desarrollará con la participación de la ciudadanía en general, pero con mayor énfasis en la población situada en los territorios que comprenden la superficie de del ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.

Justificación

El desarrollo de conocimiento sobre el estado de los ecosistemas permite un óptimo manejo de los recursos naturales, además la información que se genera constituye una herramienta de mucha utilidad para la planificación de actividades de conservación de la biodiversidad, y ante la deficiente información generada en el país en materia ambiental resulta indispensable impulsar programas de investigación multidisciplinarios que evalúen las condiciones de los territorios y del patrimonio natural. Adicionalmente la participación social se considera fundamental para alcanzar una conservación exitosa, debido a que la población humana es quien genera mayor presión e impactos sobre la biodiversidad, sin embargo, también es el principal eslabón para iniciar procesos de recuperación y manejo del medio ambiente y sus componentes, así como también alcanzar un desarrollo sustentable respetando los procesos ecológicos que se suscitan en los diferentes niveles de organización biológica y en donde mediante el aprendizaje la sociedad en general desarrolle una nueva forma integral de ver el mundo y una sensibilidad por la naturaleza y los servicios que se derivan de ella al estar bien conservada (Vázquez y Ulloa, 1997).

Alcance

Fortalecer e incentivar iniciativas de investigación multidisciplinaria y difusión de información acerca del estado del matorral seco montano para fomentar una cultura y conciencia ambiental en los grupos sociales de la cuenca del río Guayllabamba.

Objetivos específicos

- Establecer los campos de investigación a realizarse en el matorral seco montano de la cuenca del río Guayllabamba.
- Identificar los grupos sociales para el desarrollo de procesos de capacitación y educación ambiental.
- Evaluar el conocimiento adquirido por la población beneficiada de los programas de aprendizaje.

Técnicas

Señales y marcas: elaboración de señalética y establecimiento de puntos estratégicos dentro de la superficie del bosque protector Jerusalem y sus alrededores, además uso de información que destaque las características e importancia del matorral seco montano, sus elementos y los servicios ecosistémicos provenientes de este ecosistema (Conservación y uso sostenible, 2005).

Publicaciones: realización de estudios multidisciplinarios de investigación vinculados a los aspectos ambientales del matorral seco montano para posteriormente publicarlos en revistas locales e internacionales y representen una herramienta de aprendizaje para la comunidad y fomente la conciencia ambiental en la ciudadanía (Giannuzzo, 2010).

Medios de comunicación en masa: elaboración de material audiovisual con contenido ambiental del ecosistema matorral seco montano, creación de convenios con medios de comunicación nacionales y diseño de plataformas virtuales para la difusión de información de forma permanente e interactiva (Bretones, 1997).

Senderos autoguiados: contratación y capacitación de personal especializado en temas turismo-ambientales, elaboración y promoción de paquetes turísticos con actividades a realizarse periódicamente para dar a conocer el matorral seco montano al público local-nacional y extranjero. Además, implementación de una red de senderos que abarquen la mayor superficie del ecosistema (Vidal y Moncada, 2006).

Conferencias: Establecimiento de un conjunto de conferencias según el calendario anual ambiental para difundir de conocimiento e información generada sobre investigaciones multidisciplinarias dentro de la cuenca del río Guayllabamba y el estado del matorral seco montano y los demás ecosistemas. Además de implementar una ordenanza que permita establecer conferencias de temas ambientales como una herramienta de educación para la población local (Eschenhagen, 2007).

Actividades

1. Elaboración un mapa temático para identificar los principales poblados e instituciones en donde se desarrollará la estrategia de educación ambiental.
2. Diseño de un programa de investigación multidisciplinaria dentro del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba.
3. Creación de vínculos de cooperación interinstitucional para proyectos de investigación y de educación ambiental en la colectividad.
4. Preparación de material educativo dinámico y participativo.
5. Adquisición y elaboración de equipos y materiales a emplearse en las diferentes técnicas de educación ambiental.
6. Dotación de personal técnico y capacitación para los elementos encargados de dirigir las diferentes técnicas.
7. Elaboración de un programa y metodología de evaluación sobre el conocimiento compartido.

Responsables: Ministerio del Ambiente y Agua, Ministerio de Educación, GAD provincial de Pichincha, GADS cantonales, GADS parroquiales, comunidad, instituciones educativas

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La estructura del matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba presentó cambios significativos durante el período de 26 años de evaluación, tiempo en el que la superficie de este ecosistema redujo considerablemente. Los principales factores que ocasionaron la pérdida de cobertura forestal dentro del área de estudio fueron el incremento de las zonas de pastos y cultivos y la expansión de la zona urbana ante la presencia de una masa poblacional representativa de la región. Este cambio generó fragmentación del hábitat, que se constató mediante la disminución del área total, relación media perímetro área y el índice del parche más grande y con el incremento de la longitud del borde total.
- El ecosistema matorral seco montano dentro de la cuenca evaluada contiene 112 especies de flora y 34 especies de fauna, quienes se han adaptado a las difíciles condiciones climáticas de la zona. Se registraron especies endémicas de fauna como *Coendou quichua*, *Eriocnemis godini*, *Eriocnemis nigrivestis*, *Atelopus ignescens*, *Atelopus coynei* y *Dipsas elegans*. Además, especies endémicas de flora como *Coursetia gracilis*, *Chamaesyce jamesonii*, *Lepidium quitense*, *Cnidoscolus aequatoriensis* y *Phaedranassa viridiflora*. La persistencia de estas especies se ha reducido durante el período de evaluación, debido al proceso de fragmentación en la cuenca del río Guayllabamba y en el ecosistema matorral seco montano, que dificulta el desarrollo de los procesos ecológicos de las especies a causa de la disminución de la conectividad biológica en el territorio.
- La restauración de la conectividad del ecosistema matorral seco montano depende del manejo que se dé a la matriz del paisaje, por lo tanto, las estrategias de restauración multinivel de agro conservación constituyen la base para el desarrollo de la conectividad del paisaje entre fragmentos

prioritarios y la implementación de corredores biológicos, para mejorar el estado de conservación de las especies, asegurar la supervivencia a través del intercambio genético y dispersión.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda una resolución de 30 x 30 m o menos en las imágenes que se usan para la identificación de las coberturas presentes en el paisaje, es importante tomar en cuenta un porcentaje de nubes menor al 10% para garantizar la veracidad de la clasificación y de los resultados obtenidos.
- Se recomienda realizar una evaluación in situ del estado actual de las poblaciones presentes en el ecosistema matorral seco montano en la cuenca del río Guayllabamba, para validar los registros publicados por las instituciones dedicadas a la conservación de la biodiversidad.
- Se recomienda aplicar la metodología implementada en este estudio en otras cuencas hidrográficas que presenten ecosistemas degradados, fragmentados y reportados como en peligro crítico, con la finalidad de realizar un proceso de planificación sustentable del territorio.

REFERENCIAS

- Abad, K. (2020). Land use change and the usefulness of the periurban landscape at the Guayllabamba river basin in Ecuador. *Journal of Environmental Sciences*, 54(2), 2215-3896. <https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Acosta, E., y Rodríguez, G. (2015). *Influencia del programa socio bosque en la dinámica de los servicios ambientales de los bosques secos deciduos del Ecuador*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito.
- Aguayo, M., Pauchard, A., Azócar, G. y Parra, O. (2009). Land use change in the south-central Chile at the end of the 20th century. Understanding the spatio-temporal dynamics of the landscape. *Chilean journal of natural history*, 82(3), 361-374.
- Aguilar, H., Mora, R., y Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes aster, rapideye, spot 2 y landsat 8 con el módulo flash del software ENVI. *Revista Geográfica de América Central*, 53, 33-59. <https://doi.org/10.15359/rgac.2-53.2>
- Aguilera Benavente, F. (2010). Aplicación de métricas de ecología del paisaje para el análisis de patrones de ocupación urbana en el Área Metropolitana de Granada. *Anuales de Geografía*, 30, 9–29. <https://dx.doi.org/10.5209/AGUC>
- Aguirre, M., Kvist, L., y Sánchez, T. (2006). Bosques secos en Ecuador y su diversidad. *Botánica Económica de Los Andes Centrales*, (8), 162–187.
- Alarcón, L. (2017). *Análisis de fragmentación y conectividad ecológica entre relictos de cobertura vegetal asociada al área de influencia del río Cravo Sur en el Municipio de Yopal - Casanare- Colombia – 2017*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia.
- Alsparlan, E., Coskun, H. Alganci, U. (2009). Water quality determination of Kucukçekmece lake, turkey by using multispectral satellite data. *The Scientific World Journal*, 9, 1215–1229.

- Anderson, M. L. 1953. Planting in spaced groups. *Unasylva*, 7(2), 61-70.
- Araújo, J. y Cavalcante, F. (2001). *Sistemas de producción agrosilvopastoril para el semiárido nordestino*. En: sistemas agroforestales pecuarios, FAO Brasil.
- Arzuza, D. (2019). *Eriocnemis nigrivestis*. En: Freile, J. F., Poveda, C. 2019. Aves del Ecuador. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/avesweb/FichaEspecie/Eriocnemis%20nigrivestis>
- Armenteras, D., González, T., Retana, J., y Espelta, J. (Eds). (2016). Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. *Publicado por IBERO-REDD+*
- Arsenio, S., Calzadilla, M., Jiménez, M. y Rodríguez, Y. (2014). Establecimiento de cortinas rompevientos en el escenario agrario cubano. *Instituto de Investigaciones Agro-Forestales*.
- Arriaga, L. (2009). Implicaciones del cambio de uso de suelo en la biodiversidad de los matorrales xerófilos: un enfoque multiescalar. *Investigacion Ambiental*, 1 (1), 6-16.
- Arroyo-Rodríguez V, Moreno CE, Galán-Acedo C (2017) La ecología del paisaje en México: logros, desafíos y oportunidades en las ciencias biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 88, 42-51.
- Baddi, M. y Abreu, J. (2006). Metapopulation, resource conservation and sustainability. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 1 (1), 37-51.
- Baquero, F., Sierra, R., Ordoñez, L., Tipán, M., Espinoza, L., Ribera, M., Soria, P. (2004). La Vegetación de los Andes del Ecuador. *Memoria explicativa de los mapas de vegetación potencial y remanente de los Andes del Ecuador a escala 1:250.000 y del modelamiento predictivo con especies indicadoras*. EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAGRO/CDC - Jatun SachaIDivisión Geográfica - IGM. Quito.

- Banco Occidental. (2006). Bosque seco tropical Colombia. *Libros de la Colección Ecológica del Banco de Occidente*. Cali, Colombia.
- Bennet, A. (1999). *Linkages in landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. UICN, Gland, Switzerland and Cambridge, Reino Unido.
- Bentrup, G. (2008). *Zonas de amortiguamiento para conservación: lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes*. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación de Investigación Sur. 128 p.
- Bezaury, J. (2007). La conservación a nivel de paisaje: redes de áreas naturales protegidas, su designación internacional y otros espacios dedicados a la conservación, a la restauración y al aprovechamiento sustentable en México. *The Nature Conservancy – México* 6, 45-56
- Biota Colombia. (2012). Bosque seco en Colombia. *Revista Biota Colombiana, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos*,13(2).
- Blanes, J., Navarro, R., Bustamante, T., Moscoso, A., Muños, F. y Torre, A. (2003). Las zonas de amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad El caso de Ecuador, Perú y Bolivia. *Centro Boliviano de Estudios Multidisciplinarios*.
- Bland, L. (2018). *The IUCN Red List of Ecosystems*.
<https://iucnrle.org/blog/conservation-impacts-of-iucnrle/>
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad en el Ecuador*. Cuenca, Ecuador:Universitaria Abya-Yala.
- Brennan JM, Bender DJ, Contreras TA, Fahrig L (2002) Focal patch landscape studies for wildlife management: optimizing sampling effort across scales. In: Liu J, Taylor WW (eds). Integrating: landscape ecology into natural resource management. Cambridge University Press, Reino Unido, pp. 68–91.

- Bretones, M. (1997). La comunicación política mediática y sus dimensiones sociales. Universidad de Barcelona, Ecuador, pp. 137-196.
- Brito, J., Camacho, M. A., Romero, V. y Vallejo, A. (2019). *Mamíferos del Ecuador*. Versión 2019. Museo de Zoología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/mammaliaweb/>
- Calvo, A., y Ortiz, E. (2012). Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los períodos 1997 – 2000 y 2000-2005. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9(22), 10–21.
- Cabrera, A. (2015). *Diversidad, fragmentación y niveles de amenaza del ecosistema xerofítico en el Distrito Metropolitano de Quito, con énfasis en el potencial corredor Tropi-Andino*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.
- Carvajal, L. (2016). *Gestión y conservación de las cuencas de los ríos Guayllabamba y Blanco: Aplicación de un índice multimétrico basado en la información existente sobre macroinvertebrados acuáticos*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Carrillo, E. (2015). *Caracterización de la Herpetofauna Presente en la Reserva Ecológica Bosque Nublado “Santa Lucía”*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Cerón, C., Riina, R., Santiana, J. y Tye, A. (2017). *Chamaesyce jamesonii*. En: León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam, L. Endara, C. Ulloa y H. Navarrete (Eds). Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador. Publicaciones del Herbario, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. <https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/FichaEspecie/Chamaesyce%20jamesonii>
- Codette, M., Rakotonasolo, F., Ludovic, R. y Lovett-Doust, J. (2002). Tree and shrub diversity and abundance in fragmented littoral forest of southeastern Madagascar. *Biodiversity and conservation*, 11(8), 1417-1436.

- Código Orgánico del Ambiente. (2017). Quito-Ecuador. Registro Oficial Suplemento 983, 12 de abril de 2017.
- Cogollo, J. y Urbina, J. (2008). Patrones de diversidad y composición de reptiles en fragmentos de bosque seco tropical en Córdoba, Colombia. *Tropical Conservation Science*, 1(4), 397-416.
- Conservación y uso sostenible (2005). Manual de Interpretación Ambiental en Áreas Protegidas de la Región del Sistema Arrecifal Mesoamericano (25). <http://www.mbrs.doe.gov.bz/dbdocs/tech/Interpretacion.pdf>.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Quito Ecuador. Registro Oficial, 449, 20 de octubre 2008.
- Correa, J., Volante, J. y Seghezzi, L. (2012). Análisis de la fragmentación y la estructura del paisaje en bosques nativos del Norte Argentino. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16.
- Critical Ecosystem. (2015). Resumen técnico del perfil del ecosistema hotspot de biodiversidad de los Andes Tropicales. *NatureServe y EcoDecisión*. https://www.cepf.net/sites/default/files/tropicalandes_techsummary_sp.pdf
- Delgado, L., Matteucci, S., Acevedo, M., Valeri, C., Blanca, R., Márquez, J. (2017). Causas directas que inducen el cambio de uso del suelo y de la cobertura boscosa, a escala de paisaje, en el sur de Venezuela. *Interciencia*, 42(3), 148-156.
- De la Cruz, M. y Maestre, F. T. (eds.) 2013. *Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados*. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre. Móstoles. 355 pp.
- Eastman, R. (2012). Introducción a IDRISI Selva, guía para SIG y procesamiento de Imágenes. *Clark Labs*. <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>

- ECOTONO. (1996). *Fragmentación y Metapoblaciones*. Centro para la Biología de la Conservación. <http://www.bio-nica.info/ALAS/pdf5.pdf>
- Echeverría, C., Bolados, G., Rodríguez, J., Aguayo, M., y Premoli, A. (2014). *Ecología de paisajes forestales. Ecología Forestal. Bases Para El Manejo Forestal Sustentable y Conservación de Los Bosques Nativos de Chile*. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Echeverria, C., Coomesa, D., Salas, J., Rey-Benayas, J., Lara, A. y Newton, A. (2006). Rapid deforestation and fragmentation of Chilean Temperate Forests. *Biological Conservation*, 130(4), 481-494.
- Eschenhagen, M. (2007). Las cumbres ambientales internacionales y la educación ambiental. *OASIS*, 12, 39-76.
- Etter, A. (1990). *Introducción a la Ecología del Paisaje: un marco de integración para los levantamientos ecológicos*. Bogota, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi
- Farfán, M., Rodríguez, G., y Francois, J. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas*. 90, 89-104. <https://doi.org/10.14350/rig.48600>Get rights and content
- Farfán, M., Rodríguez-Tapia, G., Cuervo-Robayo, A. y Escalante, T. (2020). Cambio de uso de suelo: afectaciones y procesos. *La biodiversidad en Zacatecas*, 255-36. Conabio.
- Fernández, N y Piñeiro, G. (2008). El uso de clasificaciones funcionales para caracterizar la heterogeneidad espacial de ecosistemas a partir de datos espectrales. *Ecosistemas* 17(3), 64-78.
- Ferrer, J., Zager, I. Keith, D. Oliveira, M. Rodríguez, J. Josse y C. Barrow, E. (2018). An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of

the Americas with an outlook on future conservation strategies. *Society for conservation biology*, 12(2). <https://doi.org/10.1111/conl.12623>

Fondo para la Protección del Agua. (2009). *Plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la cuenca alta del río Guayllabamba*. <http://www.fonag.org.ec/aguafondo/pmrhg050110.pdf>.

Fondo para la Protección del Agua. (2011). Inversiones y medidas fiscales para la protección de la biodiversidad. https://www.un.org/waterforlifedecade/green_economy_2011/pdf/session_4_biodiversity_protection_cases_fonag_spa.pdf

Forman, T. y Godron M. (1986). *Ecología del Paisaje*. Minesota, Estados Unidos: Wiley.

Galindo, J. (2007). Efectos de la fragmentación del paisaje sobre las poblaciones de mamíferos, el caso de los murciélagos de Los Tuxtlas, Veracruz. *Tópicos en Sistemática, Biogeografía, Ecología y Conservación de Mamíferos* (pp. 97-114). Mexico. Chapter

Galván, S., Ballut, G. y Ossa, J. (2015). Determination of the dry forest fragmentation of the Pechelín stream, Montes de María, Caribbean, Colombia. *Biota Colombiana*, 16(2).

García, D. (2006). La escala y su importancia en el análisis espacial. *Ecosistemas*, 15(3), 7-18.

Garciglia, R. (2014). La ciencia en pocas palabras. *Science*, 14, 31–32.

Gómez, A., Anaya, J. y Álvarez, E. (2005). 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), 13- 27.

Gonzales, E. (2008). *Determinación de los costos operativos del plan de manejo del bosque protector Jerusalem en la provincia de Pichincha*. Universidad Nacional de Loja, Ecuador.

- Greenheck, F. M. (2005). Degradación y rehabilitación de ecosistemas terrestres: estado de la cuestión. *Revista Biocenosis*, 19(2).
- Giannuzzo, A. (2010). Los estudios sobre el ambiente y la ciencia ambiental. *Scientiae Studia*, 8(1), 129-151. <https://doi.org/10.1590/S1678-31662010000100006>
- Gurrutxaga, M. (2006). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. *Revista de Geografía*, 16, 35-54.
- Gurrutxaga, M. (2011). La gestión de la conectividad ecológica del territorio en España: iniciativas y retos. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 225-244.
- Herrera, J. (2011). El papel de la matriz en el mantenimiento de la biodiversidad en hábitats fragmentados. De la teoría ecológica al desarrollo de estrategias de conservación. *Ecosistemas*, 20(2), 21-34.
- Herrera, P. y Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio. Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. *Ecología del paisaje, conectividad y territorio* (43-70). Universidad de Valladolid, Instituto Universitario de Urbanística.
- Harvey, C. y Chacón, M. (2006). Contribuciones de las cercas vivas a la estructura y la conectividad de un paisaje fragmentado en río frío, Costa Rica. *Evaluación y conservación de biodiversidad en paisajes fragmentados de Mesoamérica* (pp. 225-248). INBio
- Harvey, C., Villanueva, C., Villacis, J., Chacón, M., Muños, D., Lopez, M., Ibrahim, M., Gomez, R., Taylor, R., Martinez, J., Navas, A., Saenz, J., Sanchez, D., Medina, A., Vilchez, S., Hernandez, B., Perez, A., Ruiz, F., Lopez, F., Lang, I. y Kunth, S. (2003). Contribution of live fences to farm productivity and ecological integrity of agricultural landscapes in Central America. *Agroforestry in the Americas*, 10, 39-40.

- Jahn, O. y Santander, T. (2008). Plan de Acción para el Zamarrito Pechinegro (*Eriocnemis nigrivestis*). *Aves y Conservación y BirdLife International*, Quito, Ecuador.
- Lanly, J. (2003). *Los factores de la deforestación y de la degradación de los bosques*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/xii/ms12a-s.htm>
- Letelier, L. (2005). *¿Qué es la biodiversidad o diversidad biológica?* http://www.biouls.cl/lrojo/lrojo03/public_html/ficha_pedagogica/Ficha01.pdf.
- Levins, R. (1969). Some Demographic and Genetic Consequences of Environmental Heterogeneity for Biological Control. *Bulletin of the Entomological Society of America*, 15(3), 237–240. <https://doi.org/10.1093/besa/15.3.237>
- Logroño, I. (2018). *Percepción social de las poblaciones localizadas en la cuenca media del río Guayllabamba con respecto al cambio climático, espacios verdes y usos del suelo en la dinámica socio-espacial*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Ecuador.
- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur del Ecuador, 29–50
- Lyndenmayer, D. Y Franklin, J. (2002). *Conserving Forest Biodiversity A Comprehensive Multiscaled Approach*. Washington DC, Estados Unidos: Island press.
- Matteucci, S. (2012). El rol de la ecología de paisajes en la planificación y gestión del espacio. *Fronteras*, 11.
- McGarigal, K., Cushman, S. y Ene, E. (2012). *FRAGSTATS v4: Programa de análisis de patrones espaciales para mapas categóricos y continuos*. Universidad de Massachusetts, Amherst.
- Ministerio del Ambiente. (2013). *Proyecto para la generación del mapa de cobertura y uso de la tierra del ecuador continental 2013-2014, escala*

1:100.000.<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/4760/2/Anexo%20%20%20DOCUMENTO%20METODOL%C3%93GICO%20PARA%20EVALUAR%20LA%20PRECISI%C3%93N%20DE%20LA%20CLASIFICACI%C3%93N.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2015). *Estadísticas del Patrimonio Natural. Datos de bosques, ecosistemas, especies, carbono y deforestación del Ecuador Continental*.<http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/346525/ESTADISTICAS+DE+PATRIMONIO+FINAL.pdf/b36fa0a7-0a63-4484-ab3e-e5c3732c284b>

Mola, I., Sopeña, A. y de Torre, R. (2018). *Guía Práctica de Restauración Ecológica*. Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica. https://ieeb.fundacion-biodiversidad.es/sites/default/files/guia_practica_re_0.pdf

Mota, C., Ribeiro, G., Arruda, R., Alonso, J., Caldeiral, I., Maia, C. y Pimenta, F. (2010). Evaluación de árboles en cortinas rompevientos y su efecto en áreas de pastoreo en el norte de Minas Gerais. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 44(3), 301-306.

Moreno, F. (2015). *Análisis multiespectral mediante imágenes landsat para identificación de zonas degradadas en el área Boyaca. 1–24*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Moreno-Calles, A. y Casas, A. (2008). Conservación de biodiversidad y sustentabilidad en sistemas agroforestales de zonas áridas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México. *Zonas Áridas*, 12, 10-25.

Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales (MECN). (2009). *Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMDQ)*. Quito, Ecuador: Nuevo Arte

National Geographic. (2010). *Deforestación*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/deforestacion>

Neill, D. (2017). *Coursetia gracilis*. En: León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam,

L. Endara, C. Ulloa y H. Navarrete (Eds). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
<https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/FichaEspecie/Coursetia%20gracilis>

Organización de las Naciones Unidas. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2010). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Roma, Italia: Departamento Forestal.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. (2011). Medir la degradación del bosque. *Unasylva*, 62.

Organización Mundial para la Alimentación y la Agricultura Y Ministerio de Agricultura Ganadería, Bosques y Medio Ambiente. (2014). *Estudios de las causas de la deforestación y degradación forestal en Guinea Ecuatorial 2004-2014*. <http://www.fao.org/3/CA0399ES/ca0399es.pdf>

Ortega, M. (2007). *Análisis de la estructura del paisaje en la VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins*. Universidad Austral de Chile, Chile.

Otavo, S. y Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspot mundiales de la biodiversidad. *Revista mexicana de Biodiversidad*, 88, 924-935.

Pascual, L. y Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959–967.

Pascual-Hortal, L., Vega, C. y Saura, S. (2005). *Metodología para la incorporación de la conectividad de los bosques en la planificación y ordenación forestal en escalas amplias*. Universidad de Lleida, España.

- Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. (2017). *Toda una Vida*. Quito, Ecuador: Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo - Senplades.
- Pérez, K., Ezkurdiá, G., Y Bilbao, B. (2015). El paisaje: un concepto básico en el currículum desarrollado en los libros de texto del País Vasco. *Espacio, Tiempo y Educación*, 2(2), 225–242.
- Pineda, O. (2011). *Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en El Municipio De Valle De Santiago*. Centro Público de Investigación CONACYT, Distrito Federal de México, México.
- PNUMA. (2015). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Quilachamin, A. (2016). *Análisis de la oferta y demanda de agua para la cuenca del Guayllabamba, bajo condiciones de sequía*. Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito, Ecuador.
- Racero, J., Chacón, J., Humanez, E. y Ramírez, H. (2016). Registros recientes de los puercoespines, género *Coendou* (*Mammalia: Erethizontidae*) para el departamento de Córdoba, Colombia. *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*, 16(1).
- Rico, Y. (2017). La conectividad del paisaje y su importancia para la biodiversidad. *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología*, 34, 28-30.
- Rodriguez-Echeverry, J., Fuentes, R., Leiton, M. y Castillo, J. (2018). Changing Landscapes Forest: Implications for its Conservation. *Environment and Natural Resources Research*, 8(3), 44-52. doi: 10.5539/enrr.v8n3p44
- Rodríguez, A. (2011). *Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos , estudio de caso piedemonte de Villavicencio, Meta*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Comlombia.
- Romero, C. (2014). *Evolución de la fragmentación del Paisaje en el Valle Central de Catamarca. Período 1973 – 2007*. Universidad Nacional de Catamarca,

Argentina.

Romero, M., Morera, C., Alfaro, D., Marín, R. y Barrantes, O. (2009). *Degradación del paisaje natural en territorios urbanos, medido a través de métricas del paisaje*. Universidad Nacional de Costa Rica, Costa Rica.

Ron, S., Duellman, W., Coloma, L. y Bustamante, M. (2003). Population Decline of the Jambato Toad *Atelopus ignescens* (Anura: Bufonidae) in the Andes of Ecuador. *Journal of Herpetology*, 37(1), 116–126

Sáenz, M., y Onofa, A. (2005). *Preguntas clave: Reporte de los ecosistemas terrestres ecuatorianos Indicadores de Biodiversidad para Uso Nacional*. Quito, Ecuador: Fundación EcoCiencia.

Saura, S. y Torné, J. (2012). *Conefor 2.6 user manual*. Universidad Politécnica de Madrid. www.conefor.org.

Saura, S. y Pascual-Hortal, L. (2007). A new hábitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing index and application to a case study. *Landscape and urban planning*, 83, 91-103.

Saura, S. y Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33, 523-537.

Schlönvoigt, M. (2014). La importancia de los corredores biológicos como estrategia de conservación de la biodiversidad y adaptación al cambio climático. *Corredores Biológicos SINAC-MINAEGIZ*, 1, 13-18.

Schlönvoigt, M. (2019). *Biological Corridors Project: Implementation of the National Program of Biological Corridors within the framework of the National Biodiversity Strategy*. Commissioned by the Federal Ministry of the Environment, Nature Protection and Nuclear Safety.

- Sierra, R. (2013). *Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. y un acercamiento a los próximos 10 años*. Conservación. Quito, Ecuador: Internacional Ecuador y Forest Trends.
- Smith, R., y Smith, T. (2011). *Ecología 4ta edición*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Texto Unificado de Legislación Secundaria. (2017). Quito-Ecuador. Registro Oficial 3516. Edición Especial 2 de 31-mar.-2003. Última modificación: 29-mar-2017
- Tirira, D. (Ed.). 2001. *Libro rojo de los mamíferos del Ecuador*. SIMBIOE/EcoCiencia/ Ministerio del Ambiente/UICN. Serie Libros Rojos del Ecuador, Tomo 1. Quito
- Torres, M. (2006). *Comparación de la Composición Faunística entre Bosque y Borde en el Bosque Protector de la Microcuenca del Río Pungohuayco-Tasqui Chordeleg, Provincia del Azuay*. Universidad del Azuay. Cuenca, Ecuador.
- Troll, C. (2010). Ecología del paisaje. *Investigación ambiental*, 2 (1), 94-105.
- Tucci, C. (2009). *Plan de Manejo Integrado de los Recursos Hídricos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba*. Quito, Ecuador: Banco Interamericano de Desarrollo Económico y Fondo para la Protección del Agua.
- Turner, M., Gardner, R. y O'Neill, R. (2001). *Landscape ecology in theory and practice: pattern and process*. Springer Verlag, New York, U.S.A
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. (2008). ¿Qué es un área protegida? <https://www.iucn.org/es/regiones/am%C3%A9rica-del-sur/nuestro-trabajo/%C3%A1reas-protegidas/%C2%BFqu%C3%A9-es-un-%C3%A1rea-protegida>
- UICN. (2016). *Restauración funcional del paisaje rural: manual de técnicas*. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/2016/manual_flr_para_pweb.pdf

- UICN. (2020). *Lista Roja de especies amenazadas de la UICN. Versión 2020-2*. <https://www.iucnredlist.org>.
- Uslar, Y., Mostacedo, B., y Saldias, M. (2004). Composición, estructura y dinámica de un bosque seco semidecíduo en Santa Cruz, Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 39(1), 25-43.
- Vaca, M. (2018). *Dinámicas de uso de la tierra y fragmentación ecosistémica en la Cordillera Oriental de la Provincia del Carchi*. Universidad Técnica Del Norte, Ecuador.
- Valdés, A. (2011). *Efectos de la pérdida y fragmentación de hábitat en la ecología de poblaciones de Primula vulgaris L. en bosques cantábricos*. Universidad de Oviedo, España.
- Valdiviezo, I. (2018). *Delimitación de un corredor ecológico con fines de conservación entre el bosque protector cerro blanco y bosque protector Papagayo en la parroquia urbana Guayaquil, cantón Guayaquil*. Universidad de Guayaquil, Ecuador.
- Valencia, R., Cerón, C., Palacios, W., y Sierra, R. (1999). *Las formaciones naturales de la Sierra del Ecuador. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: EcoCiencia.
- Valencia, J., Garzon, K., Tipantiza, L., Pulluquitín, F., Barragán, M. y Noboa, G. (2017). Snakes of the Quito Metropolitan District, Ecuador, with comments on its geographic and altitudinal range and conservation. *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 9(15), 17–60.
- Valverde, M. (1999). *Las metapoblaciones en la naturaleza, ¿realidad o fantasía?* Universidad Autónoma de México.
- Varela-Jaramillo, A., Coloma, A., Frenkel, C., Félix-Novoa, C. y Quiguango-Ubillús, A. (2018). *Atelopus ignescens* En: Ron, S. R., Merino-Viteri, A. Ortiz, D. A. (Eds). *Anfibios del Ecuador*. Museo de Zoología, Pontificia

Universidad Católica del Ecuador. <https://bioweb.bio/faunaweb/amphibiaweb/FichaEspecie/Atelopus%20ignescens>.

Vargas, M. (2002). *Ecología y biodiversidad del Ecuador*. Quito, Ecuador: E.P. Centro de Impresiones.

Vargas, O. (2011). Restauración ecológica: biodiversidad y conservación. *Revista Científica de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 16(2), 221-246.

Vásquez, M., Bcenschor, L., Crespo, A., Cueva, E., López, F., Posrma, T., Quishpe, w. y Solórzano, V. (2001). Los bosques secos de la ceiba y cordillera arañitas, provincia de Loja: situación y perspectivas de conservación. *EcoCiencia*, Ministerio del Ambiente, Herbario Loja y Proyecto Bosque Seco. Quito.

Vázquez, R., Romero, R., Novillo, C., y Ramos, R. (2016). Corrección topográfica a imágenes landsat por clases de pendiente. *Escet*, 9.

Vázquez, M., y R. Ulloa. (1997). *Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Sector Forestal del Ecuador*. Quito, Ecuador: EcoCiencia.

Velásquez, A., Bocco, G., y Siebe, C. (2014). Cambio de uso del suelo. https://www.researchgate.net/publication/263342417_Cambio_de_uso_del_suelo.

Vidal, L. y Moncada, J. (2006). Los senderos de interpretación ambiental como elementos educativos y de conservación en Venezuela.

Villavicencio, R., Ávila, R., Guerrero, S., Santiago, A. y Treviño, E. (2017). Forest habitat connectivity of the natural protected areas for the white tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in Jalisco State, Mexico. *Scripta Protected Natural Areas*, 3(2), 9-31. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2017.03.03.02.0001>

Wainschenker, R. (2008). *Procesamiento de imágenes satelitales*.

<http://www.exa.unicen.edu.ar/catedras/pdi2/Practicas/practica3.pdf>.

Yarranton, G. y Morrison, R. (1974). Spatial dynamics of a primary succession: nucleation. *Journal of Ecology*, 62 (2), 417- 428.

Zambrano, D. (2020). *Indicadores físicos de calidad de suelo en áreas con sistemas agrosilvopastoriles*. Universidad Técnica de Babahoyo, Ecuador.

Zapata, A. (2018). *Evaluación poblacional del conejo andino *Sylvilagus andinus*: Leporidae en el bosque protector Jerusalem (Pichincha-Ecuador) a partir del conteo de fecas*. Universidad Central del Ecuador, Ecuador.

ANEXOS

Ilustración 1. Verificación en campo de los tipos de cobertura presentes en la cuenca del río Guayllabamba



Ilustración 2. Panorámica de la cobertura matorral seco montano, sector Guayllabamba



Ilustración 3. Puntos de control en la cobertura bosque



Ilustración 4. Puntos de control en la cobertura pastos y cultivos



Ilustración 5. Puntos de control de la cobertura vegetación arbustiva



Ilustración 6. Puntos de control de la cobertura páramo, Piñan



Ilustración 7. Puntos de control en cuerpos de agua, Laguna de Mojanda



Ilustración 8. Puntos de control en cuerpos de agua, Laguna de Piñan



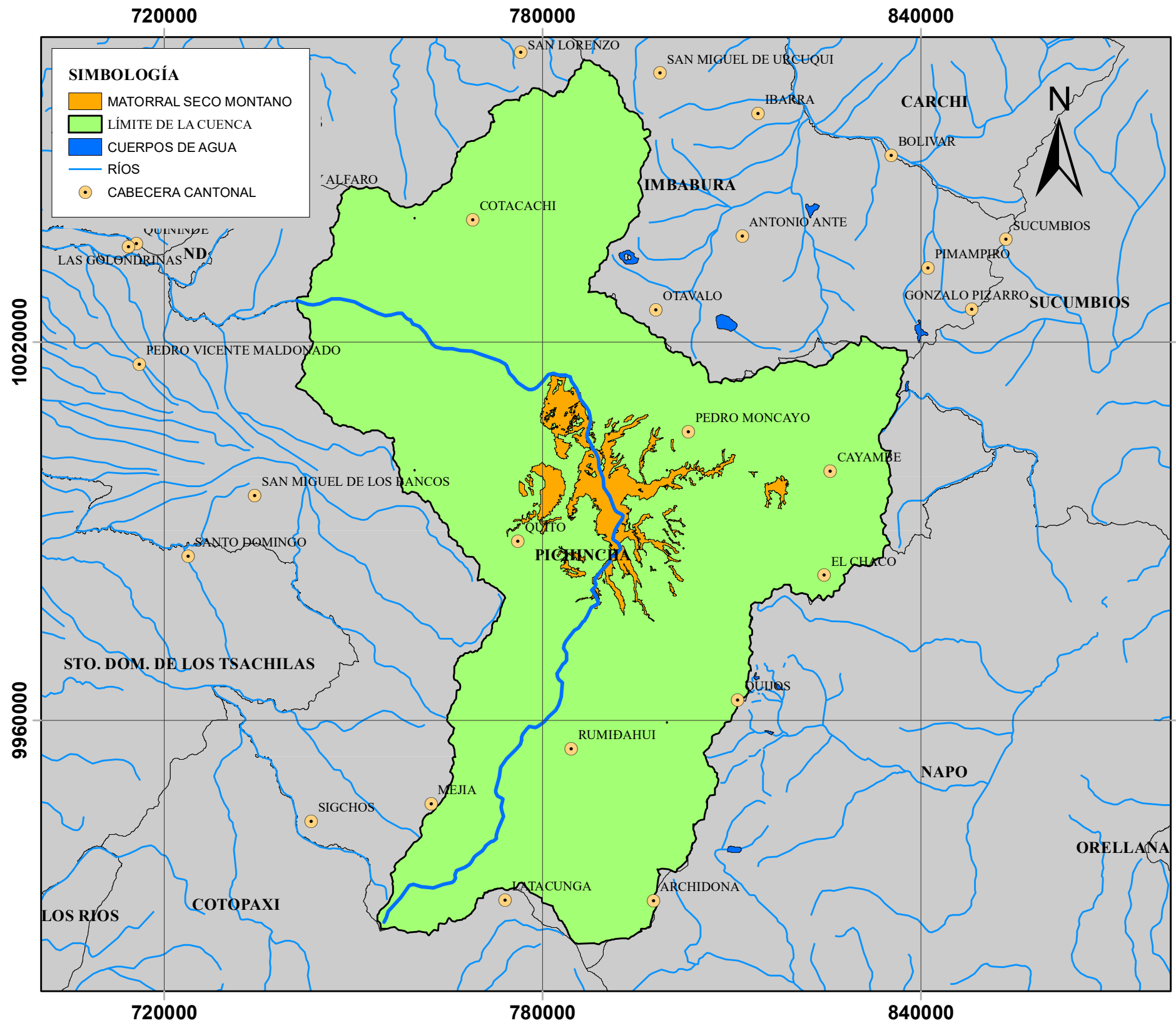
Ilustración 9. Puntos de control zona urbana



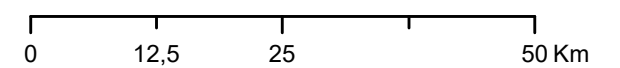
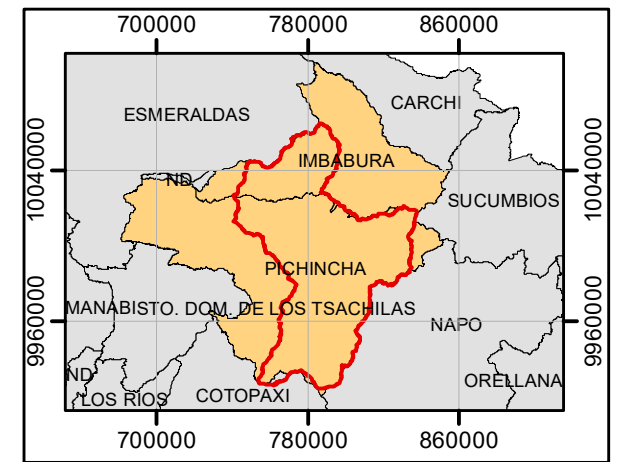
Ilustración 10. Puntos de control zona urbana



MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



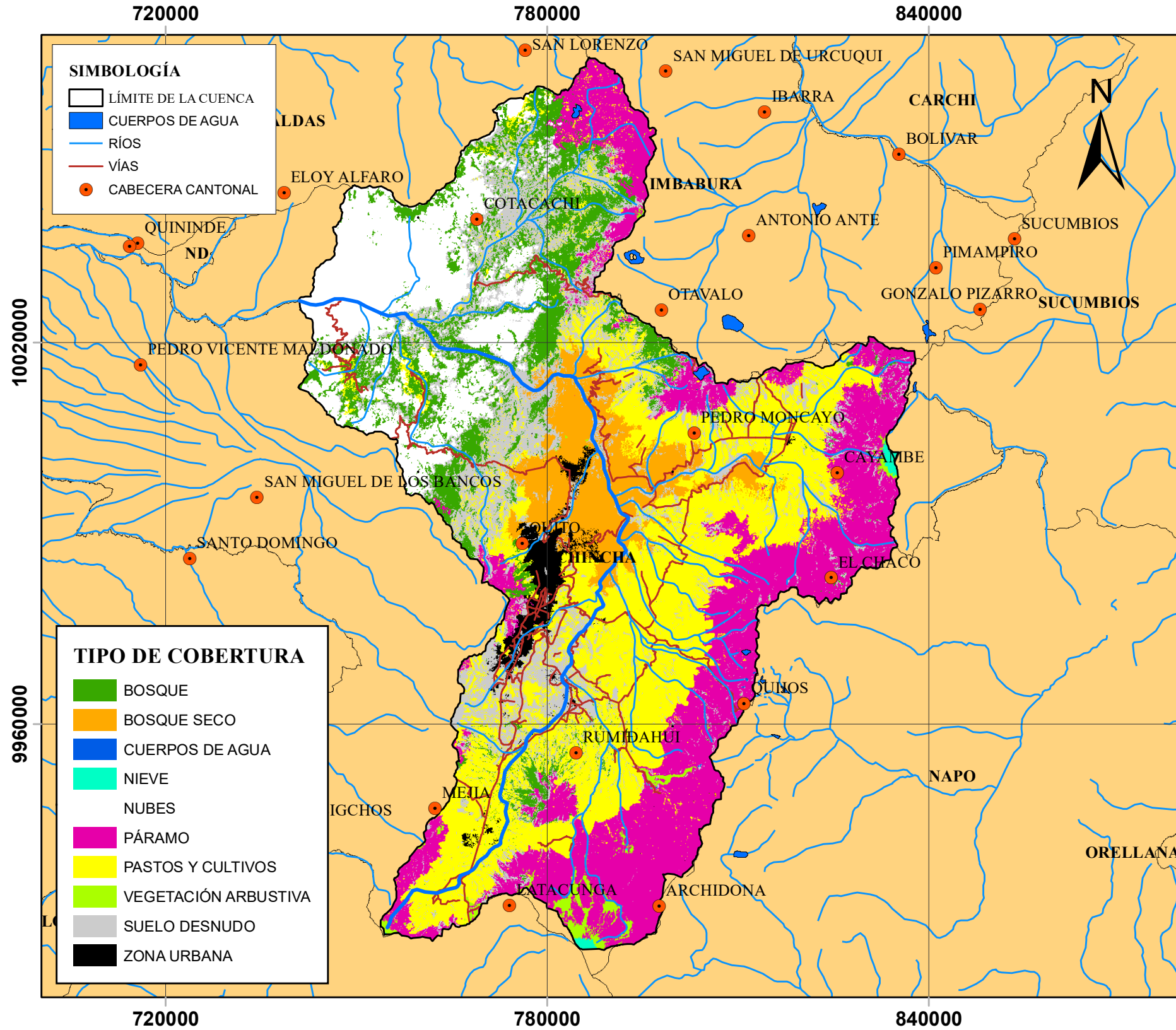
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



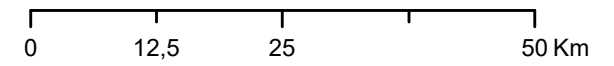
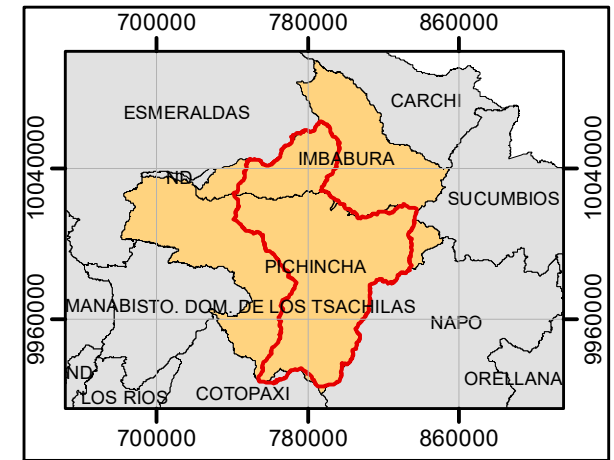
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:750 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	1 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, AÑO 1991



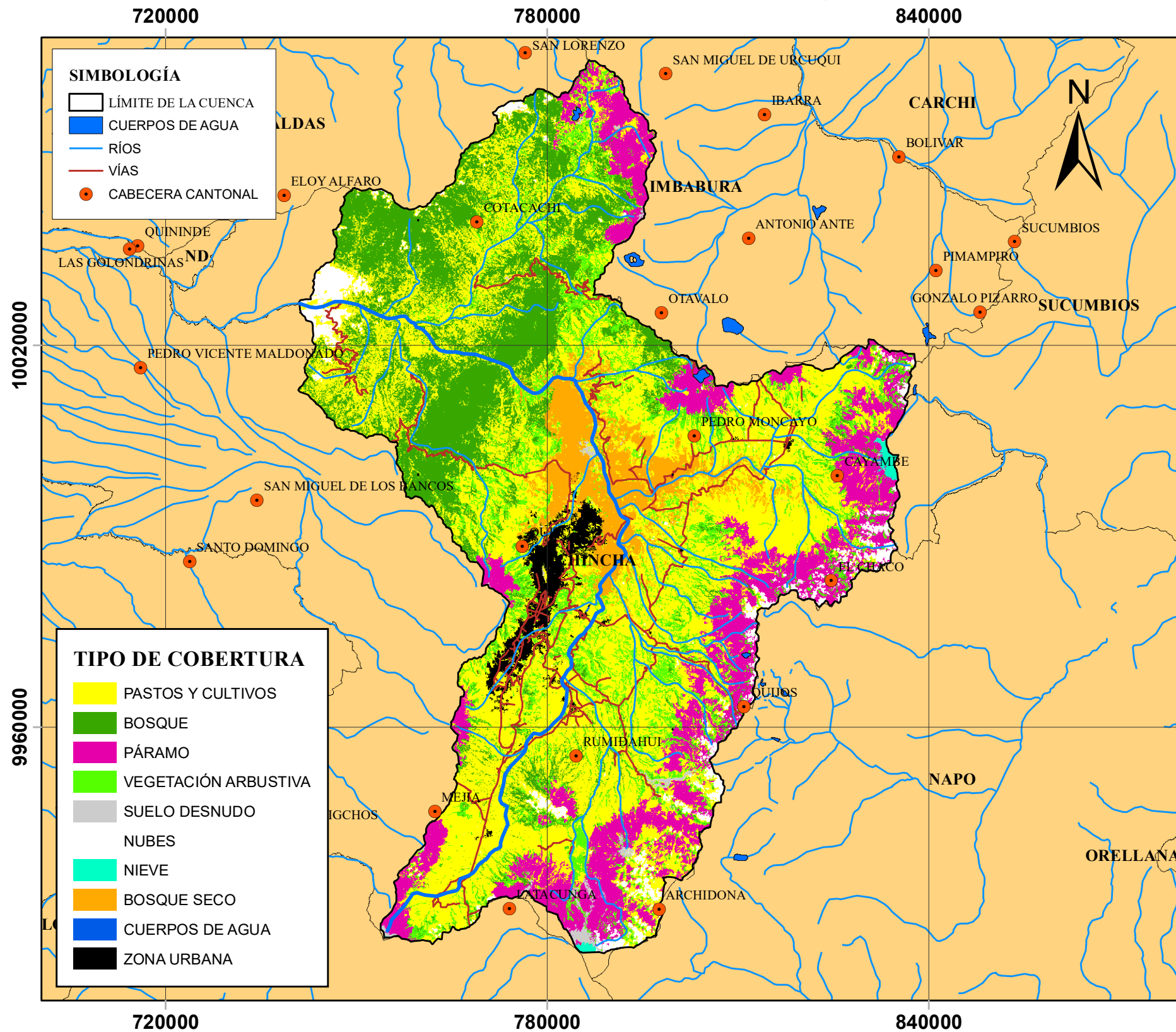
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



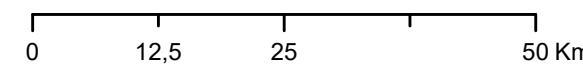
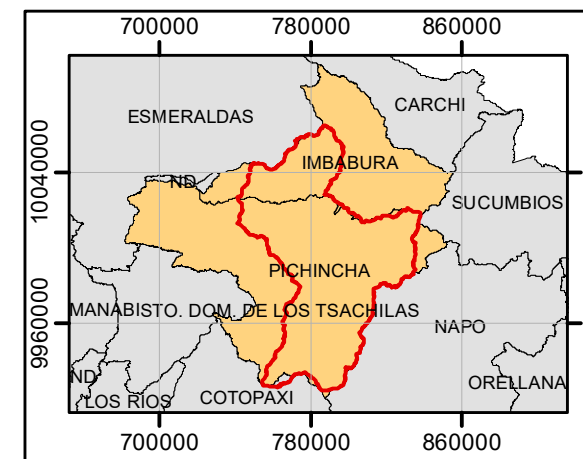
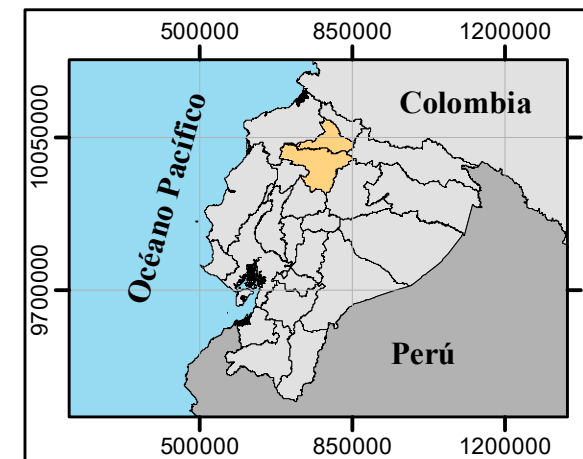
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:750 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	2 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, AÑO 2005



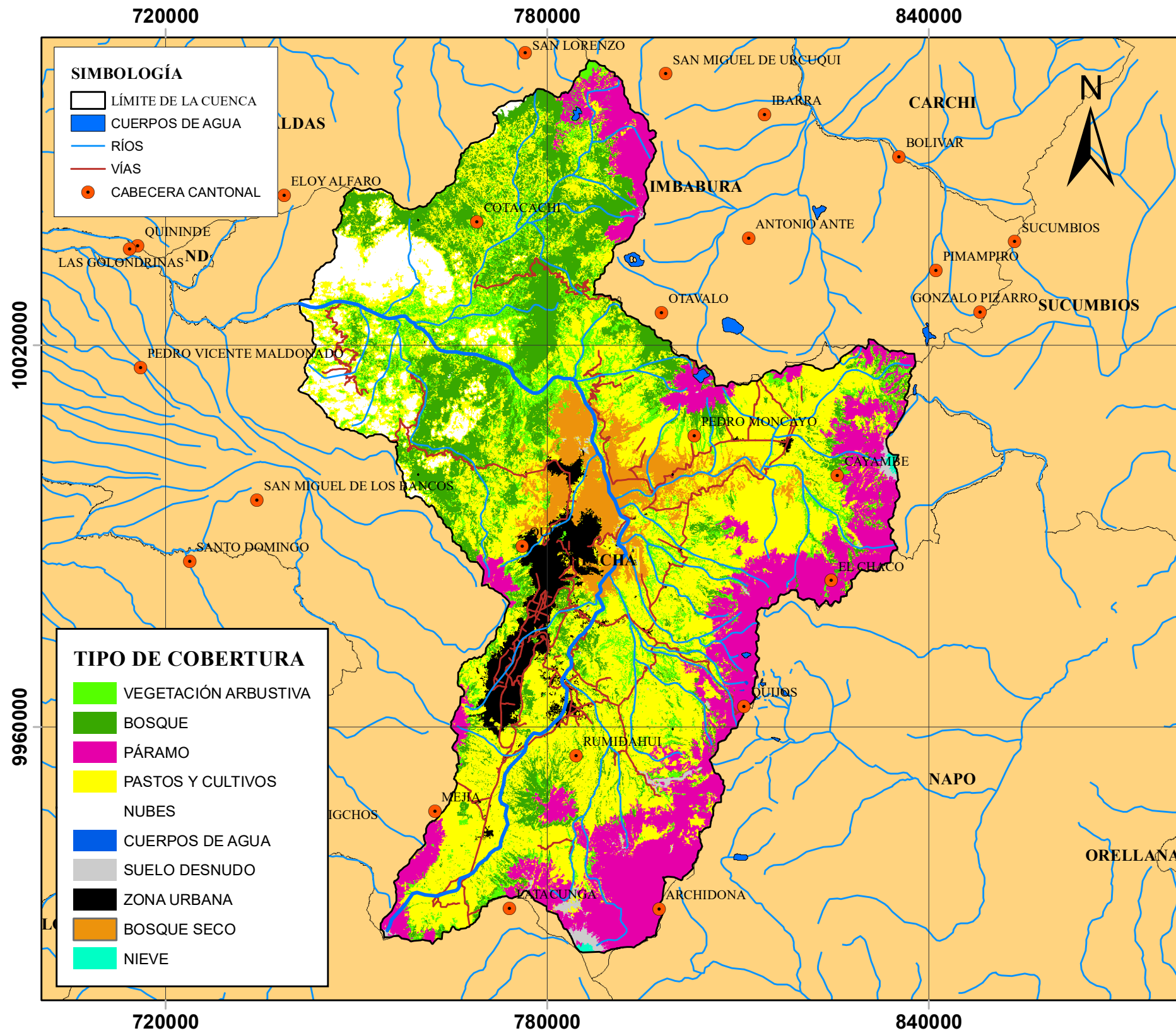
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



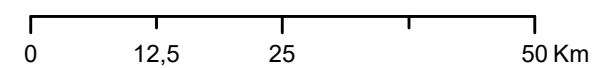
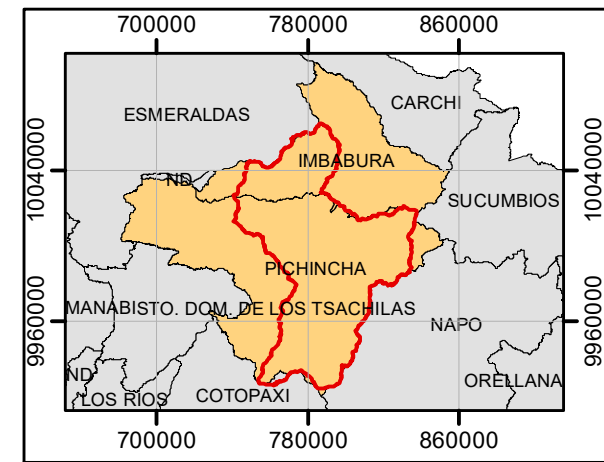
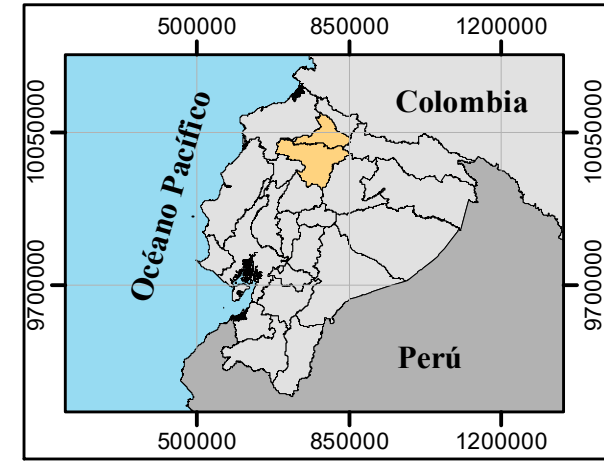
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:750 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	3 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO GUAYLLABAMBA, AÑO 2017



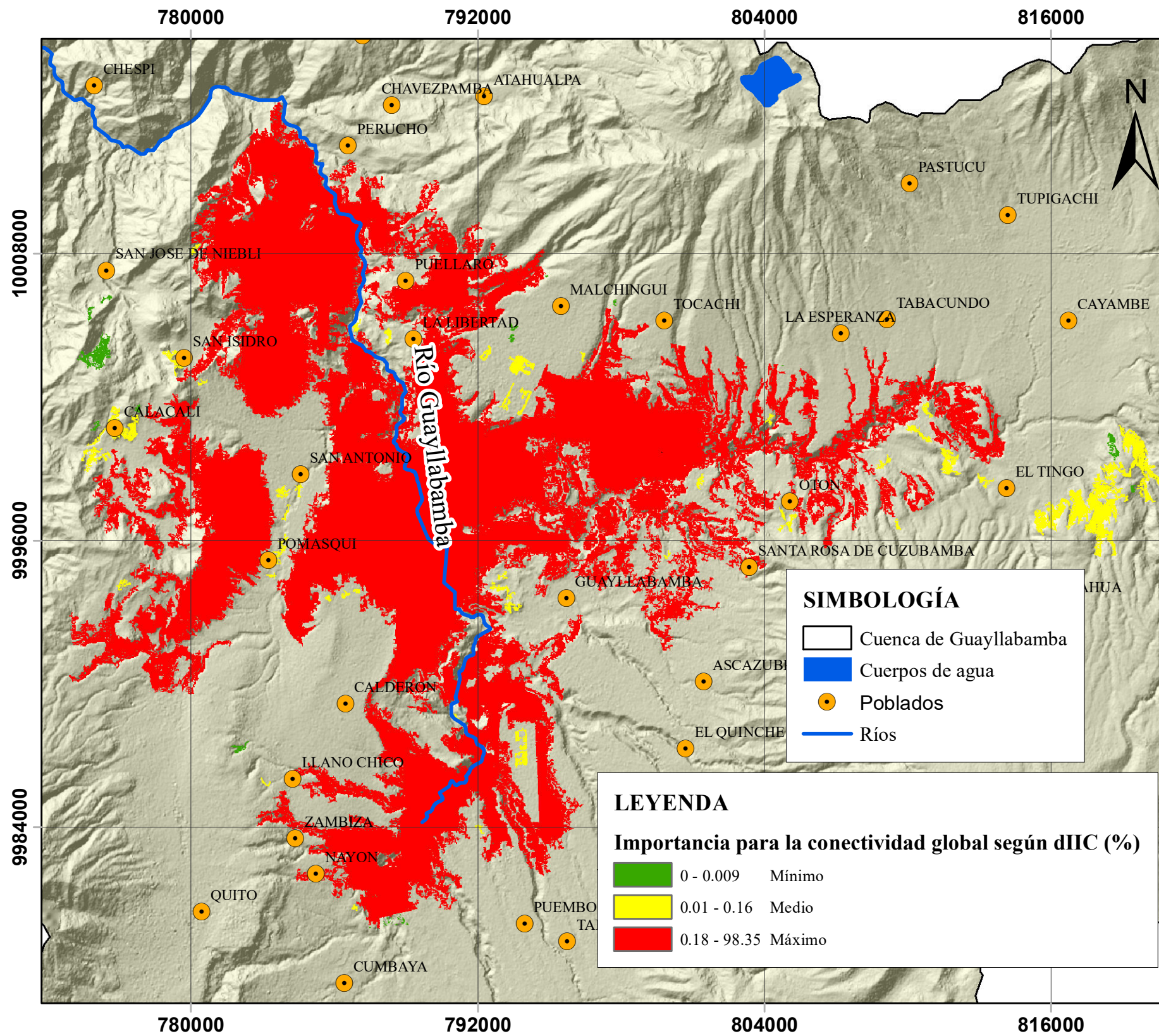
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



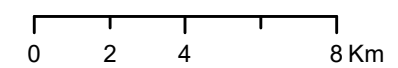
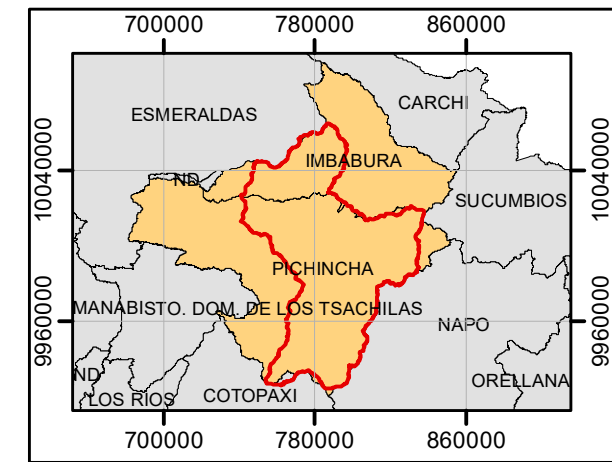
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:750 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	4 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE IMPORTANCIA PARA LA CONECTIVIDAD GLOBAL SEGÚN dIIC



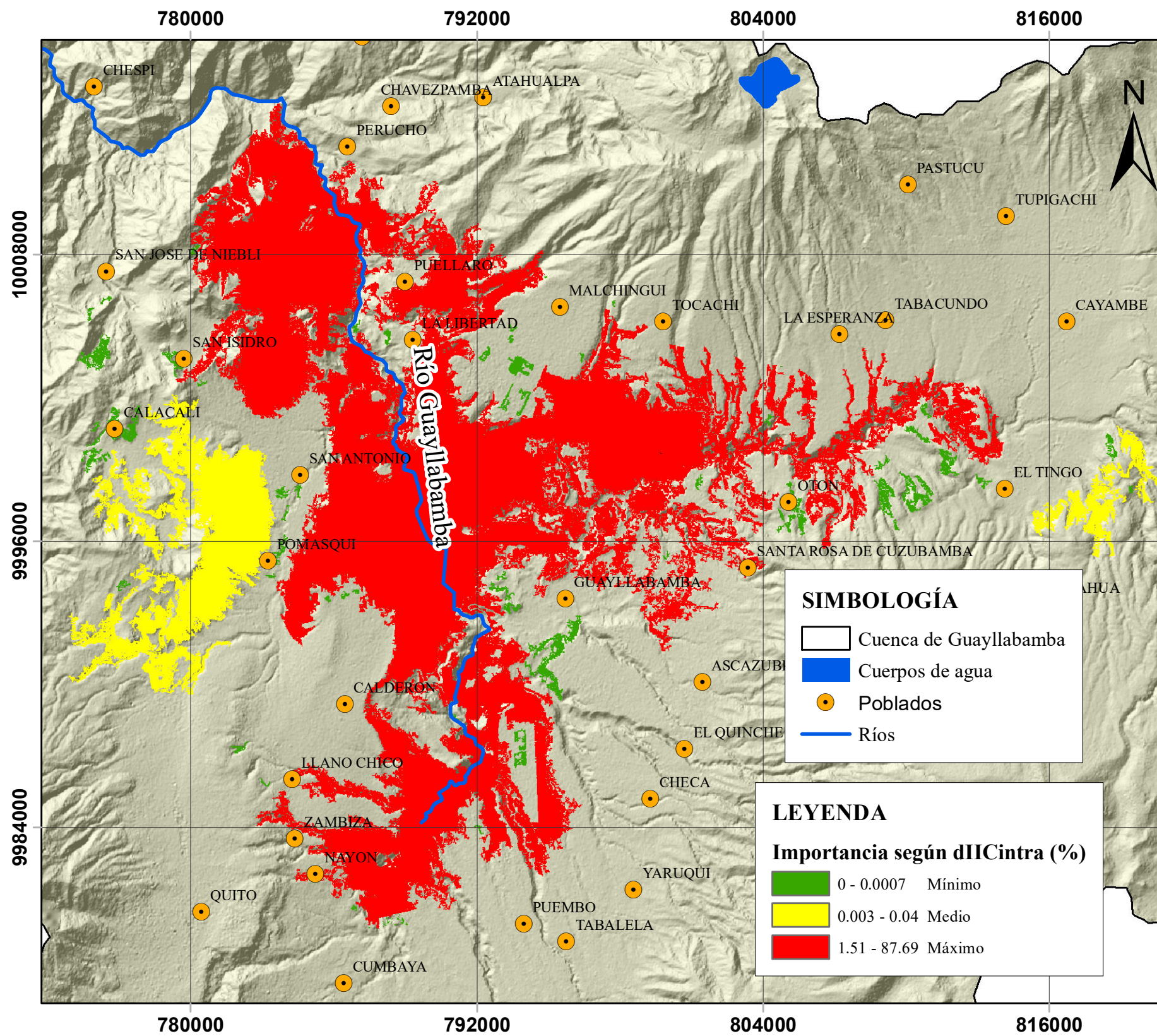
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:200 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	5 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE IMPORTANCIA SEGÚN dIICintra



SIMBOLOGÍA

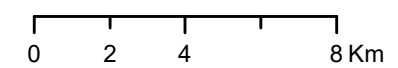
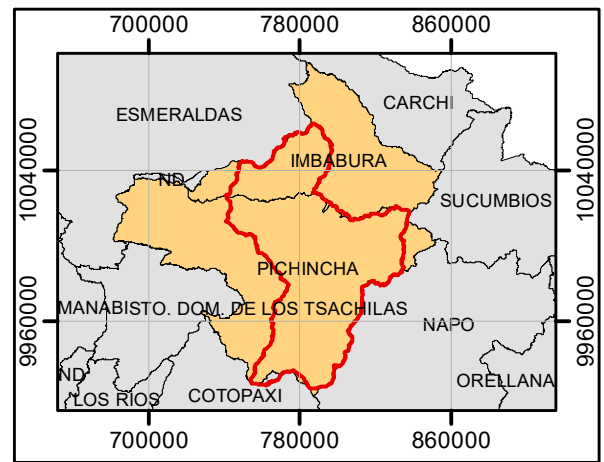
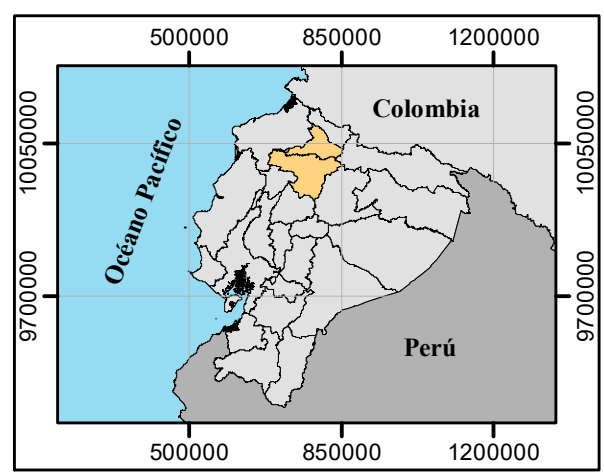
- Cuenca de Guayllabamba
- Cuerpos de agua
- Poblados
- Ríos

LEYENDA

Importancia según dIICintra (%)

- 0 - 0.0007 Mínimo
- 0.003 - 0.04 Medio
- 1.51 - 87.69 Máximo

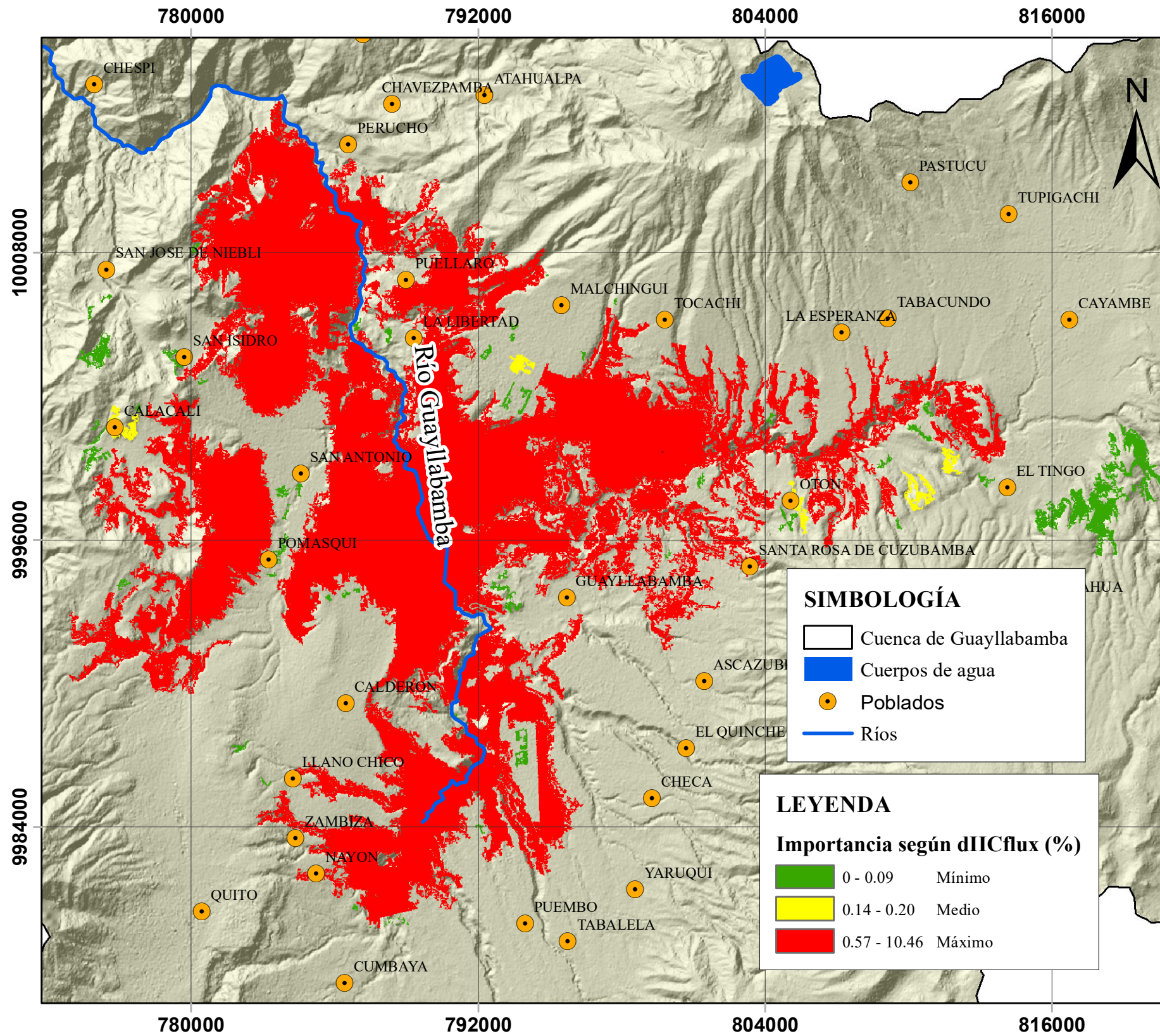
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



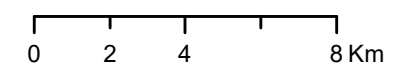
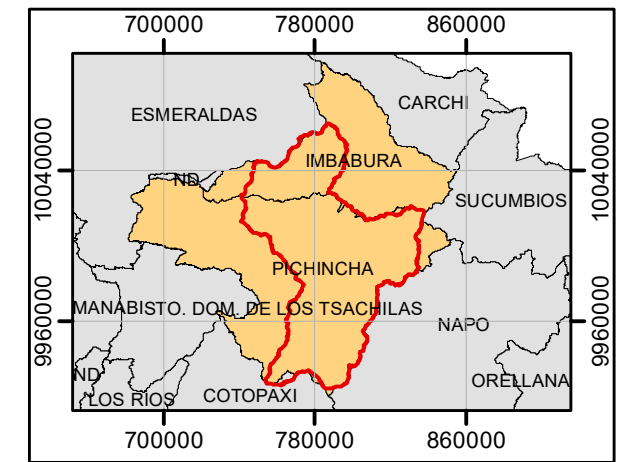
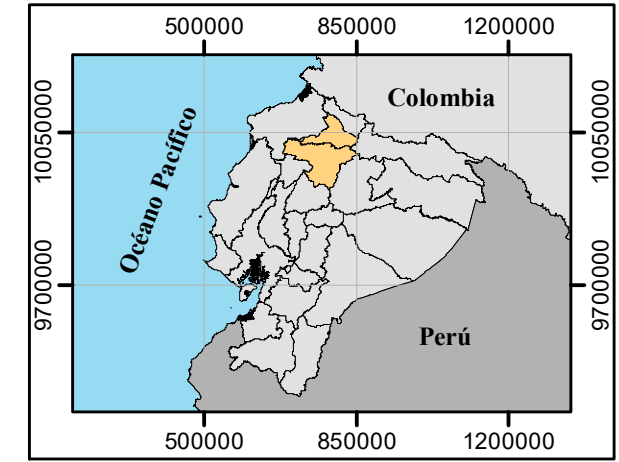
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:200 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	6 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE IMPORTANCIA SEGÚN dIICflux



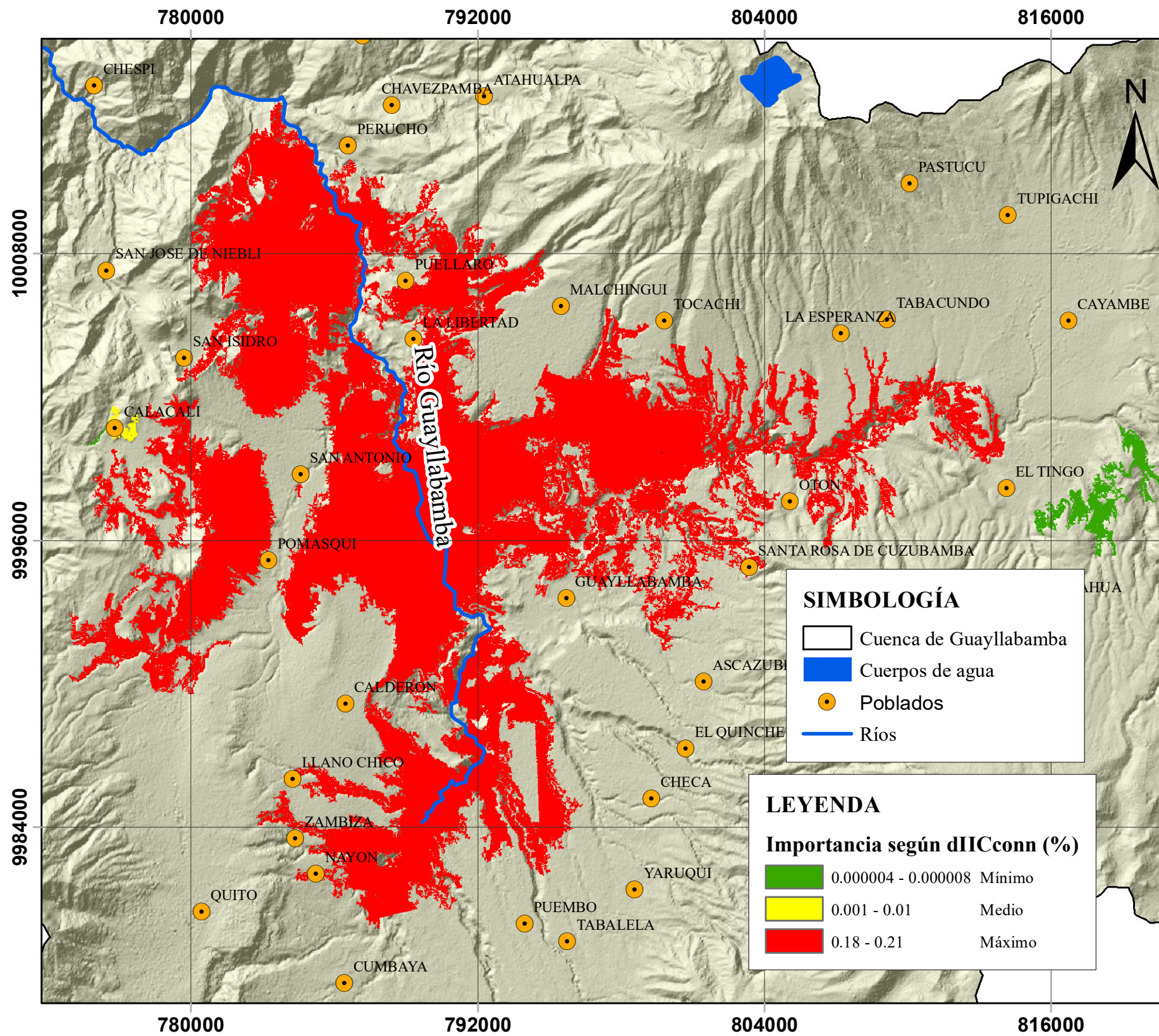
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



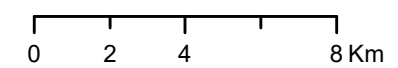
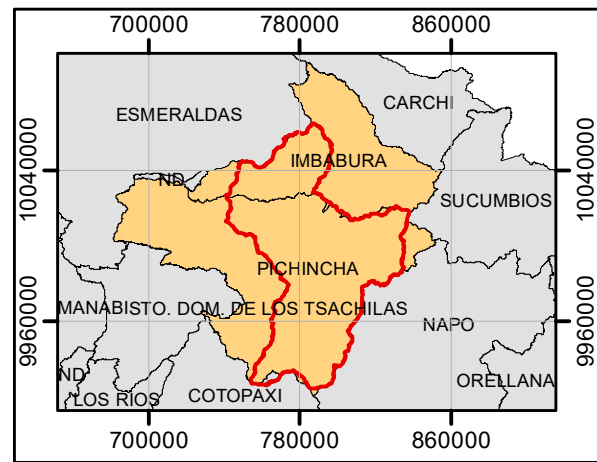
PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:200 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	7 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		

MAPA DE IMPORTANCIA SEGÚN dIICconn



UBICACIÓN GEOGRÁFICA



PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR DATUM WGS 84, ZONA 17 SUR

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES			
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES			
ESCALA DE ELABORACIÓN	1:200 000	ESCALA DE IMPRESIÓN	A3
FUENTE	SNI	MAPA	8 de 8
ELABORACIÓN	BRYAN IPIALES, GABRIELA PILATASIG		