



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO
DEL SUELO EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PERIODO
1990-2017, CARCHI-ECUADOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingenieras en
recursos naturales renovables

Autoras:

Cuasquer Enríquez Fernanda Berenice

Sangurima Tito Andrea Carolina

Director:

MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez

Ibarra - Ecuador

2019

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

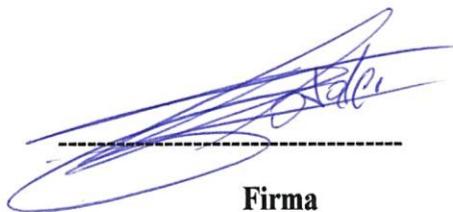
“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO
DEL SUELO EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PERIODO 1990-
2017, CARCHI-ECUADOR”

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título
de: **INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

APROBADA:

Msc. Rosales Oscar Ing.

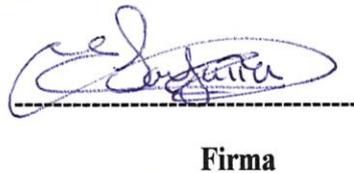
DIRECTOR



Firma

MSc. Layana Eleonora Ing.

ASESORA



Firma

PhD. James Rodríguez Ing.

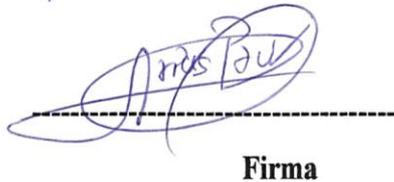
ASESOR



Firma

MSc. Arias Dario Paúl Ing.

ASESOR



Firma

IBARRA – ECUADOR
Mayo, 2019



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: | 1003783923 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Cuasquer Enríquez Fernanda Berenice | | |
| DIRECCIÓN: | Ibarra – Imbabura | | |
| EMAIL: | berenicefercha@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | ----- | TELÉFONO MÓVIL: | 0981721915 |

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | DE | 1003783402 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Y | Sangurima Tito Andrea Carolina | |
| DIRECCIÓN: | Ibarra- Imbabura | | |
| EMAIL: | Andreita.peke95@gmail.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | 2951859 | TELÉFONO MÓVIL: | 0989623292 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|--|
| TÍTULO: | ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PERIODO 1990-2017, CARCHI-ECUADOR |
| AUTORAS: | Cuasquer Enríquez Fernanda Berenice Sangurima Tito Andrea Carolina |
| FECHA: | 30/ Mayo /2019 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniera en Recursos Naturales Renovables |
| DIRECTOR: | MSc. Oscar Armando Rosales Enríquez |

2. CONSTANCIAS

Las autoras manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de mayo del 2019

LAS AUTORAS:



Cuasquer Enríquez Fernanda Berenice



Sangurima Tito Andrea Carolina

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Papito Dios, por bendecir cada uno de nuestros pasos, decisiones, logros y tropiezos, por darnos la sabiduría necesaria para cumplir nuestras metas y objetivos, gracias por ser nuestro mentor y protector divino durante nuestra formación.

A nuestros amados padres por su sacrificio y apoyo incondicional, por enseñarnos valores que hemos compartido día a día en nuestro caminar, gracias a su confianza y amor nos formamos como personas de bien y culminamos una etapa de vida con su bendición. A nuestros hermanos Lesly, Anthony y Johanna, por su ser el pilar de apoyo con cada palabra de aliento en nuestras vidas.

A la Universidad Técnica del Norte, a la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables y a sus docentes, quienes mediante sus conocimientos y aptitudes han contribuido en nuestra formación académica.

A nuestro estimado director MSc. Oscar Rosales E. por brindarnos una amistad sincera, por los gratos momentos compartidos, donde entre risas nos han guiado y enseñado con paciencia cada uno de sus conocimientos. A nuestros asesores MSc. Eleonora Layana, PhD. James Rodríguez e Ing. Paúl Arias, por difundir sus saberes cuando se ha requerido y orientarnos durante el desarrollo de nuestra investigación.

A la Dirección Provincial del Ambiente del Carchi, al Comité de Gestión de la Reserva Ecológica El Ángel, a los técnicos y guardaparques, por el apoyo y motivación brindados para la culminación de la presente investigación, en especial al Ingeniero Damián Ponce Director de la Administración de la REEA, por haber confiado en nuestro trabajo realizado durante la fase de campo y por la ayuda recibida para llegar al éxito de este estudio.

Finalmente, queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a nuestras queridas amigas Angulo E., Enríquez M., Morales A y Rodríguez A., con quienes hemos compartidos gratos momentos durante nuestra vida universitaria, por habernos demostrado que el éxito en la vida no se mide por lo que logras, sino por los obstáculos que superas, que una amistad sincera es la verdadera fortuna del ser humano.

El éxito y la culminación de este trabajo investigativo es el resultado del apoyo de cada uno de ustedes.....GRACIAS.

Fer y Andre

DEDICATORIA

A mi redentor, Dios quien supo darme la sabiduría y fortaleza necesaria en mi caminar de vida, por su amor inmenso en cada uno de los momentos buenos y malos, porque mediante su cobijo he logrado cumplir objetivos trazados para realizarme como persona y profesional. “Escucha lo que te mando: Esfuérzate y sé valiente. No temas ni desmayes, que yo soy el Señor tu Dios, y estaré contigo por dondequiera que vayas” (Josue 1:9)

A mi padre Ramiro Cuasquer y madre Elsa Enríquez, quienes con su amor, cariño, dulzura y consejos han formado en mí valores como persona de bien. Por ser el pilar fundamental para culminar mi carrera profesional a través de su esfuerzo y lucha diaria entre la salud y enfermedad. Por esto y más, gracias amados padres.

A mi hermana Johanna Velásquez, por ser más que mi amiga, ser un ejemplo de vida, quien mediante sus palabras de aliento y apoyo incondicional permitió de mi sueño una realidad. A mi pequeño hermano Anthony Cuasquer, que con sus locuras y risas, logra que mis días de preocupación sean momentos de alegría. Porque, aunque nuestras ramas crezcan en diferentes direcciones, siempre nos unira nuestras raíces. Los quiero hermanos de mi vida.

A Fernando, L. y familia quienes con aprecio y cariño me han dado apoyo absoluto durante mi vida académica, por cada palabra de aliento y fuerza para formarme como profesional. Gracias por todo F.L.

A mi amiga Andre, por ser parte de esta locura de vida universitaria, quien me ha brindado una amistad sincera, llena de cariño y aprecio, por ser una persona increíble en los momentos compartidos y logrados. Gracias compañera de lucha.

Fernanda Berenice Cuasquer Enríquez

DEDICATORIA

A Dios por su amor infinito, por ser la razón de mis fuerzas, por darme la oportunidad de finalizar con éxito esta meta, por abrirme las puertas necesarias y dejarme disfrutar de este momento en mi vida.

A mis queridos padres Ramiro y Marianita con todo mi cariño y mi amor, por ser las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por su apoyo incondicional, por sus acertados consejos, por el esfuerzo con el que me han educado, por haber inculcado en mí los valores que me guían en la vida y por el amor que siempre me han brindado.

A mi hermanita Lesly el ser que mas quiero en la vida, por ser una de mis más grandes motivaciones, por todas esas experiencias que hemos compartido, especialmente por todos aquellos obstáculos que juntas hemos superado y gracias a los cuales se han fortalecido nuestros lazos.

A Paúl, L., por ser una persona especial en mi vida, gracias por tu apoyo, cariño y compañía.

A mi amiga y compañera de locuras Fer, por tu verdadera amistad, paciencia incondicional e ingenio por compartir alegrías y tristezas.

Andrea Carolina Sangurima Tito

ÍNDICE DE CONTENIDO

| Contenido | Páginas |
|---|---------|
| RESUMEN | xiv |
| ABSTRACT | xv |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Problema de investigación y justificación..... | 1 |
| 1.2 Objetivos | 3 |
| 1.2.1. Objetivo general | 3 |
| 1.2.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 1.3. Pregunta directriz de la investigación | 3 |
| CAPÍTULO II | 4 |
| MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal..... | 4 |
| 2.1.1. Teledetección | 5 |
| 2.1.2. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo | 6 |
| 2.1.3. Matriz de contingencia e índice Kappa | 7 |
| 2.1.4. Patrones espaciales del paisaje | 8 |
| 2.1.5. Planificación estratégica..... | 9 |
| 2.2. Marco legal..... | 10 |
| 2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008 | 10 |
| 2.2.2. Tratado Internacional Ramsar | 11 |
| 2.2.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) | 11 |
| 2.2.4. Código Orgánico Ambiental (COA) | 12 |
| 2.2.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua | 12 |
| 2.2.6. Plan de Nacional de Desarrollo 2017-2021..... | 13 |
| 2.2.7. Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel | 13 |
| 2.2.8. Plan de Ordenamiento Territorial cantón Espejo | 14 |
| CAPÍTULO III | 15 |
| MARCO METODOLÓGICO | 15 |

| | |
|---|----|
| 3.1. Caracterización biofísica | 15 |
| 3.2. Materiales y equipos | 17 |
| 3.3. Métodos | 18 |
| 3.3.1. Delimitación del área de estudio | 19 |
| 3.3.2. Cuantificar los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Reserva Ecológica y zona de amortiguamiento | 19 |
| 3.3.3. Determinar los impactos del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento | 24 |
| 3.3.4. Estrategias de conservación para la cobertura vegetal | 26 |
| CAPÍTULO IV | 28 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 28 |
| 4.1. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal mediante el Índice de vegetación (NDVI) | 28 |
| 4.1.2. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal mediante clasificación supervisada | 30 |
| 4.1.3. Diagrama Ombrotérmico Multianual de la Estación El Ángel 1986-2015 | 37 |
| 4.2.4. Evaluación y validación de la clasificación multitemporal mediante la matriz de contingencia e índice Kappa | 38 |
| 4.2. Impactos del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento | 39 |
| 4.3 Estrategias de conservación para la cobertura vegetal | 47 |
| CAPÍTULO V | 53 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 53 |
| 5.1. Conclusiones | 53 |
| 5.2 Recomendaciones | 54 |
| REFERENCIAS | 55 |
| ANEXO FOTOGRÁFICO | 66 |
| ANEXO CARTOGRÁFICO | 69 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Págs. |
|---|-------|
| Tabla 1. Métricas usadas para cuantificar la estructura a nivel de clase..... | 9 |
| Tabla 2. Materiales utilizados..... | 17 |
| Tabla 3. Equipos utilizados..... | 17 |
| Tabla 4. Metadatos de las imágenes de los años 1990, 2000, 2017..... | 20 |
| Tabla 5. Rango de valores del NDVI..... | 23 |
| Tabla 6. Matriz transicional período (1991-1999) (1999-2010) (2010-2017) (1991-2017)..... | 23 |
| Tabla 7. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa.... | 24 |
| Tabla 8. Métricas para la detección del cambio de uso del suelo..... | 25 |
| Tabla 9. Matriz FODA-SWOT (strengths, weaknesses, opportunities y threats).. | 27 |
| Tabla 10. Rango de valores NDVI..... | 28 |
| Tabla 11. Cambios de cobertura vegetal mediante valores del NDVI..... | 29 |
| Tabla 12. Matriz de cambio de la categoría cuerpos de agua | 32 |
| Tabla 13. Matriz de cambio de la categoría áreas intervenidas..... | 33 |
| Tabla 14. Matriz de cambio de la categoría páramo arbustivo..... | 33 |
| Tabla 15. Matriz de cambio de la categoría páramo de almohadillas..... | 34 |
| Tabla 16. Matriz de cambio de la categoría páramo de frailejones..... | 35 |
| Tabla 17. Matriz de cambio de la categoría páramo herbáceo..... | 35 |
| Tabla 18. Cambios de la cobertura vegetal de la REEA y zona de amortiguamiento mediante clasificación supervisada..... | 36 |
| Tabla 19. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT-L8, 2017..... | 38 |
| Tabla 20. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje de la zona de amortiguamiento y de la Reserva Ecológica El Ángel, periodo 1991-1999.... | 41 |
| Tabla 21. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje de la zona de amortiguamiento y de la Reserva Ecológica El Ángel, periodo 1999-2010.... | 42 |
| Tabla 22. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje de la zona de amortiguamiento y de la Reserva Ecológica El Ángel, periodo 2010-2017.... | 44 |
| Tabla 23. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje de la zona de amortiguamiento y de la Reserva Ecológica El Ángel, periodo 1991-2017.... | 46 |

| | |
|---|----|
| Tabla 24. Modelo FODA para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA..... | 48 |
| Tabla 25. Modelo DOFA para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA..... | 49 |
| Tabla 26. Estrategias para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA.... | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Págs. |
|--|--------------|
| Figura 1. Ubicación de la Reserva Ecológica El Ángel..... | 15 |
| Figura 2. Mapa base de la Reserva Ecológica El Ángel..... | 16 |
| Figura 3. Diagrama de la metodología..... | 18 |
| Figura 4. Imágenes satelitales de los años 1991, 1999, 2010 y 2017..... | 20 |
| Figura 5. Ecuación para calcular el NDVI (Normalized difference vegetation index)..... | 22 |
| Figura 6. Análisis multitemporal de cobertura vegetal mediante clasificación supervisada..... | 30 |
| Figura 7. Distribución espacial de las categorías de cobertura vegetal y uso del suelo en la REEA y zona de amortiguamiento de los años 1991, 1999, 2010, 2017..... | 31 |
| Figura 8. Diagrama ombrotérmico multianual de la estación El Ángel..... | 37 |

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

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO
DEL SUELO EN LA RESERVA ECOLÓGICA EL ÁNGEL, PERIODO
1990-2017, CARCHI - ECUADOR

Trabajo de titulación

Cuasquer Enríquez Fernanda Berenice

Sangurima Tito Andrea Carolina

RESUMEN

La Reserva Ecológica El Ángel localizada en la provincia del Carchi actualmente presenta incremento de actividades antrópicas y pérdida de cobertura vegetal. La falta de proyectos sostenibles e investigaciones sobre el análisis multitemporal han permitido plantear el presente estudio, a través de la caracterización biofísica del área y determinación de cambios con imágenes satelitales de libre acceso LANDSAT y SENTINEL. Se cuantificaron los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal de 6 categorías del periodo 1991-20017: páramo herbáceo con una pérdida de 77,53 has/año, páramo arbustivo con una disminución de 10,45 has/año, páramo de frailejones con una tasa de cambio positivo de 5,9 has/año, páramo de almohadillas con 20,07 has/año, cuerpos de agua con un incremento de superficie de 1,12 has/año y áreas intervenidas con 60,60 has/año. El impacto del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento fue la fragmentación, donde se evidenció el incremento del número de parches de la categoría páramo de almohadillas, en el periodo 1991-1999 el aumento fue de 10 parches, en 1999-2010 fue en 8 parches, en el 2010-2017 fue 163 parches y en 1991-2017 en 157 parches, mostrando que la fragmentación puede generar cambios en los procesos ecológicos. La validación de los cambios de uso del suelo mediante el índice Kappa indicó que la clasificación supervisada es significativa, ya que el valor calculado fue de 0,61 que se clasifica en categoría considerable. Finalmente, se establecieron estrategias de conservación de la cobertura vegetal mediante la aplicación del método FODA, que permitirán fortalecer la ejecución de las actividades, proyectos y programas del Plan de Manejo Ambiental de la REEA.

Palabras claves: Clasificación Supervisada, Detección de cambios, Imágenes multiespectrales, Incidencia de cambios, Índice Kappa.

ABSTRACT

Currently, The Angel Ecological Reserve, which is located in the province of Carchi, register a loss of vegetation cover, soil deterioration and increased anthropogenic activities. The lack of sustainable projects and research on multitemporal analysis have allowed us to propose the present study, with the objective of analyzing changes in plant cover and land use, in the period 1990-2017, through the biophysical characterization of the study area and determination of changes with free access satellite images LANDSAT and SENTINEL. The changes in land use and loss of vegetation cover were quantified of 6 categories: herbaceous wasteland with a loss of 77.53 has/year, shrubland with a decrease of 10.45 has/year, paramo de frailejones with a rate of positive change of 5.9 has/year, paramo of pads with 20.07 has/year, bodies of water with an increase of surface area of 1.12 has/year and intervened areas with 60.60 has/year. The impact of the change in land use in the buffer zone was fragmentation, which showed an increase in the number of patches in the paramo pads category. In the period 1991-1999 the increase was 10 patches, in 1999-2010 it was in 8 patches, in 2010-2017 it was 163 patches and in 1991-2017 in 157 patches, showing that fragmentation can generate changes in ecological processes. Validation of land use changes using the Kappa index indicated that the supervised classification is significant, since the calculated value was 0.61, which is classified in a considerable category. Finally, vegetation cover conservation strategies were established through the application of the SWOT method, which will allow strengthening the execution of the activities, projects and programs of the Environmental Management Plan of the REEA.

Keywords: Detection of changes, Incidence of changes, Kappa Index, Multispectral images, Supervised Classification.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación y justificación

El programa de acción nacional para la lucha contra la desertificación, degradación de tierras y sequía (PAND) manifiesta que un 0,33% (aproximadamente 90.000 hectáreas) de la superficie del país se encuentra en deterioro por pérdida de cobertura vegetal, resultado de una compleja interacción entre las actividades antrópicas y el medio físico que actúan sobre un amplio rango de escalas espaciales y temporales (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2004). La capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprende gran extensión de biomasa con diferentes características fisonómicas y ambientales, que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales (Maza, 2009).

Ecuador es considerado como uno de los lugares de mayor concentración de diversidad biológica del planeta, esto se debe a su amplia gama de climas en sus cuatro regiones. Formando una riqueza de especies de flora y fauna en medio de extensos territorios naturales, muchos de los cuales se encuentran protegidos por el Estado para presentes y futuras investigaciones (Martínez y Reck, 2010).

El estudio multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo entre los años 1990 y 2008 en el Nor-oriental del Ecuador, determinó mediante el análisis digital de imágenes satelitales Landsat y sensores remotos con georeferenciación, áreas con mayor susceptibilidad a ser afectadas por procesos de conversión de ecosistemas naturales (The Nature Conservancy, 2009). El análisis multitemporal mediante la utilización de imágenes satelitales permite identificar características de la cobertura vegetal, con el fin de construir mapas locales detallados en donde se plasmen los cambios a través del tiempo (De la Cruz y Muñoz, 2016). Padilla (2014), en el estudio multitemporal de uso del suelo y cobertura vegetal natural realizado en el páramo de La Parroquia Mulaló-Cotopaxi, registró que en el año 2013 el avance de áreas intervenidas por plantaciones forestales de especies introducidas disminuyó áreas de protección y conservación.

Mientras que el análisis multitemporal de la cobertura vegetal del valle interandino del Chota e identificación de zonas de restauración ecológica mostró un cambio significativo en el uso de suelo, en el que la vegetación natural fue reemplazada por cultivos, frutales y áreas erosionadas (Ponce, 2008). Sobre los cambios en la cobertura vegetal (1979-2004) y modelización prospectiva en la provincia de Cotopaxi, Martínez y Reck (2010), señalaron que “la dinámica de cambios registrada sobre la cobertura vegetal en la provincia evidencia una pérdida constante de vegetación natural, que ha dado paso a usos antrópicos”.

La provincia del Carchi presenta una continua pérdida de cobertura vegetal y deterioro del suelo, lo cual conlleva a la necesidad de fortalecer la conservación de la diversidad biológica existente en el territorio (Ponce, 2008). Pozo (2010), establece mediante el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, una propuesta de plan de manejo participativo de las comunidades de Pusir y Tumbatú en la provincia del Carchi, la metodología propuesta en la investigación y las actividades comunitarias contribuyen con información sobre el cambio de calidad en la cobertura vegetal, identificando los problemas ambientales de la zona de investigación.

Zárate (2013), menciona que “una reserva ecológica es un área que tiene uno o más ecosistemas con especies de flora y fauna silvestres importantes, las cuales pueden estar bajo amenaza de extinción, lo que evita y prohíbe cualquier tipo de explotación u ocupación”. La Reserva Ecológica El Ángel (REEA) es un área protegida por varios motivos; entre ellos el ser uno de los páramos del Ecuador donde se encuentra el frailejón (*Espeletia pycnophylla*), subespecie endémica que existe de manera exclusiva en el Norte de Ecuador y en Colombia. Además, hace referencia la importancia del recurso hídrico que proviene de páramos y humedales, fuente de abastecimiento y aporte para varias cuencas hidrográficas ((Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015). Camacho (2013), señala que “los páramos de frailejones son ecosistemas de altura inmersos en un espacio geo social mayor, conocido como la alta montaña, donde coexiste con otros sistemas de altura”.

El incremento de actividades antrópicas y la falta de proyectos sostenibles han generado un deterioro constante sobre la vegetación y suelo dentro de la REEA,

afectando de manera directa las fuentes hídricas y la diversidad de flora y fauna. La reserva no cuenta con investigaciones sobre análisis multitemporal de cobertura vegetal y uso del suelo, por ello, el presente estudio permitirá analizar, determinar y cuantificar los cambios de la cobertura vegetal, uso de suelo y causas de cambio de las áreas afectadas mediante el uso de parámetros estadísticos, multitemporales y clasificación de imágenes satelitales Landsat y Sentinel del periodo 1990-2017, con el fin de definir estrategias que minimicen el deterioro de la vegetación y suelo en el área protegida, permitiendo conocer la importancia del manejo de los recursos naturales para mejorar las condiciones y calidad de vida de la diversidad biológica de la Reserva Ecológica El Ángel. Además, el análisis multitemporal aportará información cartográfica sobre las variaciones de cobertura vegetal que se han producido en el periodo 1990-2017, dentro de las comunidades rurales de la zona de amortiguamiento.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar los cambios de la cobertura vegetal y uso del suelo en la Reserva Ecológica El Ángel, del periodo 1990-2017, con el fin de definir estrategias de conservación de la cobertura vegetal.

1.2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Reserva Ecológica y zona de amortiguamiento.
- Determinar los impactos del cambio del uso del suelo de la zona de amortiguamiento
- Proponer estrategias de conservación para la cobertura vegetal.

1.3. Pregunta directriz de la investigación

¿Qué cambios de cobertura vegetal y uso del suelo se ha producido en el periodo 1990-2017 en la Reserva Ecológica el Ángel?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal

A pesar de que el uso de suelo y cobertura terrestre están relacionados, no son lo mismo. Véliz (1996), menciona que el uso del suelo, capa superficial de la tierra que presenta una continua transformación de material geológico por diversos procesos físicos, químicos o biológicos a través del tiempo, tiene un continuo deterioro por la ocupación de la capa de vegetación. Haciendo referencia como principales actores a nivel global a las poblaciones dentro de la naturaleza (Hernández, 2006).

En los últimos años el suelo ha experimentado cambios por varias razones, las cuales se encuentran directamente influenciadas por las actividades antrópicas, debido a la necesidad de la expansión agrícola y demográfica (Moreno y Renner, 2007). Aguayo, Pauchard, Azócar y Parra (2009), señalan que las actividades agrícolas son el factor de impactos ambientales como: la pérdida, modificación y fragmentación de ecosistemas, siendo de gran incidencia para el cambio del uso de suelo y pérdida del equilibrio ecosistémico.

Además, Craig, Vaughan y Skinner (2012), manifiestan que es impredecible que antes de una actividad o cambio de uso de suelo se lleve a cabo estrategias o programas de planificación, determinando la tasa de expansión agrícola, ganadera u actividades antrópicas que se llevan a cabo para el aprovechamiento del suelo. El cual, es la base esencial para la vida en nuestro planeta (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015).

Echeverría, Bolados, Rodríguez y Aguayo (2014), y Camacho, Pérez, Pineda, Cadena, Bravo y Sánchez (2015), enuncian que el cambio, uso e intensificación del suelo modifican los patrones espaciales (composición y configuración espacial) del paisaje llegando a causar la pérdida, fragmentación de hábitats y alteración del equilibrio dinámico con el ambiente.

Santana (2000), señala que el deterioro de la cobertura vegetal está relacionado directamente con los incendios, tala, pastoreo y la adecuación del terreno durante la implementación de procesos agrícolas, causando fragmentación en los ecosistemas y la afectación de las especies faunísticas y florísticas, fenómenos que se presentan por el aumento descontrolado de la población.

Mientras que investigaciones de Chamba (2009) y Castellanos, Chamarraví, Castañeda, Galvís y Cepeda (2011), manifiestan que los cambios constantes de la cobertura vegetal afectan a muchos procesos ecológicos y biofísicos, como la estructura trófica, la composición de las especies, su dispersión, los patrones climáticos y la estabilidad hídrica, amenazando directamente a la diversidad biológica.

2.1.1. Teledetección

Los cambios de uso de suelo y cobertura vegetal ocurridos en un determinado espacio geográfico y en una dimensión temporal, necesitan de la utilización de Sistemas de Información Geográfica. Un SIG es un conjunto de herramientas que permite reunir, almacenar, analizar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real (Burrough, 1988).

Romero (2006), señala que la Teledetección como proceso por el cual se adquiere información sobre un objeto sin estar en contacto directo con él, a través de un flujo energético entre el sensor y la superficie (Bender, Boehmer, Jean y Shumacher, 2005), ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza a nivel de resolución espacial (tamaño de pixel), espectral (número de sensores) y temporal (frecuencia de adquisición) de los datos a base de imágenes satelitales Landsat, Aster o Sentinel, matrices de celdas llamados pixeles que se encuentran formados por un número de filas y columnas, que representan un área geográfica indivisible con información reflejada por la superficie de la Tierra (Ponce, 2008).

Las imágenes Landsat con sensores TM (Thematic Mapper) y ETM5 (Enhanced Thematic Mapper) están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales especialmente

para el monitoreo de la vegetación, aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. Mientras que las imágenes de satélite Sentinel con sensor 2A permiten evaluar con resoluciones de hasta 10m tanto la vegetación como el cambio de la cobertura de la tierra y el estado de los bosques (Molina y Albarran, 2013). Arraya (2009), asegura que éstas imágenes permiten eliminar los efectos ocasionados por la variabilidad en las condiciones de captación, distorsión provocada por la atmósfera e influencia de parámetros como: la posición del sol, pendiente, exposición y altitud.

2.1.2. Análisis multitemporal del cambio de uso de suelo

El proceso que implica el análisis digital o comparación de dos o más imágenes satelitales de un mismo lugar en diferentes fechas, con similitud en cuanto a sus características y propiedades se denomina análisis multitemporal (Geografía, Planificación y Desarrollo, 2015). Chapa, Sosa y Alba (2006), muestran que las imágenes procesadas mediante ésta técnica (análisis multitemporal) permiten identificar y evaluar los cambios en las características de las coberturas vegetales, dando indicios claros del cambio de uso de suelo y su dinámica.

En el Ecuador se han realizado varios estudios aplicando la metodología del análisis multitemporal, reconociendo la importancia de obtener datos de los cambios de la superficie terrestre del país (Geoplades, 2015), que permite entender las condiciones del pasado y su potencial futuro en un contexto de cambio global.

Calvo y Ortiz (2012), establecen que los estudios sobre ocupación del suelo están basados en la caracterización de la cobertura de la superficie terrestre, a partir del pre-procesamiento de imágenes satelitales. Además, las correcciones de contraste de iluminación y geometría determinan factores como: la distancia entre la tierra, el sol y los datos a partir de las propiedades radiométricas de la imagen (Molina y Albarran, 2013).

Mientras que en el procesamiento de las imágenes se determina a qué nivel de área se va a trabajar, en el cual la información se registra en escenas y toma en cuenta las características que se va a necesitar como: escala, brillo, contraste, resolución

espectral, resolución espacial, resolución radiométrica y resolución temporal (Bernis y Betancourt, 2006).

La clasificación de imágenes satelitales da como resultado una nueva imagen donde a cada uno de los píxeles de la imagen original se le asigna una clase o leyenda y puede ser de dos tipos (Lillesand, Kiefer y Chipman, 2014). En la clasificación no supervisada, el analista define el número de clases y posteriormente las interpreta. Mientras que en la clasificación supervisada, el analista interpreta y selecciona las clases (Franco y Rodríguez, 2005).

Meneses (2011), manifiesta que el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) mide la relación entre la energía absorbida y la emitida por los objetos terrestres, es un índice no dimensional y sus valores van de -1 a +1, los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y la tierra desnuda y los valores más altos son indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de vegetación y actividad agrícola.

2.1.3. Matriz de contingencia e índice Kappa

El instrumento más usual para evaluar la exactitud de una clasificación es la matriz de confusión, también llamada matriz de error o de contingencia, herramienta de comparación, en la que se muestra la relación entre dos series de medidas correspondientes al área en estudio; la primera serie corresponde a datos de referencia adquiridos de observaciones de campo, inspección de estadísticas, interpretación de fotos aéreas y otras fuentes similares. La segunda corresponde a la categorización de los píxeles realizada por el clasificador para las clases de interés (Osuna, Torres, Sánchez, García, Valdez y Vázquez, 2015).

Las medidas de exactitud mencionadas, se basan en resultados parciales de la matriz, por lo que no aprovechan todos los datos en su totalidad, a su vez toman resultados aleatorios, que pueden llevar a interpretaciones sesgadas del método. Para corregir la exactitud de la clasificación, se utiliza el “Coeficiente Kappa” (Li, Wu y Zhang, 2009).

El coeficiente Kappa propuesto por Jacob Cohen en 1960 (Dou, Ren, Wu, Ruan, Chen, Bloyet y Constans, 2007), mide la concordancia de dos metodologías, para conocer la similitud de dos clasificaciones de imágenes. De acuerdo al valor, el índice se puede categorizar en seis clases que permiten rechazar o aceptar la nueva clasificación a evaluar (Viera y Garret, 2005).

2.1.4. Patrones espaciales del paisaje

Los patrones de distribución espacial aseguran la interpretación de algunos de los aspectos más importantes de la viabilidad de las poblaciones en áreas fragmentadas (Gilpin, 1987). El conocimiento de estos elementos es esencial tanto para el desarrollo de estrategias de conservación de especies vegetales amenazadas, como para establecer criterios de manejo de las especies vegetales en hábitats heterogéneos (Menges, 1990).

La importancia de la escala en el análisis del patrón espacial de las poblaciones fueron realizados por ecólogos vegetales para mecanismos de mantenimiento de diversidad de especies y modelos sobre competencia y depredación, así como en el estudio de los efectos de disturbios en la dinámica de poblaciones (Fahrig y Merriam, 1994).

Damion, Kenneth y Kelley (2006), en su estudio sobre implicaciones de uso de la tierra y cambio en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional en los Andes Tropicales, señala que la transformación de uso de suelo requiere del análisis de los patrones de fragmentación del paisaje, a través, del cálculo de índices de fragmentación. El software FRAGSTATS señala que el paisaje se considera como un mosaico de elementos y sus índices describen la fragmentación del paisaje de cada parche (su tamaño, forma, aislamiento) (McGarigal y Marks, 2002).

McGarigal y Marks (2002), señalan que las métricas utilizadas para cuantificar la estructura del ecosistema a nivel de clase son las siguientes (Tabla 1):

Tabla 1. Métricas usadas para cuantificar la estructura a nivel de clase

| Métricas | Descripción |
|--|---|
| Área total de la clase | Es la suma de las áreas de todos los parches de una clase. |
| Número de parches | Corresponde al número de parches de una clase. |
| Área media de los parches | Corresponde al promedio de las áreas de los parches. |
| Densidad de parches | Corresponde al número de parches de una clase divididos por el área total del paisaje. |
| Borde total | Corresponde a el largo total de bordes de parches para una determinada clase |
| Índices de forma | Entrega información sobre la forma de los elementos, en base a relaciones entre área y perímetro. |
| Distancia euclidiana al vecino más cercano | Representa la distancia al parche, del mismo tipo, más cercano. La distancia es de borde a borde. |
| Índice de entremezclado y yuxtaposición | Es el grado de entremezcla de los elementos del paisaje en función del número de clases y parches |

Fuente: McGarigal y Marks, 2002

2.1.5. Planificación estratégica

Cairo (2003), afirma: “La planificación estratégica es una herramienta que permite a las organizaciones prepararse para enfrentar las situaciones que se presentan en el futuro, ayudando con ello a orientar sus esfuerzos hacia metas realistas de desempeño, por lo cual es necesario conocer y aplicar los elementos que intervienen en el proceso de planeación” (p. 58)

Una estrategia es un conjunto de acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado fin (Rivera y Malaver, 2011). Las estrategias de conservación engloban un conjunto de proyectos y actividades ordenadas lógicamente, que definen la gestión para disminuir el consumo de los recursos y la generación de nuevos problemas, a partir de un manejo adecuado para la conservación (Camacho, 2013).

Según Villagómez, Mora, Barradas y Vázquez (2014), el análisis FODA es una metodología que envuelve procesos cualitativos y cuantitativos, que son el conjunto de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas surgidas de la evolución de un sistema organizacional que, al clasificarse, ordenarse y compararse, genera un conjunto de estrategias. Tanto las fortalezas como debilidades tienen carácter interno, mientras que las oportunidades y amenazas son de índole externo.

Producto del cruce de variables FA, FO, DA, DO, permiten conectar acciones (oportunidades) que puedan aprovechar en su entorno externo, preparándose para enfrentar los peligros (amenazas), apoyándose en sus fortalezas y reduciendo el impacto negativo que puedan tener las debilidades (Pozo, 2010). De acuerdo a los lineamientos de Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015), este análisis identifica las actividades humanas o fenómenos naturales que se encuentran generando impactos negativos sobre los valores del área y que pueden comprometer su estado de conservación.

2.2. Marco legal

Para el marco legal se citan las normas jurídicas que se relacionan al proyecto con la conservación, como son la Constitución de la República vigente en la actualidad, Tratado Internacional Ramsar, Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), Código Orgánico Ambiental (COA), Ley Orgánica de Recursos Hídricos, uso y aprovechamiento del agua, Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel y Plan de Ordenamiento Territorial cantón Espejo.

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

La investigación hizo énfasis en los artículos 14 y 15 en lo que se refiere a la naturaleza y a su uso; donde se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir. Dentro de los derechos de la naturaleza los artículos 71, 72; se concede a la naturaleza, el derecho a que se respete íntegramente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura funciones y procesos

evolutivos. Así también se enfocará en los artículos 83 y 411 sobre las obligaciones que tienen los ciudadanos con el cuidado de la naturaleza (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.2.2. Tratado Internacional Ramsar

La Convención sobre los Humedales o Convención de la ciudad de Ramsar (Irán) en 1971 es uno de los primeros tratados de carácter intergubernamental sobre la conservación y uso racional de los recursos naturales.

En base al Art. 1.1, Art. 3.1, Art. 3.2, Art. 4 y Art. 5 de la Convención, el Estado ecuatoriano, tiene el deber general de incluir los aspectos relacionados con la conservación de los humedales en sus planes nacionales de uso del suelo. Comprometiéndose a tomar las medidas necesarias en los cambios que se hayan producido o puedan producirse como consecuencia del desarrollo tecnológico y contaminación por parte del ser humano.

2.2.3. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Art. 296.- El ordenamiento territorial comprende un conjunto de políticas democráticas y participativas de los gobiernos autónomos descentralizados que permiten su apropiado desarrollo territorial, así como una concepción de la planificación con autonomía para la gestión territorial, que parte de lo local a lo regional en la interacción de planes que posibiliten la construcción de un proyecto nacional, basado en el reconocimiento y la valoración de la diversidad cultural y la proyección espacial de las políticas sociales, económicas y ambientales, proponiendo un nivel adecuado de bienestar a la población en donde prime la preservación del ambiente para las futuras generaciones. Art. 297.- Objetivos del Ordenamiento Territorial. El ordenamiento del territorio regional, provincial, distrital, cantonal y parroquial tiene por objeto complementar la planificación económica, social y ambiental con dimensión territorial; racionalizar las intervenciones sobre el territorio; y, orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible, a través de los siguientes objetivos:

- a) La definición de las estrategias territoriales de uso, ocupación y manejo del suelo en función de los objetivos económicos, sociales, ambientales y urbanísticos;
- b) El diseño y adopción de los instrumentos y procedimientos de gestión que permitan ejecutar actuaciones integrales y articular las actuaciones sectoriales que afectan la estructura del territorio; y,
- c) La definición de los programas y proyectos que concreten estos propósitos. Los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales, en la ejecución de su competencia de uso y control del suelo, tendrán en cuenta los objetivos contenidos en este artículo

2.2.4. Código Orgánico Ambiental (COA)

El desarrollo de este estudio se enmarcó en los objetivos 37, 38, 40, 41, 55, 56, 59, 109 y 111 (COA, 2017), los mismos que se orientan en conservar y usar de forma sostenible la biodiversidad, proteger las especies de vida silvestre y variedades silvestres de especies cultivadas, así también, en mantener la dinámica hidrológica de las cuencas hidrográficas, proteger los cuerpos de aguas superficiales y subterráneas y control de actividades que se realicen en las zonas de amortiguamiento; garantizando la generación de bienes y servicios ambientales provistos por los ecosistemas presentes en reservas naturales contribuyendo al cumplimiento de los objetivos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas.

2.2.5. Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua

La REEA como parte integrante de la zona alta de la subcuenca del río El Ángel y designada como sitio Ramsar por las lagunas y humedales que presenta, se enmarca al cumplimiento de los artículos:

Artículo 9, manifiesta que la Autoridad Ambiental Nacional dictará las normas técnicas necesarias para la gestión de los recursos hídricos cuando se encuentren en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas Estatales, cuando se trate de Humedales de importancia para la conservación ambiental o formen parte de convenios internacionales.

Artículo 13, se prohíbe el cambio de uso del suelo en donde exista ecosistema de páramo, humedales o cualquier otro ecosistema que almacene agua.

2.2.6. Plan de Nacional de Desarrollo 2017-2021

Esta investigación se basa en la sustentabilidad ambiental y el desarrollo territorial del Plan Nacional de Desarrollo, enfocado en fundamentos, ejes programáticos y objetivos nacionales de desarrollo, los mismos que sustentan la planificación para lograr mayor equidad y justicia social, ampliar las capacidades productivas y fortalecer el talento humano. Garantizando la realización de proyectos de vida, en condiciones de igualdad de oportunidades (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017). El Plan Nacional de Desarrollo demuestra tres ejes principales:

- a) Derechos para todos durante toda la vida. - establece la protección de las personas más vulnerables y la plurinacionalidad e interculturalidad.
- b) Economía al servicio de la sociedad. - plantea consolidar el sistema económico social y solidario, ampliar la productividad y competitividad.
- c) Más sociedad, mejor Estado. - promueve la participación ciudadana y la construcción de una nueva ética social basada en la transparencia y la solidaridad.

2.2.7. Plan de manejo de la Reserva Ecológica El Ángel

El proceso del presente estudio tuvo énfasis en el Plan de Manejo de la REEA, debido a que fue designada como área protegida por el recurso hídrico que proviene de sus páramos y humedales, que se constituye en una importante fuente de abastecimiento y aporte para varias cuencas hidrográficas. A su vez, en el Registro Oficial No. 21 del 8 de septiembre de 1992 también se plantea la importancia de la regulación y garantía del recurso hídrico, tanto en cantidad como en calidad. La mayor superficie de este sitio está conformada por páramos húmedos, representando una fuente vital de abastecimiento de agua para la provincia del Carchi (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2015).

2.2.8. Plan de Ordenamiento Territorial cantón Espejo

La Reserva Ecológica El Ángel, la cual contiene gran diversidad biológica y es la fuente reguladora de agua que abastece al cantón y a cantones adyacentes, posee una gran diversidad biológica y belleza escénica y la posibilidad de facilitar las investigaciones. Las normas y los actos del poder público deberán mantener conformidad con las disposiciones constitucionales, caso contrario carecerán de eficacia jurídica los artículos 54 y 55 que establecen las funciones y competencias exclusivas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales señalados en el Código de Organización Territorial Autonomías y Descentralización (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Espejo, 2011).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presenta la caracterización biofísica de la reserva ecológica y zona de amortiguamiento:

3.1. Caracterización biofísica

El área de estudio se ubica en las parroquias La Libertad y El Ángel del cantón Espejo; Maldonado y Tufiño del cantón Tulcán y La Concepción del cantón Mira, provincia del Carchi. Incluyendo la cordillera Occidental de los Andes del norte y las principales elevaciones, en sentido Norte-Sur, tales como: Chiles y Cerro Negro. Según el Registro Oficial No. 21 del 8 de septiembre de 1992 por medio del cual se crea la REEA, bajo el Acuerdo Ministerial 0415. La reserva ecológica tiene una extensión aproximada de 15.715 hectáreas. Sin embargo, de acuerdo con verificaciones en campo, realizadas en los últimos años por el MAE, la superficie total de la reserva asciende a 16.591,6 hectáreas, pertenece al Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE) (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015) (Figura 1).

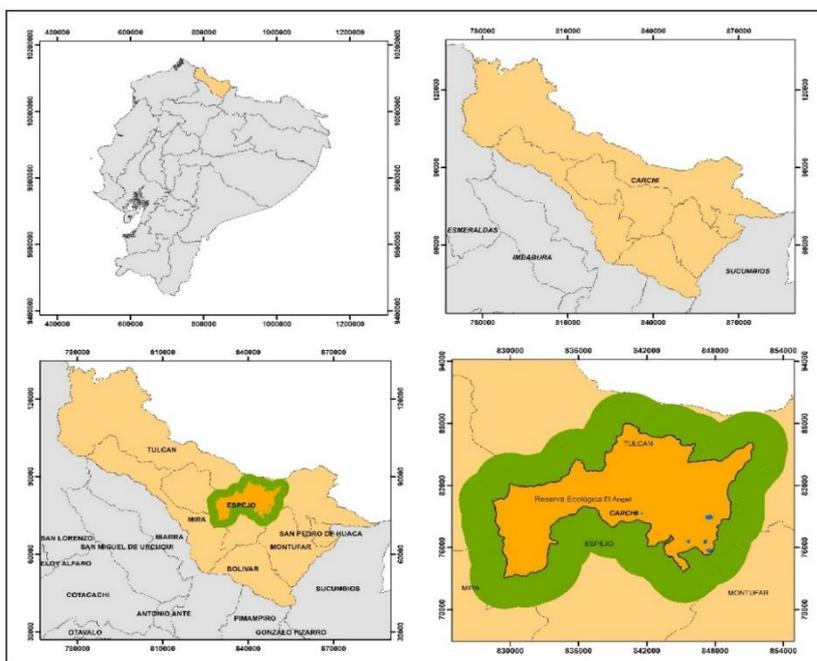


Figura 1. Ubicación de la Reserva Ecológica El Ángel

Fuente: Elaboración propia

Según el Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015), la mayor parte de la REEA se encuentra en la subcuenca hidrográfica del río El Ángel, en la zona de Clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña, con temperaturas medias anuales que alcanzan los 5° a 6° C. Se extiende altitudinalmente desde los 3.200 m s.n.m. en el sector del río Chiquito hasta los 4.200 m s.n.m., en el límite Norte de la reserva con los cerros Orejuela y Yanacocha, presenta un rango de precipitación medio anual de 2.000 a 3.000 mm y se encuentra en los pisos bioclimáticos: Montano Alto Superior y Montano Alto (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015) (Figura 2).

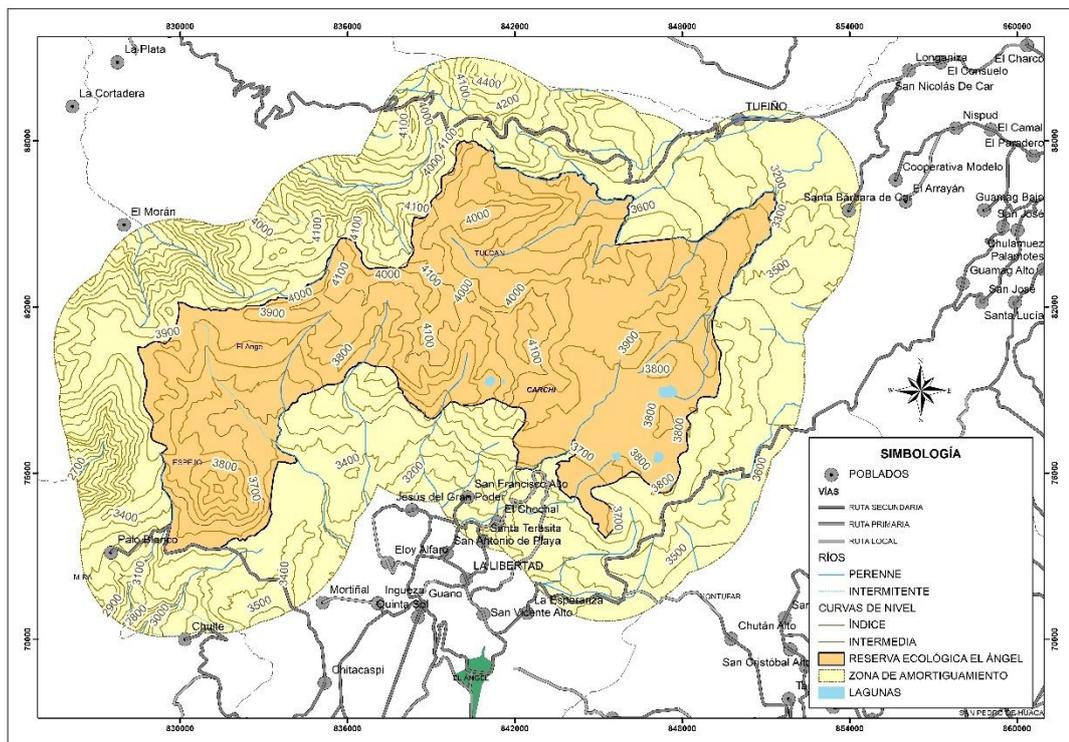


Figura 2. Mapa base de la Reserva Ecológica El Ángel

Fuente: Elaboración propia

3.2. Materiales y equipos

Los materiales, equipos y herramientas que se emplearon durante la fase de investigación en oficina y en campo, fueron los siguientes (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Materiales utilizados

| Materiales | |
|---|--|
| Campo | Oficina |
| <ul style="list-style-type: none">• Botas de caucho• Poncho de aguas• Mochilas de asalto• Pasamontañas | <ul style="list-style-type: none">• Imágenes LANDSAT (TM, ETM) de los años 1991, 1999, 2010, 2017.• Imágenes SENTINEL del año 2017. |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Equipos utilizados

| Equipos | |
|--|---|
| Campo | Oficina |
| <ul style="list-style-type: none">• Navegador GPS• Cámara fotográfica• Linterna• Vehículo 4x4 | <ul style="list-style-type: none">• Software ArcGIS v10.4 con licencia provisional• Software utilizado ERDAS IMAGINE 9.1 para el tratamiento de las imágenes satelitales y el análisis multitemporal• Computador portátil |

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Métodos

Los métodos empleados con el fin de cumplir el objetivo general y los objetivos específicos fueron estructurados en cuatro fases como se indica en la figura 3:

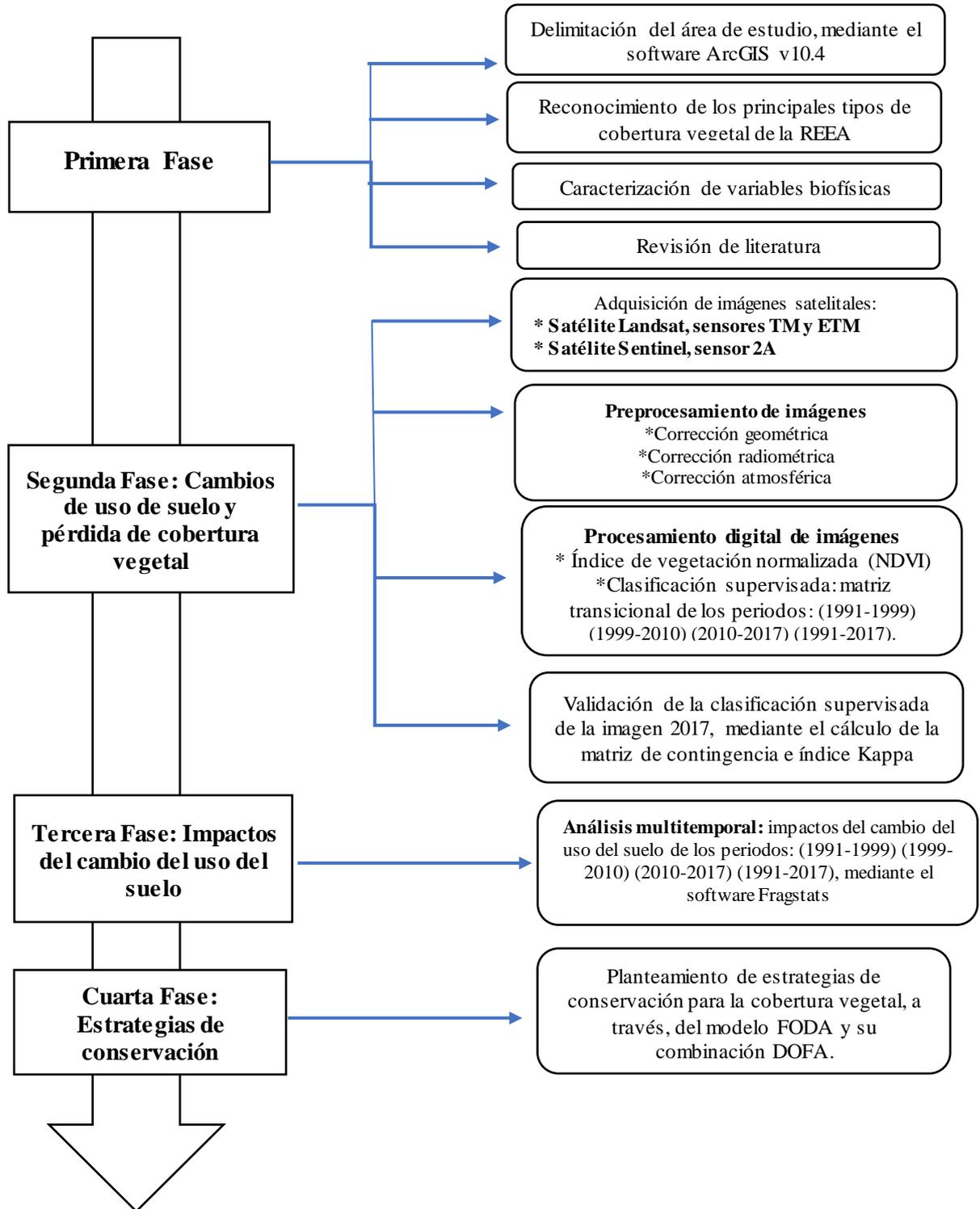


Figura 3. Diagrama de la metodología

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. Delimitación del área de estudio

La delimitación de la Reserva Ecológica El Ángel se realizó mediante el uso de cartas topográficas digitales obtenidas del Geoportal del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (IGM) a escala 1:50.000; mientras que la zona de amortiguamiento (42.138,3 hectáreas) se delimitó mediante un *Buffer* con un perímetro de 3km alrededor del límite de la REEA, la información en formato vectorial de: viviendas, poblados, ríos, vías y curvas de nivel se procesaron en el software ArcGIS v10.4 (con licencia provisional).

3.3.2. Cuantificar los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal en la Reserva Ecológica y zona de amortiguamiento

El desarrollo del objetivo se realizó en base a los siguientes métodos:

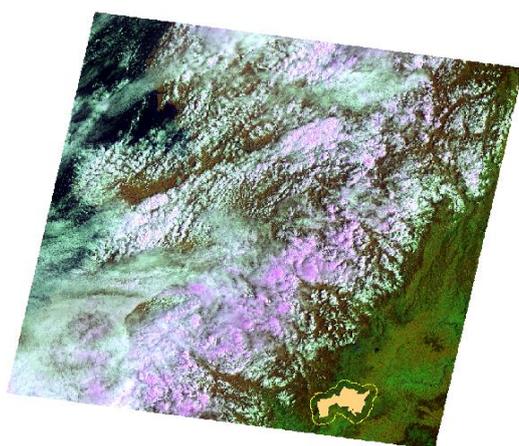
- **Adquisición de imágenes satelitales Landsat y Sentinel**

Se obtuvo imágenes satelitales Landsat con sensores TM (Thematic Mapper) y ETM5 (Enhanced Thematic Mapper) del Geoportal *Earth Explorer* y Sentinel con sensor 2A del servidor *ESA* (Agencia Espacial Europea) de los años 1991, 1999, 2010 y 2017, las cuales contienen metadatos de acuerdo a la Tabla 4 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2016) (Figura 4).

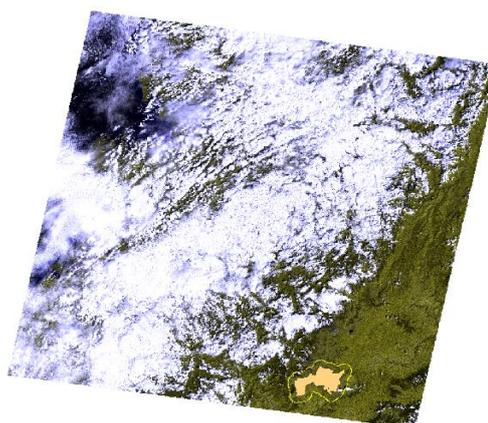
Tabla 4. Metadatos de las imágenes de los años 1990, 2000, 2017

| Data Set Attribute | Attribute Value | | |
|----------------------------|---|---|--|
| | AÑO 1990 | AÑO 2000 | AÑO 2017 |
| Landsat Product Identifier | LT05_L1TP_010060_199908_18_20161218_01_T2 | LE07_L1TP_010060_2017_0421_20170517_01_T1 | LC08_L1TP_010060_20170920_20171012_01_T1 |
| Landsat Scene Identifier | LT50100601999230CPE04 | LE70100602017111EDC00 | LC80100602017263LGN00 |
| Acquisition Date | 18/08/1999 | 42846 | 42998 |
| Spacecraft Identifier | LANDSAT_5 | OFF | T1 |
| Collection | T2 | T1 | 1 |
| Category | | | |
| Collection Number | 1 | 1 | 10 |
| Sensor Mode | SAM | BUMPER | 60 |
| WRS Path | 10 | 10 | 10 |
| WRS Row | 60 | 60 | 60 |
| Date L-1 Generated | 18/12/2016 | 42872 | NADIR |
| Start Time | 1999:230:15:03:37.45569 | 2017:111:15:28:28.3026249 | -0.001 |
| Stop Time | 1999:230:15:04:04.54994 | 2017:111:15:28:55.0566250 | 43020 |

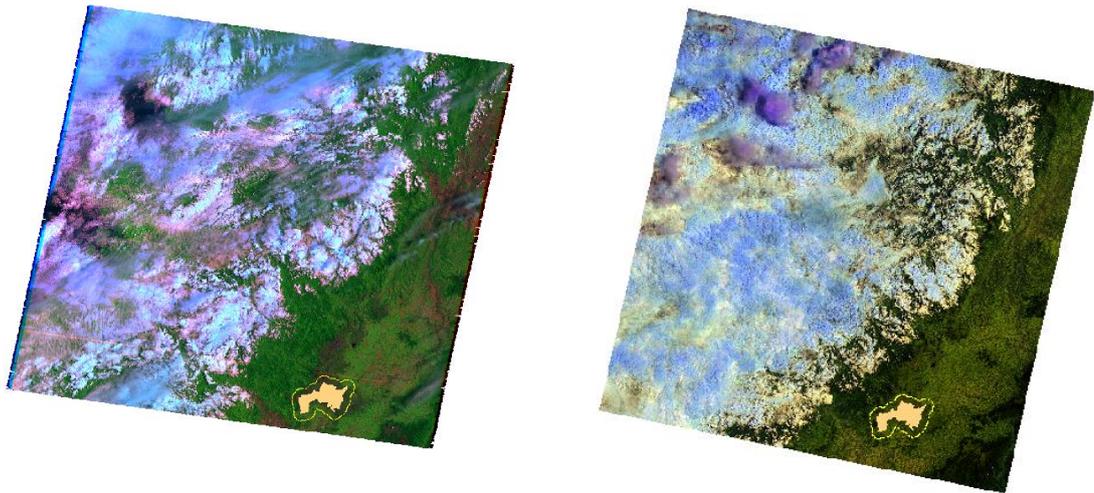
Fuente: Elaboración propia



Año 1991



Año 1999



Año 2010

Año 2017

Figura 4. Imágenes satelitales de los años 1991, 1999, 2010, 2017

Fuente: Geoportal Earth Explorer y servidor ESA (Agencia Espacial Europea)

- **Preprocesamiento digital de imágenes satelitales**

El preprocesamiento se realizó mediante la función *Raster* en el software ArcGIS v10.4 eliminando anomalías de la imagen, con la modificación de la geometría respecto a la superficie terrestre, georreferenciado a un sistema geodésico y proyección geográfica determinada (UTM *Universal Transverse Mercator*). Aguilar (2014), señala que las correcciones radiométricas buscan mejorar la precisión de los píxeles que componen la imagen, compensando las diferencias en los valores de radiancia y la conversión de los niveles digitales (ND) a valores de radiancia y reflectancia. La corrección radiométrica para las imágenes satelitales de los años 1991, 1999, 2010 y 2017 se realizó por la función *Extract By Mask*, procediendo al cálculo de la radianza mediante el siguiente algoritmo (Andrade, 2016):

$$L = G \cdot DN + B$$

En donde:

L: Radianza

G: Gain

B: Bias

ND: Nivel Digital

Además, se eliminó las distorsiones que la atmósfera introduce en los valores de radiancia, mediante la herramienta *Radiance With Atmospheric Correction* (Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, 2013).

- **Procesamiento digital de imágenes satelitales**

El procesamiento de las imágenes se realizó en el software ArcGIS v10.4 mediante el modelo de máxima similitud agrupando píxeles de la imagen que tienen valores similares de reflectancia en diferentes clases o clusters (Chuvieco, 2010).

Cálculo del Índice de Vegetación

El cálculo del índice de vegetación o índice verde (NDVI) se utilizó como indicador del vigor de la biomasa vegetal, así como para estimar e identificar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en base a la superficie terrestre (Rouse, Haas, Schell, Deering y Harían, 1974). Además, puede ser calculado por medio de la combinación matemática de bandas para reflejar las condiciones fisiológicas y biométricas de las plantas (Jensen, 1983), a través de la herramienta *Image Analysis* en el software ArcGIS v10.4 mediante la siguiente ecuación (Figura 5):

$$NDVI = \frac{R - IR}{R + IR}$$

R= color rojo del espectro visible

IR= infra-rojo cercano

Figura 5. Ecuación para calcular el NDVI (*Normalized difference vegetation index*)

Fuente: Aguilar (2014)

Posteriormente se ejecutó la herramienta *Reclass* función *Reclassify* y mediante el método manual se digitalizó los siguientes rangos de valores (Tabla 5):

Tabla 5. Rango de valores del NDVI

| Clase | Rango |
|-------|------------|
| 1 | 0-0.125 |
| 2 | 0.125-0.25 |
| 3 | 0.25-0.50 |
| 4 | >0.50 |

Fuente: Elaboración propia

Clasificación supervisada

Se asignó áreas de entrenamiento para interpretar los tipos de cobertura delimitados en campo con navegador GPS (Global Position System) a través de cuadrantes de 50x50 al azar, obteniendo un total de 600 puntos de control agrupados en: páramo herbáceo, páramo arbustivo, páramo de frailejones, páramo de almohadillas, cuerpos de agua y áreas intervenidas, las cuales fueron procesadas en el software ArcGIS v10.4 a través de la herramienta *Multivariate*, función *Create Signatures* y *Maximum Likelihood Classification*. Las variaciones en los cambios de cobertura vegetal fueron similares a los datos del Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental 2013-2014, Escala 1:100.000, elaborado por el MAE-MAGAP (2014).

Además, se elaboró la matriz transicional para comparar los cambios entre periodos, en las filas y columnas de la matriz constan las categorías identificadas en la clasificación supervisada, como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6. Matriz transicional periodo: (1991-1999) (1999-2010) (2010-2017) (1991-2017)

| AÑO MENOR | AÑO MAYOR | | | | | |
|------------------------|----------------|--------------------|------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
| | Cuerpo de agua | Áreas intervenidas | Páramo arbustivo | Páramo de almohadillas | Páramo de frailejones | Páramo herbáceo |
| Cuerpo de agua | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Áreas intervenidas | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Páramo arbustivo | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 |
| Páramo de almohadillas | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| Páramo de frailejones | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| Páramo herbáceo | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 |

Fuente: Elaboración propia

Se asignaron valores de 1 a 6 para las categorías de las columnas, y valores de 10 a 60 para las categorías de las filas; los valores que se repiten indican polígonos donde no hubo cambio de uso de suelo y los valores que no se repiten indican polígonos con cambio de uso de suelo.

- **Cálculo de la matriz de contingencia e índice Kappa**

Se evaluó la calidad en la correspondencia de la clasificación, seleccionando de forma aleatoria una serie de puntos sobre la imagen clasificada, mediante la opción *Segmentation and Classification, Compute Confusion Matrix* del software ArcGIS v10.4, los cuales fueron comprobados mediante toma de puntos de control en campo con navegador GPS (Andrade, 2016). La generación de la matriz de Contingencia y el índice Kappa determinaron la precisión de la clasificación de acuerdo a la escala de valores del índice Kappa (Andrade, 2016) (Tabla 7).

Tabla 7. Categoría de concordancias de validación para el coeficiente Kappa

| Valor K | Concordancia |
|----------------|---------------------|
| 0 | Nula |
| 0,01 – 0,02 | Leve |
| 0,21 – 0,40 | Aceptable |
| 0,41 – 0,60 | Moderada |
| 0,61 – 0,80 | Considerable |
| 0,81 – 1,00 | Casi perfecta |

Fuente: Andrade (2016)

3.3.3. Determinar los impactos del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento

Los métodos desarrollados fueron los siguientes:

- **Detección de cambios del uso del suelo mediante software FRAGSTATS**

McGarigal y Marks (2002), indican que a través del software FRAGSTATS 4.2 se determinan los cambios de uso del suelo de la zona de amortiguamiento mediante varias métricas (número de parches NP, densidad de borde ED, área total CA, índice de contigüidad CONIG_MN y área núcleo total TAG) del paisaje útiles como indicadores ecológicos de la composición del paisaje y su configuración

(Gurrutxaga y Lozano, 2008), los cuales fueron elegidos para analizar el carácter del cambio del paisaje, medido por los mapas de clasificación. Para desarrollar cada una de las métricas se tomó en cuenta una distancia al borde de 30m que es hipotéticamente afectada por la dinámica del ecotono circundante (Damion et al., 2006).

Para los tipos de vegetación identificados se aplicó el cálculo de las siguientes métricas (Tabla 8) :

Tabla 8. Métricas para la detección del cambio de uso de suelo

| Métricas | |
|--------------------------------------|---|
| Área total remanente (CA) | Determina la extensión total de cada clase en estudio (m ²) dividido para 10.000 y se lo expresa en hectáreas (McGarigal et al., 2002). |
| Número de parches (NP) | Indica el grado de fragmentación, especialmente si en su estado inicial la región era relativamente homogénea en cuanto al tipo de hábitat o uso del suelo. Cuanto mayor es la cantidad de fragmentos, más fino es el grano del mosaico y la heterogeneidad se percibe a escala espacial inferior (McGarigal et al., 2002). |
| Densidad de borde (ED) | Indica la cantidad de fragmentos, pero su valor relativo permite comparar territorios de tamaños diferentes. Un mosaico con mayor densidad de borde es más heterogéneo y una clase con mayor densidad de borde está más fragmentada (McGarigal et al., 2002). |
| Índice de contigüidad o continuidad: | Permite evaluar la continuidad espacial como indicador de fragmentación boscosa (McGarigal et al., 2002). |
| Área Núcleo total (TCA). | Equivale a la suma de las áreas núcleo de cada tipo de parche en (m ²), dividido por 10.000 para convertir a hectáreas (McGarigal et al., 2002). |

Fuente: Elaboración propia

La información obtenida por el software FRAGSTATS 4.2 mostró si existen diferencias significativas en la distribución de sus valores que permita mejorar el análisis de los datos obtenidos y definir los impactos de cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento.

3.3.4. Estrategias de conservación para la cobertura vegetal

Para determinar las estrategias de conservación de la cobertura vegetal se aplicó el modelo FODA señalado por David (1987), quien establece las siguientes fases: Listado de las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades. La selección de las combinatorias: Fortalezas-Oportunidades (FO), Debilidades-Amenazas (DA), Debilidades-Oportunidades (DO) y Fortalezas-Amenazas (FA).

En este sentido, el diagnóstico realizado que permitió el análisis FODA constó de dos partes: una interna y otra externa, la parte interna tuvo que ver con las fortalezas y las debilidades de la REEA, aspectos sobre los cuales se tuvo algún grado de acceso, como lo fueron: análisis de actividades y análisis de entorno, la parte externa se centró en las oportunidades que ofrece el entorno seleccionado sobre las cuales se tuvo poco o ningún control directo y las amenazas se consideraron en aquellas áreas donde se encontraba cambio de cobertura vegetal (páramo herbáceo, páramo de frailejones y páramo arbustivo) (Flores, 2008) (Tabla 9).

Tabla 9. Matriz FODA-SWOT (strengths, weaknesses, opportunities y threats)

| Análisis interno | Fortalezas | Debilidades |
|-------------------------|--|---|
| | Capacidades distintas Ventajas naturales Recursos superiores | Recursos y capacidades escasas Resistencia al cambio Problemas de motivación del personal |
| Análisis externo | Oportunidades | Amenazas |
| | Debilitamiento de competidores Posicionamiento estratégico | Altos riesgos Cambios en el entorno |

Fuente: Flores (2008). *Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas al programa “Misión Árbol” del MPP para el ambiente, municipio Heres estado Bolívar, Venezuela, 204.*

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal mediante el Índice de vegetación (NDVI)

Mediante el índice de vegetación se asignaron valores a cada una de las categorías de páramo, como se indica en la Tabla 10. Demostrando que el valor asignado a la categoría de páramo de almohadillas (0,125) y páramo herbáceo (0,25) representa una superficie baja en cobertura vegetal como lo menciona Alcaraz, Baldi, Durante y Garbulsky (2008), quienes indican que los valores de menos 0,5 señalan una vegetación casi nula. Mientras, que la categoría de páramo de frailejones (0,50) y páramo arbustivo (>0,50), muestran una superficie de cobertura vegetal predominante, identificando la presencia de vegetación verde en la superficie, su distribución espacial y la evolución de su estado a lo largo del tiempo (Rosero, 2017).

Tabla 10. Rango de valores del NDVI

| Clase | Categoría | Rango |
|-------|------------------------|-------|
| 1 | Páramo de almohadillas | 0,125 |
| 2 | Páramo herbáceo | 0,25 |
| 3 | Páramo de frailejones | 0,50 |
| 4 | Páramo arbustivo | >0,50 |

Fuente: Elaboración propia

En el periodo 1991-2017 la categoría de páramo arbustivo presentó un cambio de cobertura vegetal a páramo de almohadillas en 247,27 hectáreas, a páramo de frailejones con 3.612,59 hectáreas y a páramo herbáceo en 551,63 hectáreas. El páramo de almohadillas se modificó a páramo arbustivo con 128,23 hectáreas y a páramo de frailejones con 208,53 hectáreas; mientras que el páramo de frailejones varió a páramo arbustivo en 2.904,84 hectáreas, a páramo de almohadillas en 608,83 hectáreas y a páramo herbáceo en 286,67 hectáreas. La superficie de cobertura de páramo herbáceo cambio a páramo arbustivo con 907,11 hectáreas y a páramo de frailejones con 238,39 hectáreas (Tabla 11).

Tabla 11. Cambios de cobertura vegetal mediante valores del NDVI, periodo 1991-2017

| Período 1991-2017 | | |
|--------------------------|------------------------|------------------|
| Categoría | Cambio | Hectáreas |
| Páramo arbustivo | Páramo de almohadillas | 247,27 |
| Páramo arbustivo | Páramo de frailejones | 3.612,59 |
| Páramo arbustivo | Páramo herbáceo | 551,63 |
| Páramo de almohadillas | Páramo arbustivo | 128,23 |
| Páramo de almohadillas | Páramo de frailejones | 208,53 |
| Páramo de frailejones | Páramo arbustivo | 2.904,84 |
| Páramo de frailejones | Páramo de almohadillas | 608,83 |
| Páramo de frailejones | Páramo herbáceo | 286,67 |
| Páramo herbáceo | Páramo arbustivo | 907,11 |
| Páramo herbáceo | Páramo de frailejones | 238,39 |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos en el análisis muestran cambios que no afectan significativamente al funcionamiento del ecosistema páramo (Garbulsky y Paruelo, 2004), posiblemente a una rápida recuperación y sucesión ecológica por parte de la vegetación. Sin embargo, éstas modificaciones se pudieron ocasionar por efectos tales como la estacionalidad, fenología y estabilidad de la dinámica temporal del verdor de la vegetación como lo indica Alcaraz et al. (2008), en su investigación sobre análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas. Asimismo, resaltan la importancia de estudiar variables más allá del promedio anual ya que, existen cambios que no afectan a la cobertura vegetal.

4.1.2. Cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal mediante clasificación supervisada

El análisis multitemporal de los años 1991, 1999, 2010 y 2017, indica el aumento y disminución que se ha producido en las siguientes categorías: cuerpo de agua, áreas intervenidas, páramo arbustivo, páramo de almohadillas, páramo de frailejones y páramo herbáceo. En el año 1999 para la categoría de áreas intervenidas se detectó los valores de 1.264,47 hectáreas, en cuanto al año 2017 los valores corresponden con alrededor de 8.744,32 hectáreas (Figura 6), identificando cambios de uso de suelo en el área de estudio. Investigaciones realizada por Maza (2009) y GeoPlaDes (2015), mediante imágenes satelitales Landsat, demuestran que el incremento y pérdida de cobertura vegetal se debe al cambio de uso del suelo, ocasionados por factores naturales o antrópicos.

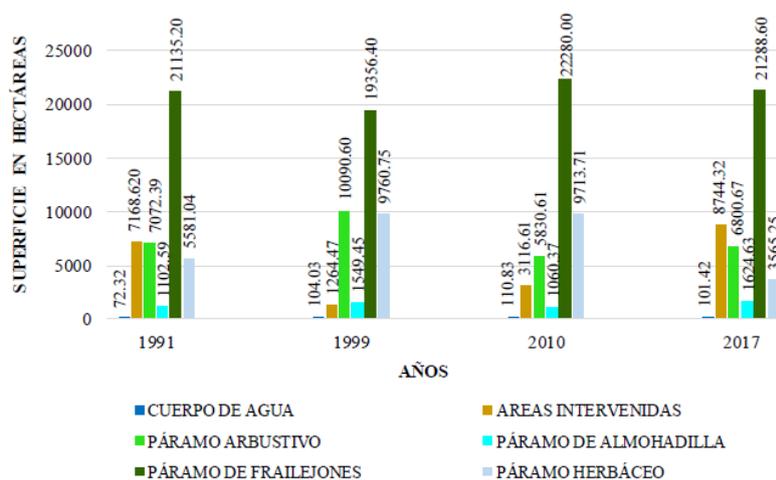


Figura 6. Análisis multitemporal de cobertura vegetal en la REEA y zona de amortiguamiento mediante clasificación supervisada

Fuente: Elaboración propia

La cuantificación de las superficies de cobertura vegetal de la REEA y zona de amortiguamiento mediante la clasificación supervisada permitió obtener los cambios de cada categoría: cuerpos de agua, áreas intervenidas, páramo arbustivo, páramo de almohadillas, páramo de frailejones y páramo herbáceo de los años 1991, 1999, 2010 y 2017.

La figura 7 indica la distribución espacial de las categorías de cobertura vegetal en los años 1991, 1999, 2010 y 2017.

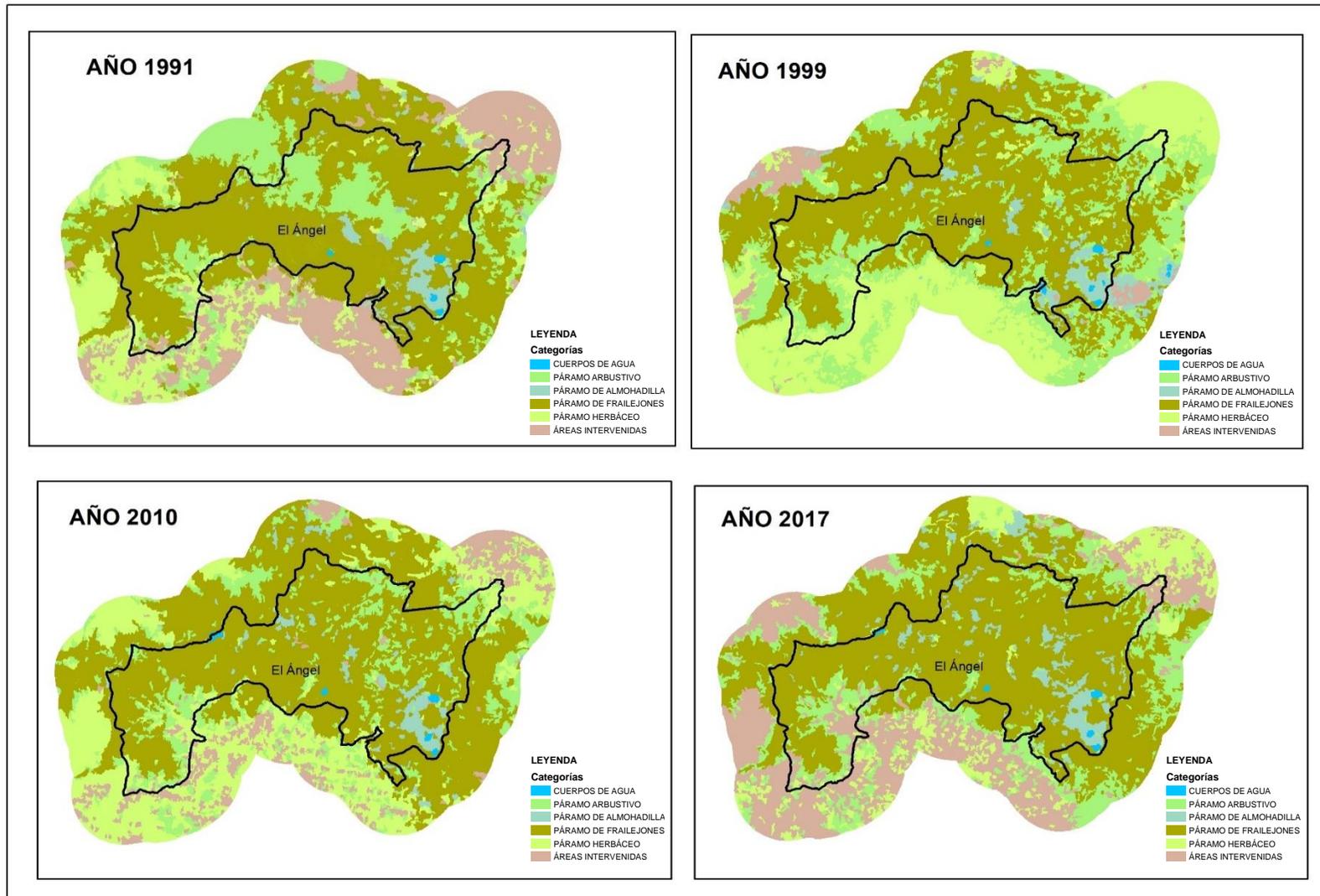


Figura 7. Distribución espacial de las categorías de cobertura vegetal y uso del suelo en la REEA y zona de amortiguamiento de los años 1991, 1999, 2010 y 2017

Fuente: Elaboración propia

En el análisis se determinó que durante el periodo 1991-1999 la superficie de los cuerpos de agua aumentó un 0,08% con una variación de 31,70 hectáreas. Mientras que en los últimos siete años (2010-2017) existe una disminución de 9,41 hectáreas (0,02%), posiblemente a factores climáticos que provocaron el incremento de la temperatura en la región de los Andes Tropicales, lo que condujo a la pérdida de varios espejos de agua y reducción de los mismos (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015) (Tabla 12 y 18). Como señala Cáceres (2010), quien manifiesta que la región Interandina posee tendencia a la desertificación y cambios ecosistémicos, debido a la variabilidad de temperatura cada vez más extrema que incide notablemente en la frágil estabilidad de las formaciones vegetales andinas.

Tabla 12. Matriz de cambio de la categoría cuerpos de agua

| Categoría | Años | | | |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Cuerpo de agua 1991 (hectáreas) | Cuerpo de agua 1999 (hectáreas) | Cuerpo de agua 2010 (hectáreas) | Cuerpo de agua 2017 (hectáreas) |
| Cuerpo de agua 1991 | Sin cambio | 31,70 | 38,51 | 29,10 |
| Cuerpo de agua 1999 | 31,70 | Sin cambio | 6,8 | -2,61 |
| Cuerpo de agua 2010 | 38,51 | 6,8 | Sin cambio | -9,41 |
| Cuerpo de agua 2017 | 29,10 | -2,61 | -9,41 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo 1991-1999 se evidenció la disminución de áreas intervenidas de 5.904,15 hectáreas (14,01%) y para el periodo 2010-2017 la superficie aumentó en 5.627,71 hectáreas (13,36%) en comparación con la superficie total de la REEA y zona de amortiguamiento (Tabla 13 y 18). Los datos obtenidos evidencian que la dinámica de cambio podría estar determinada por el crecimiento demográfico y los monocultivos que van ejerciendo presión sobre la cobertura vegetal, transformando zonas de vocación forestal a cultivos agrícolas (Ruiz, Savé y Herrera, 2013).

El Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2010), manifiesta que más de la tercera parte de la población económicamente activa (PEA) en la provincia del Carchi, se dedica a actividades agropecuarias. Mientras que, a nivel cantonal, el porcentaje de la PEA dedicada a esta actividad supera el 50%, especialmente en los cantones de Bolívar, Espejo y Mira. A nivel parroquial la principal actividad de la

PEA es la agricultura y la ganadería, cuyos porcentajes cada vez aumentan en representatividad, El Ángel (38,3%), La Libertad (66,9%), La Concepción (78,3%), Maldonado (67,3%) y Tufiño (57,2%).

Tabla 13. Matriz de cambio de la categoría áreas intervenidas

| Categoría | Años | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | Áreas intervenidas 1991 (hectáreas) | Áreas intervenidas 1999 (hectáreas) | Áreas intervenidas 2010 (hectáreas) | Áreas intervenidas 2017 (hectáreas) |
| Áreas intervenidas 1991 | Sin cambio | -5.904,15 | -4.052,01 | 1.575,70 |
| Áreas intervenidas 1999 | -5.904,15 | Sin cambio | 1.852,14 | 7.479,85 |
| Áreas intervenidas 2010 | -4.052,01 | 1.852,14 | Sin cambio | 5.627,71 |
| Áreas intervenidas 2017 | 1.575,70 | 7.479,85 | 5.627,71 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

La cobertura de vegetación arbustiva presentó un aumento gradual en el periodo 1991-1999 en 7,16% (3.018,21 hectáreas) de su cobertura original, incremento que perdura durante el periodo 2010-2017 con el 2,30% (970,06 hectáreas) de su superficie (Tabla 14 y 18). Esto implica al alto contenido de humedad ambiental que presenta la reserva, estratos vegetales que se desarrollan en sitios menos expuestos al viento y a la desecación, como laderas abruptas, fondo de valles glaciares y grandes bloques de rocas (Martínez y Reck, 2010).

Tabla 14. Matriz de cambio de la categoría páramo arbustivo

| Categoría | Años | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | Páramo arbustivo 1991 (hectáreas) | Páramo arbustivo 1999 (hectáreas) | Páramo arbustivo 2010 (hectáreas) | Páramo arbustivo 2017 (hectáreas) |
| Páramo arbustivo 1991 | Sin cambio | 3.018,21 | -1.241,78 | -271,72 |
| Páramo arbustivo 1999 | 3.018,21 | Sin cambio | -4.259,99 | -3289,93 |
| Páramo arbustivo 2010 | -1.241,78 | -4.259,99 | Sin cambio | -170,06 |
| Páramo arbustivo 2017 | -271,72 | -3289,93 | -170,06 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

La disminución de la cobertura de páramo de almohadillas sobresale durante el análisis del periodo 1999-2010 con el 1,16% (489,08 hectáreas), mientras que para los últimos siete años (2010-2017) su aumento fue en 1,34% (564,26 hectáreas) (Tabla 15 y 18). El incremento y disminución de la categoría páramo de

almohadillas se debe a que estos ecosistemas, por lo general, son inundables y se los considera azonales por la influencia de condiciones edáficas o microclimáticas locales sobre la vegetación (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015).

Tabla 15. Matriz de cambio de la categoría páramo de almohadillas

| Categoría | Años | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|
| | Páramo de almohadillas 1991 (hectáreas) | Páramo de almohadillas 1999 (hectáreas) | Páramo de almohadillas 2010 (hectáreas) | Páramo de almohadillas 2017 (hectáreas) |
| Páramo de almohadillas 1991 | Sin cambio | 446,86 | 42,22 | 522,04 |
| Páramo de almohadillas 1999 | 446,86 | Sin cambio | -489,08 | -75,18 |
| Páramo de almohadillas 2010 | 42,22 | -489,08 | Sin cambio | 564,26 |
| Páramo de almohadillas 2017 | 522,04 | -75,18 | 564,26 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

Lo anterior corrobora el estudio de Dengel y Rollenbeck (2003), quienes indican que éste tipo vegetación al encontrarse expuestos a altas precipitaciones y al mantenerse cubiertos de niebla, se encuentran en un ambiente húmedo de manera permanente. Por otra parte, el páramo de almohadillas está presente donde existe un balance hídrico positivo; es decir, el desarrollo de la cobertura se debe a que las corrientes y evapotranspiración son menores que las entradas por precipitación o escorrentía (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2015).

La superficie de páramo de frailejones registró un aumento del 6,94% (2.923,60 hectáreas) durante el periodo 1999-2010, mientras que en los últimos siete años (2010-2017) ha existido una pérdida de cobertura con el 2,35% (991,40 hectáreas), en este sentido Ponce (2008), menciona que la disminución de este tipo de vegetación se debe a las actividades antrópicas realizadas por el 75% de la población (El Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2010) (Tabla 16 y 18).

Tabla 16. Matriz de cambio de la categoría páramo de frailejones

| Categoría | Años | | | |
|----------------------------|--|--|--|--|
| | Páramo de frailejones 1991 (hectáreas) | Páramo de frailejones 1999 (hectáreas) | Páramo de frailejones 2010 (hectáreas) | Páramo de frailejones 2017 (hectáreas) |
| Páramo de frailejones 1991 | Sin cambio | -1.778,80 | -1.144,80 | 153,40 |
| Páramo de frailejones 1999 | -1.778,80 | Sin cambio | -2.923,60 | -1.932,20 |
| Páramo de frailejones 2010 | -1.144,80 | -2.923,60 | Sin cambio | -991,40 |
| Páramo de frailejones 2017 | 153,40 | -1.932,20 | -991,40 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

La cobertura vegetal de páramo herbáceo registró un aumento progresivo de su superficie en 9,92% (4.179,71 hectáreas) durante el periodo 1991-1999 y una disminución severa en el periodo 2010-2017 con el 15% (6.148,46 hectáreas) (Tabla 17 y 18). Según el Ministerio del Ambiente de Ecuador (2015), probablemente ésta disminución se debe al avance de cultivos por propietarios individuales y colectivos con predios dentro y fuera de la reserva, en razón, a que más del 50% de la PEA de estas poblaciones (El Ángel, La Libertad, Maldonado, Tufiño, La Concepción) se dedica a actividades agropecuarias, constituyendo un riesgo para la diversidad biológica de la REEA.

Tabla 17. Matriz de cambio de la categoría páramo herbáceo

| Categoría | Años | | | |
|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | Páramo herbáceo 1991 (hectáreas) | Páramo herbáceo 1999 (hectáreas) | Páramo herbáceo 2010 (hectáreas) | Páramo herbáceo 2017 (hectáreas) |
| Páramo herbáceo 1991 | Sin cambio | 4.179,71 | -4.132,67 | -2.015,79 |
| Páramo herbáceo 1999 | 4.179,71 | Sin cambio | 6.195,50 | 6.195,50 |
| Páramo herbáceo 2010 | -4.132,67 | 6.195,50 | Sin cambio | -6.148,96 |
| Páramo herbáceo 2017 | -2.015,79 | 6.195,50 | -6.148,96 | Sin cambio |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Cambios de la cobertura vegetal de la REEA y zona de amortiguamiento mediante clasificación supervisada

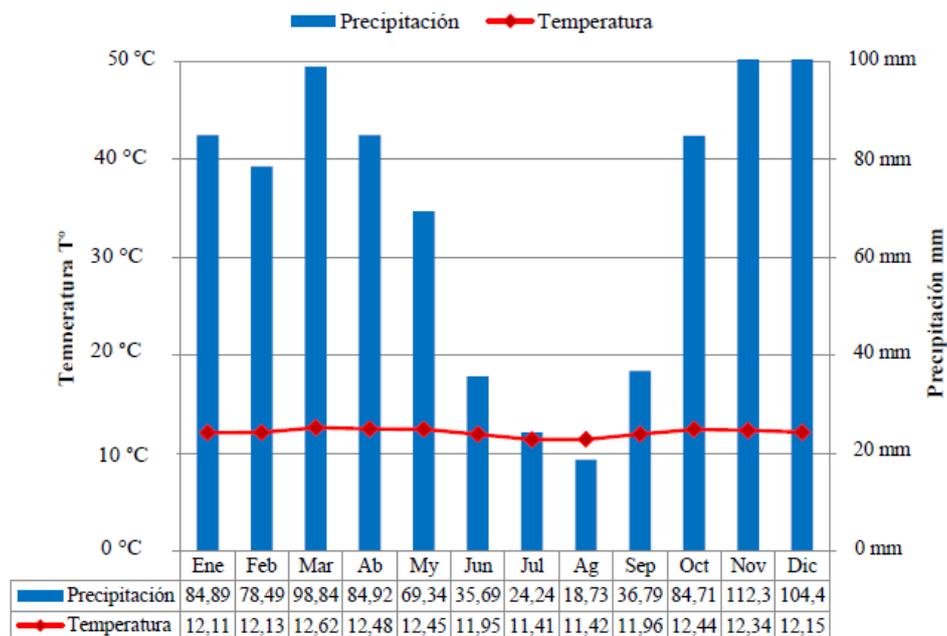
| Categoría | Años | | | | Diferencia entre superficies | | | | | | | |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|----------|
| | 1991 | 1999 | 2010 | 2017 | 1991- 1999 % | Has. | 1991- 2017 % | Has. | 1999- 2010 % | Has. | 2010- 2017 % | Has. |
| Cuerpo de agua | 72,32 | 104,03 | 110,83 | 101,42 | 0,08 | 31,70 | 0,07 | 29,10 | 0,02 | 6,81 | -0,02 | -9,41 |
| Áreas intervenidas | 7.168,62 | 1.264,47 | 3.116,61 | 8.744,32 | -14,01 | -5.904,15 | 3,74 | 1.575,70 | 4,40 | 1.852,14 | 13,36 | 5.627,71 |
| Páramo arbustivo | 7.072,39 | 10.090,60 | 5.830,61 | 6.800,67 | 7,16 | 3.018,21 | -0,64 | -271,72 | -10,11 | -4.259,99 | 2,30 | 970,06 |
| Páramo de almohadillas | 1.102,59 | 1.549,45 | 1.060,37 | 1.624,63 | 1,06 | 446,86 | 1,24 | 522,04 | -1,16 | -489,08 | 1,34 | 564,26 |
| Páramo de frailejones | 21.135,20 | 19.356,40 | 22.280,00 | 21.288,60 | -4,22 | -1.778,80 | 0,36 | 153,40 | 6,94 | 2.923,60 | -2,35 | -991,40 |
| Páramo herbáceo | 5.581,04 | 9.760,75 | 9.713,71 | 3.565,25 | 9,92 | 4.179,71 | -4,78 | -2.015,79 | -0,11 | -47,04 | -15 | -6148,46 |

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Diagrama Ombrotérmico Multianual de la Estación El Ángel 1986-2015

La figura 8 indica la distribución de la precipitación multianual y el registro de la temperatura correspondiente al periodo 1986-2015, identificando que el mes de agosto fue ecológicamente seco con valores de precipitación menores a 20 mm (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Espejo [GAD-E], 2011). Mientras que los meses ecológicamente húmedos fueron todos excepto agosto con precipitaciones mensuales mayores a 20 mm y temperaturas en el intervalo de 11,4 a 12,6 °C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2015).

Figura 8. Diagrama Ombrotérmico Multianual de la Estación El Ángel (INAMHI, 2015)



Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos en el diagrama ombrotérmico multianual indican dos picos máximos de precipitación que coinciden con los meses de marzo y noviembre, donde existe mayor disponibilidad de agua en el suelo. Además, se identifica una disminución parcial de las precipitaciones o de la cantidad de lluvia durante el mes de agosto, sin llegar a existir una escasez significativa de agua. (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2012).

4.1.4. Evaluación y validación de la clasificación multitemporal mediante la matriz de contingencia e índice Kappa

La matriz de contingencia para la clasificación supervisada de la imagen Landsat L-8 del año 2017 registró valores de frecuencias para la categoría 1 (Páramo arbustivo) de 107 en usuario y 126 en predicción; en la categoría 2 (Cuerpo de agua) un valor de 94 en usuario y 96 en la predicción; en la categoría 3 (Paramo de almohadillas) 114 en usuario y 91 en la predicción; en la categoría 4 (Páramo de frailejones) un valor de 107 en usuario y 109 en la predicción; en la categoría 5 (Paramo herbáceo) de 113 en usuario y 113 en predicción; por último la categoría 6 (áreas intervenidas) 102 en usuario y 102 en predicción; lo que demuestra una alta correlación entre los datos de uso de suelo y cobertura vegetal observados en campo en el año 2017 y los datos de uso de suelo y cobertura vegetal obtenidos en la clasificación supervisada de la imagen Landsat del mismo año, evidenciando que las categorías de páramo arbustivo y páramo de frailejones presentaron un aumento de 81,75% y 98,17% respectivamente (Tabla 19).

Tabla 19. Matriz de contingencia de la clasificación supervisada de la imagen LANDSAT L8, 2017

| Predicción (Software ArcGIS) | Usuario | | | | | | Sumatoria (predicción) | Precisión de la predicción |
|------------------------------------|---------|--------|--------|------|------|------|---------------------------|----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| 1 | 103 | 10 | 13 | 0 | 0 | 0 | 126 | 81,75% |
| 2 | 3 | 84 | 9 | 0 | 0 | 0 | 96 | 87,50% |
| 3 | 0 | 0 | 91 | 0 | 0 | 0 | 91 | 100% |
| 4 | 1 | 0 | 1 | 107 | 0 | 0 | 109 | 98,17% |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 113 | 0 | 113 | 100% |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 102 | 102 | 100% |
| Sumatoria (usuario) | 107 | 94 | 114 | 107 | 113 | 102 | 637 | |
| Precisión del usuario | 96,26% | 89,36% | 78,82% | 100% | 100% | 100% | | |

Fuente: Elaboración propia

Precisión general: 94%

Índice Kappa: 0,61

El índice Kappa calculado indica que la clasificación supervisada es significativa, ya que el valor calculado fue de 0,61 que se clasifica en categoría considerable, aceptando los resultados obtenidos en concordancia entre la predicción del software y el usuario, validando los resultados del análisis multitemporal en los periodos de estudio, investigaciones como la de Osuna et al. (2015) y Viera-Garret (2005), coinciden que un índice Kappa de 0,61 determina una exactitud considerable, por lo que las clasificaciones de los mapas son aceptadas como aproximación a las condiciones reales, lo cual se asemeja a lo indicado en el presente estudio.

4.2. Impactos del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento

El estudio examinó los impactos del cambio de uso del suelo mediante el cambio de los patrones espaciales de las diferentes coberturas vegetales en la zona de amortiguamiento durante los periodos 1991-1999, 1999-2010, 2010-2017 y 1991-2017.

En la zona de amortiguamiento, durante el periodo 1991-1999, la categoría áreas intervenidas, mostró un incremento en la densidad de borde (15,11 hectáreas) y número de parches (171 parches) (Tabla 20), lo que ocasionó fragmentación de los ecosistemas. Lo anterior estuvo en concordancia con lo que manifiesta Calvo y Ortiz (2012), quienes afirman que una de las principales consecuencias de la fragmentación es la creación de paisajes más deforestados, los cuales tienen menor tamaño de las manchas de hábitat y por consiguiente un número de fragmentos mayor (Gurrutxaga y Lozano, 2008).

Mientras que Murcia (1995), señala que la fragmentación genera el efecto borde, lo que altera los procesos ecológicos, esto debido al resultado de la interacción de dos ecosistemas adyacentes (índice de contagio), como se muestra en Tabla 20 donde el índice de contigüidad se reduce a 0,62% indicando la disminución de conectividad entre fragmentos sobre en el área de influencia.

Flamenco (2011), afirma que un ecosistema arbustivo (bosque) con menor densidad de borde está menos fragmentado y muestra que el grado de agregación de los parches con impactos de deforestación se minimizan. Esto se demuestra en la zona de estudio con la reducción de la métrica densidad de borde (13,54 m/hectáreas) y número de parches (28 parches) (Tabla 20).

La cobertura de páramo de almohadillas presentó un mayor número de parches (10 parches), densidad de fragmentos (1,44 m/hectáreas) y área núcleo total (59%) (Tabla 20), por lo tanto es heterogéneo y de acuerdo a McGarigal y Marks (2002), cuando el número de parches, densidad de fragmentos y área núcleo total incrementan, existe mayor fragmentación en el territorio, lo cual, sucedió en la zona de amortiguamiento.

Fahrig (2003), afirma que un paisaje está menos fragmentado cuando el número de parches y densidad de borde es menor, como se muestra en la Tabla 20 donde la categoría de páramo de frailejones disminuyó en el número de parches (55 parches), densidad de borde (11,55 m/hectáreas) y área núcleo total (23%) en la zona de amortiguamiento. Bajo este contexto el cambio de uso de suelo a lo largo del tiempo presentó menor grado de deforestación ya que la fragmentación disminuyó. Broadbent, Azner, Keller, Knapp, Oliveira y Silva (2008), manifiestan que la disminución de la densidad de borde y área núcleo total genera menor fragmentación, por lo que disminuye el efecto borde en una zona deforestada.

La Federación de Parques Naturales y Naturales de Europa [EUROPARC] (2009), indica que la fragmentación es la última etapa en un proceso de alteración de un hábitat, en donde el aislamiento de los elementos del paisaje, la disminución de la superficie, el aumento del efecto borde y la subdivisión se hacen mayores hasta llegar al punto en el que el paisaje pierde su funcionalidad. Corroborando dicha información en el estudio presente, donde la categoría de páramo herbáceo en la zona de amortiguamiento se encuentra relacionado de manera directa al efecto borde, debido al incremento del área total de 4.948,29 a 8.913,33 hectáreas e índice de contagio de 0,56% a 0,63% (Tabla 20). Demostrando que existe fragmentación como resultado de los cambios en los procesos ecológicos (Murcia, 1995).

La categoría de cuerpos de agua no tuvo cambios representativos a lo largo del tiempo (1991-1999), indicando el máximo crecimiento en el año 1999 con una densidad de borde de 2,78 m/hectáreas e índice de contagio de 0,99% (Tabla 20). De acuerdo a Rosero (2017), los cuerpos de agua no presentan cambios significativos, debido a que dentro del estudio de patrones espaciales por el tamaño de la unidad mínima cartografiable que presentan, la mayoría de los sistemas lacustres son discriminados en el análisis.

Tabla 20. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje en la zona de amortiguamiento para el periodo 1991-1999.

| Categoría | Zona de amortiguamiento | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|--------|----------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| | 1 Áreas intervenidas | | 2 Páramo arbustivo | | 3 Páramo de almohadillas | | 4 Páramo de frailejones | | 5 Páramo herbáceo | | 6 Cuerpos de agua | |
| Periodo | 1991 | 1999 | 1991 | 1999 | 1991 | 1999 | 1991 | 1999 | 1991 | 1999 | 1991 | 1999 |
| Métrica | | | | | | | | | | | | |
| CA | 6.564,6 | 5.646,28 | 4.283,1 | 6.857,82 | 260,28 | 618,39 | 10.101,15 | 8.476,74 | 4.948,29 | 8.913,33 | 0 | 174,64 |
| NP | 146 | 171 | 82 | 54 | 30 | 40 | 68 | 55 | 107 | 96 | 0 | 1 |
| ED | 11,02 | 15,11 | 20,05 | 13,54 | 1 | 2,44 | 14 | 11,55 | 12,15 | 11,11 | 0 | 2,78 |
| CONT _MN | 0,74 | 0,62 | 0,68 | 0,74 | 0,71 | 0,64 | 0,59 | 0,65 | 0,56 | 0,63 | 0 | 0,99 |
| TCA | 5.534,1 | 5.124,03 | 3.230,55 | 5.083,92 | 160,11 | 399,15 | 8.839,17 | 7.155,09 | 3.870,54 | 7.837,2 | 0 | 15.721,47 |

Métricas: NP = número de parches; ED = densidad de borde (m / Has); CA=área total (Has); CONT = contagio (%); TCA = área total del núcleo (Has).

Fuente: Elaboración propia

Hargis, Bissonette y David (1998), mencionan que las métricas área total y densidad de borde indican que existe un aumento significativo en la fragmentación del paisaje con el incremento progresivo del tamaño de los parches y mayor irregularidad en sus formas. Como se muestra en la Tabla 21 para el periodo 1999-2010, donde la categoría de áreas intervenidas muestran un incremento en la complejidad de número de parches (43 parches), densidad de borde (10,97 m/hectáreas) y área total (6.986,59 hectáreas) en la zona de influencia .

Tabla 21. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje en la zona de amortiguamiento para el periodo 1999-2010.

| Categoría | Zona de amortiguamiento | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|--------|----------------------------|-----------|----------------------|----------|----------------------|----------|
| | 1 Áreas intervenidas | | 2 Páramo arbustivo | | 3 Páramo de almohadillas | | 4 Páramo de frailejones | | 5 Páramo herbáceo | | 6 Cuerpos de agua | |
| Periodo | 1999 | 2010 | 1999 | 2010 | 1999 | 2010 | 1999 | 2010 | 1999 | 2010 | 1999 | 2010 |
| Métrica | | | | | | | | | | | | |
| CA | 5.646,28 | 6.986,59 | 6.857,82 | 5.334,5 | 618,39 | 446,15 | 8.476,74 | 10.816,38 | 8.913,33 | 8.830,08 | 174.64 | 359.01 |
| NP | 171 | 214 | 54 | 48 | 40 | 24 | 55 | 39 | 96 | 82 | 1 | 1 |
| ED | 15,11 | 26,08 | 13,54 | 12,95 | 2,44 | 1,29 | 11,55 | 9,59 | 11,11 | 8,73 | 2,78 | 2,77 |
| CONT _MN | 0,62 | 0,46 | 0,74 | 0,83 | 0,64 | 0,76 | 0,65 | 0,78 | 0,63 | 0,73 | 0,99 | 0,99 |
| TCA | 5.124,03 | 5.834,1 | 5.083,92 | 2.131,74 | 399,15 | 137,43 | 7.155,09 | 9.590,76 | 7.837,2 | 7.083,45 | 15721,47 | 15720,75 |

Métricas: NP = número de parches; ED = densidad de borde (m / Has); CA=área total (Has); CONT = contagio (%); TCA = área total del núcleo (Has).

Fuente: Elaboración propia

Otavo y Echeverría (2017), afirman “El estado de transformación de un paisaje boscoso se caracteriza por el grado de destrucción y modificación del hábitat, la tasa de deforestación, los patrones de fragmentación de bosques naturales y los cambios en la matriz”. En este sentido los resultados obtenidos determinan que la cobertura de páramo arbustivo tiene mayor índice de contagio (0,83%) en razón a la similitud de parches adyacentes en zona de influencia. Del mismo modo Martínez y Figueroa (2015), mencionan que el incremento de la fragmentación se relaciona con un mayor número de fragmentos y un menor índice de contagio entre los fragmentos adyacentes provocando pérdida de cobertura vegetal y cambios de uso del suelo.

La cobertura de páramo de almohadillas en la zona de amortiguamiento presentó una disminución del número de parches (16 parches) y densidad de borde (1,29 m/hectáreas) (Tabla 21). Disminución que puede ser considerado como paisaje poco modificado, posiblemente a la baja tasa de deforestación y alto nivel de conservación de la biodiversidad (Echeverría, Newton, Nahuelhual, Coomes y Rey, 2012). Bajo este mismo contexto Molina, Pando, Alanís, Canizales, Gonzáles y Jiménez (2013), establecen que la fragmentación representa una de las causas principales de pérdida de ecosistemas.

La categoría de páramo de frailejones aumentó el índice de contagio en 0,13%, mientras que el número de parches y densidad de borde se redujeron de 55 a 39 parches y de 11,55 a 9,59 m/hectáreas respectivamente en la zona de amortiguamiento (Tabla 21), lo que demuestra que el efecto borde se reduce con el bajo nivel de los patrones espaciales y una baja fragmentación (Murcia, 1995). En consecuencia, los cambios de la cobertura vegetal se derivan de actividades antrópicas, principales agentes transformadores de los ecosistemas (Reyes y Hernández, 2013).

Diferentes estudios realizados en diversos ecosistemas demuestran que la fragmentación y deforestación altera un conjunto de variables relacionadas con la estructura de los ecosistemas, así mismo, el tamaño de los fragmentos se relaciona significativamente con la composición de especies y la estructura de comunidades (Otavao y Echeverría, 2017). Lo cual, no se reflejó en el área de estudio en la categoría páramo herbáceo donde número de parches (96 a 82 parches) y densidad de borde (11,11 a 8,73 m/hectáreas) disminuyeron, mientras que el índice de contagio incremento de 0,63% a 0,73% (Tabla 21), evidenciando que existe una relativa estabilidad en el ecosistema.

Durante el periodo 1999-2010, los cuerpos de agua presentaron poca alteración de los patrones espaciales con una densidad de borde de 2,77 m/hectáreas, número de fragmentos (1 parche) y aumento del índice de contagio del 0,99% en la zona de amortiguamiento (Tabla 21). De este modo Bedoya (2015), menciona que las superficies de cuerpos de agua no evidencian cambios de efecto borde, debido a la resolución espacial de la imagen clasificada, ya que el nivel de detalle es muy general para analizar estos cambios.

La categoría de áreas intervenidas en el periodo 2010-2017 tuvieron un incremento del número de parches con 231 y densidad de borde con 12,14 m/hectáreas en la zona de amortiguamiento (Tabla 22). De acuerdo a López (2003), el incremento de estas métricas son consecuencia de la fragmentación de los ecosistemas. Del mismo modo Forman y Godron (1981), y Lindenmayer y Fischer (2006), establecen que los principales efectos de la fragmentación a nivel de clase son la reducción del tamaño, aumento de borde e incremento del número de parches.

Tabla 22. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje en la zona de amortiguamiento para el periodo 2010-2017.

| Categoría | Zona de amortiguamiento | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|--------|----------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| | 1 Áreas intervenidas | | 2 Páramo arbustivo | | 3 Páramo de almohadillas | | 4 Páramo de frailejones | | 5 Páramo herbáceo | | 6 Cuerpos de agua | |
| Periodo Métrica | 2010 | 2017 | 2010 | 2017 | 2010 | 2017 | 2010 | 2017 | 2010 | 2017 | 2010 | 2017 |
| CA | 6.986,59 | 7.995,78 | 5.334,50 | 3.445,62 | 446,15 | 832,61 | 10.816,4 | 5.341,01 | 8.830,08 | 9.296,37 | 359,01 | 553,85 |
| NP | 214 | 445 | 48 | 30 | 24 | 187 | 39 | 36 | 79 | 90 | 1 | 48 |
| ED | 26,08 | 38,22 | 12,95 | 10,08 | 1,29 | 17,95 | 9,59 | 6,38 | 8,73 | 9,18 | 2,77 | 10,23 |
| CONTIG | 0,46 | 0,27 | 0,83 | 0,90 | 0,76 | 0,71 | 0,78 | 0,87 | 0,73 | 0,53 | 0,99 | 0,76 |
| TCA | 5.834,1 | 6.012,69 | 2.131,74 | 1.083,9 | 137,43 | 399,15 | 9.590,76 | 7.155,09 | 7.083,45 | 7.837,2 | 15.720,75 | 15.721,47 |

Métricas: NP = número de parches; ED = densidad de borde (m / Has); CA=área total (Has); CONT = contagio (%); TCA = área total del núcleo (Has).

Fuente: Elaboración propia

La cobertura de páramo arbustivo presentó una reducción de 15 parches y 2,87 m/hectáreas de densidad de borde en el área de influencia (Tabla 22). Murcia (1995) y Broadvent et al. (2008), señalan que la reducción del número de parches se debe al equilibrio dinámico en el ecotono, permitiendo los flujos e interacciones de ecosistemas (Ries, 2004). Además, López (2004), manifiesta que la variabilidad del índice de contagio (0,19%) determina que los cambios de uso del suelo presentan importantes implicaciones para el manejo y conservación de la diversidad biológica.

Bayne y Hobson (1998), señalan que la contigüidad es proporcional a la complejidad de las formas de los parches en un ecosistema, por ende, a mayor densidad de borde y número de parches, menor será el índice de contingencia. Como se muestra en la Tabla 22 donde la categoría de páramo de almohadillas tuvo una reducción en la métrica índice de contagio (0,05%) dentro del área de influencia. Evidenciando que el estado de fragmentación genera cambios considerables en los procesos ecológicos (McGarigal y Marks, 1995).

Estudios como Kingston (2000), determinan que la densidad de borde se ve representada por la irregularidad y reducción del número de parches, generando disminución de conectividad entre fragmentos y sus interacciones biológicas. Lo cual, se reflejo en el presente estudio donde la densidad de borde (9,59 a 6,38

m/hectáreas) y número de parches (39 a 36 parches) de la categoría de páramo de frailejones disminuyó en la zona de influencia (Tabla 22). Laurance (1997), indica que la disminución de éstas métricas afectan de manera directa la calidad de la diversidad biológica.

El páramo herbáceo mostró un aumento del área total (8.830,08 a 9.296,37 hectáreas), número de parches (79 a 90 parches), densidad de borde (8,73 a 9,18 m/hectáreas) y área núcleo total (7.083,45 a 7.837,20 hectáreas) en las zonas circundantes (Tabla 22), registrando complejidad de las formas del paisaje y cantidad de relictos de la cobertura vegetal (Otavo y Echeverría, 2017). La Federación de Parques Naturales y Naturales de Europa [EUROPARC] (2009), indica que la fragmentación es consecuencia de la disminución de la superficie y aumento del efecto borde ocasionando la pérdida de la funcionalidad del paisaje.

La categoría de cuerpos de agua no tuvo cambios significativos a lo largo del tiempo (2010-2017), indicando el máximo crecimiento en el año 1999 con una densidad de borde de 10,23 m/hectáreas (Tabla 22). De acuerdo a Rosero (2017), los cuerpos de agua no presentan cambios significativos, debido a que dentro del estudio de patrones espaciales por el tamaño de la unidad mínima cartografiable que presentan, la mayoría de los sistemas lacustres son discriminados en el análisis.

Investigaciones como la de Vogelmann (1995) y Ries (2004), manifiestan que el incremento en el número de parches, densidad de borde y área total núcleo, generan un deterioro constante en la integridad de los ecosistemas y la diversidad biológica. Como se muestra en la Tabla 23 en el periodo 1991-2017 donde el número parches (299 parches), densidad de borde (27,2 m/hectáreas) y área total núcleo (7%) de la categoría áreas intervenidas incrementaron en la zona de amortiguamiento, convirtiendolo en un ecosistema con alto riesgo de pérdida de biodiversidad (Gurrutxaga y Lozano, 2008).

Tabla 23. Análisis de los cambios en los patrones espaciales del paisaje en la zona de amortiguamiento para el periodo 1991-2017.

| Categoría | Zona de amortiguamiento | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------|--------|----------------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| | 1 Áreas intervenidas | | 2 Páramo arbustivo | | 3 Páramo de almohadillas | | 4 Páramo de frailejones | | 5 Páramo herbáceo | | 6 Cuerpos de agua | |
| Periodo | 1991 | 2017 | 1991 | 2017 | 1991 | 2017 | 1991 | 2017 | 1991 | 2017 | 1991 | 2017 |
| Métrica | | | | | | | | | | | | |
| CA | 6.564,6 | 7.995,78 | 4.283,1 | 3.445,62 | 260,28 | 832,61 | 10.101,15 | 5.341,01 | 4.948,29 | 9.296,37 | 0 | 553,85 |
| NP | 146 | 445 | 82 | 70 | 30 | 187 | 68 | 36 | 107 | 50 | 0 | 48 |
| ED | 11,02 | 38,22 | 20,05 | 16,08 | 1 | 17,95 | 14 | 6,38 | 12,15 | 4,18 | 0 | 10,23 |
| CONT_MN | 0,74 | 0,27 | 0,68 | 0,7 | 0,71 | 0,71 | 0,59 | 0,87 | 0,56 | 0,93 | 0 | 0,76 |
| TCA | 5.534,1 | 6.012,69 | 3.230,55 | 1.083,9 | 160,11 | 399,15 | 8.839,17 | 7.155,09 | 3.870,54 | 7.837,2 | 0 | 15.721,47 |

Métricas: NP = número de parches; ED = densidad de borde (m / Has); CA=área total (Has); CONT = contagio (%); TCA = área total del núcleo (Has).

Fuente: Elaboración propia

Pérez y Verdín (2009), establecen que el páramo arbustivo puede presentar cambios en la composición y configuración del paisaje, cuando el número de parches fragmentados (12 parches), densidad de borde (4,42 m/hectáreas), área total de cada fragmento (837,48 hectáreas) y área núcleo total (66%) disminuyen en una zona de amortiguamiento. De acuerdo a Forman y Godron (1981), la reducción de las métricas evaluadas inciden de manera tangible en los procesos de cambio de uso de suelo (Tabla 23).

El incremento del número de parches (157 parches) y densidad de borde (17,95 m/hectáreas) del páramo de almohadillas en la zona de influencia, indican modificaciones en el uso de suelo, como lo señala Correa (2000), quien establece que el aumento de los parches y el tamaño de los fragmentos presentes en el paisaje es un factor importante cuando se consideran las probabilidades de conservar especies endémicas en el interior de los parches, donde existe menor grado de contraste de efecto de borde (Laurance, 1997) (Tabla 23).

Figueroa (2008), manifiesta que la disminución del área total, número de parches y densidad de borde, presenta cambios de uso del suelo con menor grado de fragmentación. Lo cual se evidencia en los resultados del presente estudio, donde la categoría de páramo de frailejones registró una disminución del área total (4.740,14 hectáreas), número de parches (32 parches) y densidad de borde (7,62 m/hectáreas) (Tabla 23). Estos sucesos pueden darse por actividades antrópicas que

generan la reducción de las coberturas naturales a pequeños fragmentos y compromete su capacidad de resiliencia (Ewers, 2010).

La categoría páramo herbáceo incrementó el área total (4.348,08 hectáreas), índice de contagio (0,37 %) y área núcleo total (8%), a diferencia del número de parche (57 parches) y densidad de borde (7,97m/hectáreas) que disminuyeron (Tabla 23). Miranda (2013), señala que el aumento y reducción de ciertas métricas muestran escasos relictos con proceso de fragmentación y poca pérdida de la superficie de cobertura vegetal. Mientras que Fahrig (2003), indica que la disminución de la densidad de borde y el aumento del número de parches se debe a los procesos de pérdida de cobertura vegetal (Galicia, 2007).

Los cuerpos de agua presentaron una mínima alteración de los patrones espaciales con una densidad de borde de 10,23 m/hectáreas y número de fragmentos (48 parches) en la zona de amortiguamiento (Tabla 23). De este modo Bedoya (2015), menciona que las superficies de cuerpos de agua no muestran cambios de efecto borde, debido a la resolución espacial de la imagen clasificada, ya que el nivel de detalle es muy general para analizar los cambios de ésta categoría.

4.3 Estrategias de conservación para la cobertura vegetal

Se estableció cinco estrategias de conservación de la cobertura vegetal las cuales tienen como base el análisis FODA de la Reserva Ecológica El Ángel. A continuación se detalla las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas con que cuenta el área de estudio (Tabla 24).

Tabla 24. Modelo FODA para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA

| Análisis interno | Fortalezas | Debilidades |
|-------------------------|---|--|
| | <p>F1. Parte del hotspot de los Andes Tropicales, y Tumbes-Chocó-Magdalena.</p> <p>F2. Presencia de la subespecie <i>Espeletia pycnophylla</i>, planta endémica del páramo del Norte del Ecuador.</p> | <p>D1. Pérdida de cobertura vegetal natural</p> <p>D2. Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento</p> <p>D3. Cambio de uso de suelo en la REEA.</p> |
| Análisis externo | Oportunidades | Amenazas |
| | <p>O1. Análisis del cambio de cobertura vegetal</p> <p>O2. Investigación del uso del suelo</p> <p>O3. Normativa legal ambiental vigente</p> | <p>A1. Incremento de áreas intervenidas en la zona de amortiguamiento</p> <p>A2. Fragmentación en la zona de amortiguamiento</p> |

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidas las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la Reserva Ecológica El Ángel se propone estrategias de conservación para la cobertura vegetal mediante el cruce (DOFA) de los elementos del FODA (Tabla 25).

Tabla 25. Modelo DOFA para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA

| Crterios | Variables | Estrategias |
|--------------------------|--|--|
| Fortaleza Amenaza | <p>F2. Presencia de la subespecie <i>Espeletia pycnophyla</i>, planta endémica del páramo del Norte del Ecuador.</p> <p>A1. Incremento de áreas intervenidas en la zona de amortiguamiento</p> | Educación ambiental |
| Debilidad Oportunidad | <p>D1. Pérdida de cobertura vegetal natural</p> <p>O3. Normativa legal ambiental vigente</p> | Plan de control y reducción de áreas intervenidas |
| Fortaleza Oportunidad | <p>F3. Presencia de la subespecie <i>Espeletia pycnophyla</i>, planta endémica del páramo del Norte del Ecuador.</p> <p>O1. Análisis del cambio de cobertura vegetal</p> | Forestación y reforestación con especies endémicas |
| Fortaleza Oportunidad | <p>F1. Parte del hotspot de los Andes Tropicales, y Tumbes-Chocó-Magdalena.</p> <p>O3. Normativa legal ambiental vigente</p> | Investigación de la cobertura vegetal |
| Debilidad Amenaza | <p>D3. Cambio de uso de suelo en la REEA.</p> <p>A1. Incremento de áreas intervenidas en la zona de amortiguamiento</p> <p>D2. Cambio de uso de suelo en la zona de amortiguamiento</p> <p>A2. Fragmentación en la zona de amortiguamiento</p> | Validación del Plan de Manejo Ambiental |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Estrategias para la conservación de la cobertura vegetal de la REEA

| Estrategia | Objetivos | Actividades | Responsable | Tiempo | Lugar de ejecución | Indicadores |
|--|---|---|--|-----------------------------|--|--|
| I) Educación ambiental | Elaborar un plan de educación ambiental para el manejo de los recursos naturales. | 1. Programa de educación ambiental en instituciones educativas y comunidades locales sobre el valor de los recursos naturales y su necesidad de protegerlos y conservarlos. | Comunas Instituciones educativas GAD provincial del Carchi GAD cantonales GAD parroquiales MAE-Carchi MAG Ministerio de educación | Corto plazo (1-2 años) | Comunas: Palo Blanco El Morán Tufiño San Francisco Alto Instituciones educativas: Unidad Educativa Tufiño Unidad Educativa El Ángel Unidad Educativa Libertad Unidad Educativa San Isidro Unidad Educativa Alfonso Herrera | 1 programas de educación ambiental: “Con la REEA en El Corazón” |
| II) Control y vigilancia de áreas intervenidas | Implementar un plan de control y reducción de áreas intervenidas | 1. Control y monitoreo de áreas intervenidas en las zonas de páramo de frailejones, páramo arbustivo y páramo herbáceo | Comunas Instituciones educativas Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) GAD provincial del Carchi GAD cantonales GAD parroquiales MAE-Carchi MAG Ministerio de educación | Mediano plazo (3-5 años) | Comunas: Palo Blanco El Morán Tufiño Santa Teresita Santa Bárbara Jesús del gran poder San Francisco Alto El Chochal La Esperanza | Comuneros y guardaparques. |

| | | | | | | |
|---|--|---|--|---------------------------|--|--|
| III) Forestación y reforestación de áreas degradadas y fragmentadas | Realizar un plan de forestación y reforestación en la REEA y zona de amortiguamiento. | <p>1. Desarrollar programas técnicos de reforestación y repoblación con especies nativas existentes para recuperar la cobertura vegetal de las áreas de páramo de frailejones, páramo arbustivo, páramo herbáceo y áreas intervenidas, con el fin de mantener el equilibrio ecológico.</p> <p>2. Repoblación de flora en los linderos de las propiedades privadas aledañas a la REEA con el propósito de regenerar el entorno natural del sector y mejorar la calidad del paisaje.</p> <p>3. Elaborar un manual de actividades de forestación y reforestación para la protección de fuentes de agua y áreas degradadas.</p> | Comunas Instituciones educativas GAD parroquiales GAD provincial del Carchi MAE-Carchi MAG Ministerio de educación | Largo plazo (5-8 años) | Comunas: Palo Blanco El Morán Tufiño Santa Teresita Santa Bárbara Jesús del gran poder San Francisco Alto El Chochal La Esperanza | 3 programas técnicos de reforestación y repoblación. Pobladores de las comunidades aledañas a la REEA |
| IV) Investigación de la cobertura vegetal | Promover procesos de investigación con participación social para conservar la biodiversidad natural. | <p>1. Realizar inventarios completos de flora y fauna.</p> <p>2. Realizar inventarios completos de recursos naturales y turísticos de la REEA.</p> <p>3. Implementar programas de turismo, ecoturismo, agroturismo y turismo científico.</p> | Comunas Instituciones educativas GAD parroquiales GAD provincial del Carchi MAE-Carchi MAG Ministerio de educación ONGs-Asociaciones y grupos de turismo (polylepis loudge) | Largo plazo (5-8 años) | Comunas: Palo Blanco El Morán Tufiño Santa Teresita El Chochal La Esperanza Jesús del Gran Poder Santa Bárbara San Francisco Alto Instituciones de educación superior: | 1 inventario de flora 1 inventario de fauna 1 inventario de recursos naturales de la REEA 1 inventario de recursos turísticos de la REEA 3 programas de turismo, ecoturismo, |

| | | | | | | |
|--|---|---|--|---------------------------|---|--|
| | | | | | Universidad Politécnica Estatal del Carchi Universidad Técnica del Norte Universidad Central del Ecuador | agroturismo y turismo científico. |
| V) Validación del Plan de Manejo Ambiental | Actualizar el Plan de Manejo Ambiental 2015 según la problemática actual y al nuevo marco político- administrativo (COA) de la gestión ambiental del Ecuador. | 1. Actualizar la caracterización biofísica de la REEA y zona de amortiguamiento. 2. Validación de los programas del plan de manejo ambiental. | Comunas Instituciones educativas GAD parroquiales GAD provincial del Carchi MAE-Carchi MAG Ministerio de educación | Largo plazo (5-8 años) | GAD municipales: Espejo Tulcán Mira MAE-Carchi | Departamento de administración de la REEA, conjuntamente con el MAE-Carchi |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Los cambios de cobertura vegetal durante el periodo 1991-2017 mediante la técnica de clasificación supervisada indica que las superficies que aumentaron en la reserva ecológica son: cuerpos de agua (29,10 hectáreas), áreas intervenidas (1.575,70 hectáreas), páramo de almohadillas (522,04 hectáreas) y páramo de frailejones (153,40 hectáreas); mientras que las superficies de cobertura vegetal que disminuyeron son: páramo arbustivo (271,72 hectáreas) y páramo herbáceo (2.015,79 hectáreas).

La fragmentación fue el principal impacto del cambio del uso del suelo en la zona de amortiguamiento de la Reserva Ecológica el Ángel. Ésta se evidenció en el incremento del número de parches de la categoría páramo de almohadillas, el cual aumentó en 10, 8, 163 y 157 parches en los periodos 1991-1999, 1999-2010, 2010-2017 y 1991-2017, respectivamente. Lo anterior evidencia que la fragmentación puede llegar a generar cambios en los procesos ecológicos.

Las estrategias propuestas en el presente documento permitirán fortalecer la ejecución de actividades, proyectos y programas, las cuales se prevén actuar a corto plazo con un plan de educación ambiental; a mediano plazo con la implementación de un plan de control y reducción de áreas intervenidas, y un plan de forestación y reforestación en la REEA y zona de amortiguamiento; a largo plazo promoviendo procesos de investigación con participación social y actualización del Plan de Manejo Ambiental 2015 según la problemática actual y al nuevo marco político-administrativo (COA) de la gestión ambiental del Ecuador.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda evaluar de manera continua la dinámica temporal de los cambios de uso de suelo y pérdida de cobertura vegetal, principalmente de la subespecie de páramo de frailejón (*Espeletia pycnophylla*) dentro de la REEA, con el fin de conocer el grado de conservación de la planta endémica que habita de manera exclusiva en los páramos del norte del Ecuador.

Aplicar medidas de control de las áreas intervenidas presentes en la zona de amortiguamiento, mediante Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial parroquiales y cantonales, para conocer la proyección de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal a periodos futuros.

Se recomienda aplicar las estrategias propuestas en el presente estudio para disminuir los impactos naturales y antrópicos negativos presentes en la reserva, a través de la inclusión de programas con los GADs cantonales y parroquiales, mediante la implementación de objetivos de conservación en la REEA y zona de amortiguamiento.

REFERENCIAS

- Alcaraz, D., Baldi, G., Durante, P. y Garbulsky, M. (2008). Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*, 17 (3), 108-117.
- Andrade, D. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura de páramo en la producción de agua en la cuenca alta del río Apuela, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura*. (Tesis de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra- Ecuador.
- Aguayo, A., Pauchard, A., Azócar, G. y Parra, O. (2009). Cambio del uso del suelo en el centro sur de Chile a fines del siglo XX. Entendiendo la dinámica espacial y temporal del paisaje. *Historia natural*, (82), 361-374.
- Aguilar, C. (2014). *Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia de Loja*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de La Plata, Loja-Ecuador.
- Arraya, E. (2009). *Manual de procesos en fotografías aéreas e Imágenes de satélite. San José-Costa Rica*. (Tesis de maestría). Costa Rica.
- Bayne, E. y Hobson, K. (1998). The effects of habitat fragmentation by forestry and agriculture on the abundance of small mammals in the southern boreal mixedwood forest. *Canadian Journal of Zoology*, 76, 62-69.
- Bedoya, M. (2015). *Análisis del cambio de la cobertura entre 1999 y 2015 del páramo de Chiles - Cumbal a través de la utilización de herramientas SIG*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales. Facultad de ciencias e ingeniería, Manizales-Colombia.
- Bender, O., Boehmer, H., Jean, D. y Shumacher, K. (2005). Using GIS to analyze long-term cultural Landscape change in Southern Germany. *Landscape and Urban Planning*, (70), 111-125.

- Bernis, V. y Betancourt, F. (2006). *Análisis multitemporal y generación del escenario prospectivo de cambio de la cobertura vegetal y uso de suelo en el parque nacional Llanganates. Sangolquí. (Tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica del Ejército, Quito-Ecuador.*
- Broadbent, E., Asner, G., Keller, M., Knapp, D., Oliveira, P. y Silva J. (2008). Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. Brasília, Brasil. *Biological Conservation*, 4, 745-757.
- Burrough, P. (1988). Principios of Geographical information systems for land resources assessment. *Journal of quaternary science*, 36, 50-53.
- Cáceres, A. (2010). Sistemas de Información Geográfica. Consultado: 01/05/2015. Disponible en: <http://www.slideshare.net/sacra07/sig-sistemas-de-informacin-geografica>
- Cairo, H. (2003). *Planificación empresarial*. Huancayo, Perú: El Tambo.
- Calvo, A. y Ortiz, E. (2012). Fragmentación de la cobertura forestal en Costa Rica durante los periodos 1997-2000 y 2000-2005. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 5 (3), 30-48.
- Camacho, M. (2013). Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Anales*, 372, 79-92.
- Camacho, J., Pérez, J., Pineda, N., Cadena, E., Bravo, L. & Sánchez, M. (2015). Coverage/land use change in a portion of the Mountainous Mexican Transition Zone. *Madera y Bosque*, 21 (1), 93-112.
- Castellanos, C., Chamarraví, N., Castañedda, E., Galvís, F. y Cepeda, E. (2011). Variación espacio- temporal de la cobertura vegetal en la microcuenca el Llanito, Santander, Colombia. *Boletín científico*, 15 (2), 60-68.

- Chamba, C. (2009). *Clasificación y Análisis de la Cobertura Vegetal Sobre la Subcuenca Zamora Huayco-Canton Loja*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Chapa, D., Sosa, J. y Alba, A. (2006). Multitemporal study on forest fragmentation in sierra Fría, Aguascalientes, México. *Madera y Bosques*, 14 (1), 37-51.
- Chuvienco, E. (2010). *Fundamentos de Teledetección Ambiental*. Madrid: Ediciones RIAP, S.A.
- Código Orgánico Ambiental [COA]. (2017). *Registro oficial No. 983 (12 de abril de 2017)*. Quito-Ecuador.
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Registro oficial*, 449 (20 de Octubre de 2008).
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización [COOTAD]. (2010). *Registro Oficial*, 303 (19 de Octubre de 2010). Quito-Ecuador.
- Correa, D. (2000). *Evaluación y diseño de un paisaje fragmentado para la conservación de la biodiversidad*. (Tesis de maestría). CATIE.
- Craig, J., Vaughan, D. y Skinner, B. (2012). *Recursos de la tierra y el medio ambiente*. (Tesis de maestría). Universidad de Granada, Madrid-España.
- Damion, B., Kenneth, R., y Kelley, A. (2006). Implicaciones de uso de la tierra/tierra cubierta de cambio en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional en los Andes Tropicales. *Gestión Ambiental*, 38 (2), 238-252.
- David, F. (1987). *Gerencia estratégica*. Edit. Mc Graw Hill. México.
- De la Cruz, B. y Muñoz, G. (2016). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y cambio de Uso del suelo del área de influencia del programa de Reforestación de la federación nacional de cafeteros en el Municipio de Popayán*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Cauca-Colombia.

- Dengel, S. y Rollenbeck, R. 2003. Methods of fog quantification in a tropical mountain forest of southern Ecuador. *Fog Newsletter*, 15, 26-36.
- Dou, W., Ren, Y., Wu, Q., Ruan, S., Chen, Y., Bloyet, D. y Constans, J. (2007). Fuzzy kappa for the agreement measure of fuzzy classifications. *Neurocomputing*, 70 (6), 726-734.
- Echeverría, C., Bolados, G., Rodríguez, J. y Aguayo, M. (2014). Ecología del Paisaje Forestal En Donoso. Edit. Ecología Forestal Bases para el Manejo Sustentable y Conservación de los Bosques Nativos de Chile (pp. 584-604)
- Echeverría, C., Newton, A., Nahuelhual, L., Coomes, D. y Rey, M. (2012). How landscapes change: integration of spatial patterns and human processes in temperate landscapes of southern Chile. *Applied Geography*, 32, 822–831.
- Ewers, R. (2010). Making statistics biologically relevant in fragmented landscapes. *Trend in Ecology and Evolution*, 25, 699-704.
- Flores, M. (2008). Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas al programa “Misión Árbol” del MPP para el ambiente, municipio Heres estado Bolívar, Venezuela. *Forestal venezolana*, 52 (2), 201-211.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. Annual Review of Ecology. *Evolution and Systematics*, (34), 487-515.
- Fahrig, L. y Merriam, G. (1994). Conservation of fragmented population. *Conservation biology*, 8, 50-59.
- Federación de Parques Naturales y Naturales de Europa [EUROPARC]. (2009). *Conectividad ecológica y áreas protegidas*. Herramientas y casos prácticos. Ed, FUNGOBE. Madrid. España.
- Figueroa, F. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17 (13), 3223-3240.

- Flamenco, A. (2011). Modelación de los cambios de cobertura/uso de suelo en una región tropical de México. *GeoTropico*, 5 (1), 1-24.
- Forman, R. y Godron, M. (1981). Patches and structural components for landscape ecology. *Bioscience*, 31 (19), 733-740.
- Franco R. y Rodríguez J. M. (2005). Análisis multitemporal satelital de los bosques del Carare-Opon, mediante imágenes landsat de 1991 y 2002. *Colombia Forestal*, 9 (18), 157-162.
- Galicia , L. (2007). Land use and land cover change in highland temperate forests in the Izta-Popo National Park, Central Mexico. *Mountain Research and Development*, 27 (1), 48-57.
- Garbulsky, M. y Paruelo, J. (2004). Remote sensing of protected areas to derive baseline vegetation functioning characteristics. *Journal of Vegetation Science*, 15, 711-720.
- Geografía, Planificación y Desarrollo [Geoplades]. (2015). Obtenido de: <http://www.geoplades.com.ec>
- Gilpin, M. (1987). Spatial structure and population viability. Soulé, M.E. (ed). *Viable populations for conservation*. Sinauer, Sunderland, Massachussets, USA.
- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Espejo. (2011). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento territorial* [GAD Espejo], El Ángel, Ecuador.
- Gurrutxaga, V. y Lozano, P. (2008). Ecología del paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. *Estudios Geográficos*, 69 (265), 519-543.
- Hargis, C., Bissonette, J. y David, L. (1998). The behavior of landscape metrics commonly used in the study of habitat fragmentation. *Landscape Ecology*, 13, 167-186.

- Hernández, A. (2006). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Cuba: Inca.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC]. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM*. Bogotá, Colombia.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2015). *Anuario Meteorológico Nro. 52-2012*. Quito. Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2010). *Censo de Población y vivienda*. Quito-Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2016). Satélites LANDSAT. **Recuperado de:** http://inegi.org.mx/search?q=im%C3%A1genes+landsat&site=sitioINEGI&client=INEGI_DefaultNS&proxystylesheet=INEGI_DefaultNS&getfields=* &filter=1 &sort=date%253AD%253AL%253Ad1&ie=UTF-8&oe=UTF-8&entsp=a__inegi_politicaNS&tlen=260
- Jensen, R. (1983). Biophysical Remote Sensing. *Annals of the Association of American Geographers, 1*, 111-132.
- Kingston, S. (2000). Voles looking for an edge: habitat selection across forest ecotones. *Canadian Journal of Zoology, 78*, 2174-2183.
- Laurance, W. (1997). How to creatively fragment a landscape. *Conservation Biology, 11* (2), 577-579.
- Li, M., Wu, Q. y Zhang, Q. (2009). Image segmentation based on mixture context and wavelet hidden-class-label Markov random field. *Computers and Mathematics with Applications, 57* (6), 961-969.
- Lillesand, T., Kiefer, R. y Chipman, J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons. Wisconsin-Estados Unidos.

- Lindenmayer, D. y Fischer, J. (2006). *Habitat fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis*. Washington: Island Press.
- López, B. (2003). *Edge effects in a forest mosaic: implications for the oak regeneration in the Highlands of Chiapas*. (Tesis de maestría) Universidad of Edimburgo, U.K.
- López, F. (2004). Estructura y función en bordes de bosques. *Ecosistemas*, 13(1), 1-15.
- Martínez, J. y Figueroa, A. (2015). *Patrones de cambio naturales y antrópicos en un ecosistema altoandino, parte alta de la cuenca del río Palacé. Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos*. (Tesis de posgrado). Universidad del Cauca, Colombia.
- Martínez, P. y Reck, G. (2010). Áreas protegidas: ¿turismo para la conservación o conservación para el turismo?. *Ecolap*, 2 (5), 86-95.
- Maza, C. (2009). *Clasificación y análisis de la cobertura vegetal sobre la subcuenca Zamora Huayco*. (Tesis de posgrado). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- McGarigal, K. y Marks, B. (1995). Análisis Fragstats de Patrones Espaciales para Cuantificar la Estructura de Paisaje. **Recuperado de:** <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.1995.pdf>.
- McGarigal, K. y Marks, B. (2002). Análisis Fragstats de Patrones Espaciales para Cuantificar la Estructura de Paisaje. **Recuperado de:** <http://www.umass.edu/landeco/pubs/mcgarigal.marks.2002.pdf>.
- Meneses, L. (2011). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. Obtenido de: <http://www.fao.org/3/ai2560s/i2560s07.pdf>
- Menges, E. (1990). The application of minimum viable population theory to plants. Genetics and conservation of rare plants. Oxford University Press, Oxford.

- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2004). Programa de Acción Nacional para la Lucha contra la Desertificación, Degradación de Tierras y Sequía (PAND), Quito-Ecuador.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2012). Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural.
- Ministerio del Ambiente [MAE]. (2015). *Plan de Manejo de la Reserva Ecológica El Ángel*, Quito-Ecuador.
- Miranda, L. (2013). Tasas de deforestación en San Luis Potosí, México (1993-2007). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19 (2), 201-215.
- Molina, G. y Albarran, A. (2013). Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Colombiana de geografía*, 22 (1), 25-40.
- Molina, V., Pando, M., Alanís, E., Canizales, P., Gonzales, H. y Jiménez, J. (2013). Composición y diversidad vegetal de dos sistemas de pastoreo en el matorral espinoso tamaulipeco del Noreste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4 (3), 361-371.
- Moreno, A. y Renner, I. (2007). *Gestión Integral de Cuencas. La experiencia del proyecto Regional Cuencas Andinas*. Lima, Perú: CIP.
- Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 58- 62.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS)-Resumen Técnico. Roma, Italia.
- Osuna, A., Torres, J., Sánchez, J., García, E., Valdez, G. y Vázquez, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del

- río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente y agua*, 10 (2), 350-362.
- Otavo, S. y Echeverría, C. (2017). Fragmentación progresiva y pérdida de hábitat de bosques naturales en uno de los hotspots mundiales de biodiversidad. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 924-935.
- Padilla, M. (2014). *Estudio multitemporal del uso del suelo y cobertura vegetal natural en el páramo de la Parroquia Mulaló*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Pérez, K. y Verdín, G. (2009). Factors driving deforestation in common pool resources in northern Mexico. *Journal of Environmental Management*, 90 (1), 331-340.
- Ponce, V. (2008). *Análisis de cambio de cobertura vegetal y fragmentación en el corredor de conservación comunitaria El Ángel-bosque golondrinas, provincia del Carchi 1996-2005*. (Tesis de grado). Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí-Ecuador.
- Pozo, D. (2010). *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal y propuesta de plan de manejo participativo de las comunidades de Pusir y Tumbatú, provincia del Carchi*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Reyes, H., y Hernández, A. (2013). Cambios en la cubierta vegetal y uso de suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. Investigaciones Geográficas. *Boletín del Instituto de Geografía*, 59, 26-42.
- Ries, L. (2004). Ecological responses to habitat edges: mechanisms, models and variability explained. Annual Review of Ecology. *Evolution and Systematics*, 35, 491-522.
- Rivera, H., y Malaver, M. (2011). *¿Qué estudia la estrategia?*. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.

- Romero, F. (2006). La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental. *Sociedad Española de Acuicultura AquaTIC*, 24, 13-41.
- Rosero, E. (2017). *Análisis Multitemporal del Uso del Suelo y Cobertura Vegetal de la Cuenca del Río Tahuando y Proyección de Cambios al Año 2031, en el Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura*. (Tesis de maestría). Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador.
- Rouse, J., Haas, R., Schell, J., Deering, D. y Harían, J. (1974). Monitoring the vernal advancement andretrogadation (Greenwave effect) of natural vegetation. Greenbelt, MD. USA, NASA/GSFCT.
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2103). Análisi multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Proyegido Mirafior Moropotente Nicaragua, 1993-2011. *Ecosistemas*, 22 (3), 117-123
- Santana, L. (2000). Capacidad del suelo en base a la Metodología USDA. *Ponencia presentada en el XVI Congreso Colombiano de Geografía*. Cali, Colombia.
- The Nature Conservancy. (2009). *Estudio Multitemporal de la cobertura vegetal y uso del suelo en los años 1990 - 2008 y proyección al 2030: Global Conservation Fund, USAID, FEINCE y Fundación sobrevivencia*. Quito-Ecuador.
- Viera, A. y Garret, M. (2005). Understanding interobserver agreement: The Kappa statistic. *Family medicine*, 37 (5), 360-363.
- Villagómez, J., Mora, A., Barradas, D. y Vázquez, E. (2014). El análisis FODA como una herramienta para la definición de líneas de Investigación. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 35 (2), 1121-1131.
- Véliz, R. (1996). *Comparación de Metodologías de Capacidad de Uso de la Tierra en la Cuenca del Río Itzapa, Chimaltenango*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos, Guatemala.

Vogelman, J. (1995). Assessment of forest fragmentation in southern New England using remote sensing and geographic information systems technology. *Conservation Biology*, 9 (2), 439-449.

Zárate, K. (2013). *Manual para la Gestión Operativa de las Áreas Protegidas de Ecuador*. Ecuador: Imprenta Mariscal.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Reconocimiento del área de estudio, Reserva Ecológica El Ángel, sector Lagunas el Voladero.



Fotografía 2. Vista panorámica Lagunas el Voladero.



Fotografía 3. Primera salida de campo, toma de puntos con el navegador GPs, sector Lagunas el Voladero.



Fotografía 4. Páramo de frailejones (*Espeletia pycnophylla*)



Fotografía 5. Reconocimiento del área de estudio, Reserva Ecológica El Ángel, sector Polylepis Loudge.



Fotografía 6. Vegetación arbustiva Polylepis (*Polylepis incana*).



Fotografía 7. Segunda salida de campo, toma de puntos con el navegador GPs, sector Polylepis Loudge.



Fotografía 8. Páramo arbustivo.



Fotografía 9. Reconocimiento del área de estudio, sector Palo Blanco.



Fotografía 10. Intersección Páramo herbáceo y actividad agrícola.



Fotografía 11. Toma de puntos con el navegador GPS, sector Palo Blanco.



Fotografía 12. Páramo herbáceo.



Fotografía 13. Toma de puntos con el navegador GPS, sector Represa Geovanny Calle.



Fotografía 14. Vista panorámica Represa Geovanny Calle.



Fotografía 15. Área incendiada del páramo de frailejones, sector comuna La Esperanza.



Fotografía 16. Páramo de almohadillas.



Fotografía 17. Colaboración de los guardaparques de la REEA, durante el reconocimiento del sector Tufiño.



Fotografía 18. Cuerpos de agua.



Fotografía 19. Cuarta salida de campo, toma de puntos con el navegador GPs, sector Tufiño.



Fotografía 20. Límite de la REEA en el sector Tufiño.



Fotografía 21. Áreas intervenidas, sector comuna El Morán.



Fotografía 22. Toma de puntos de validación en campo.

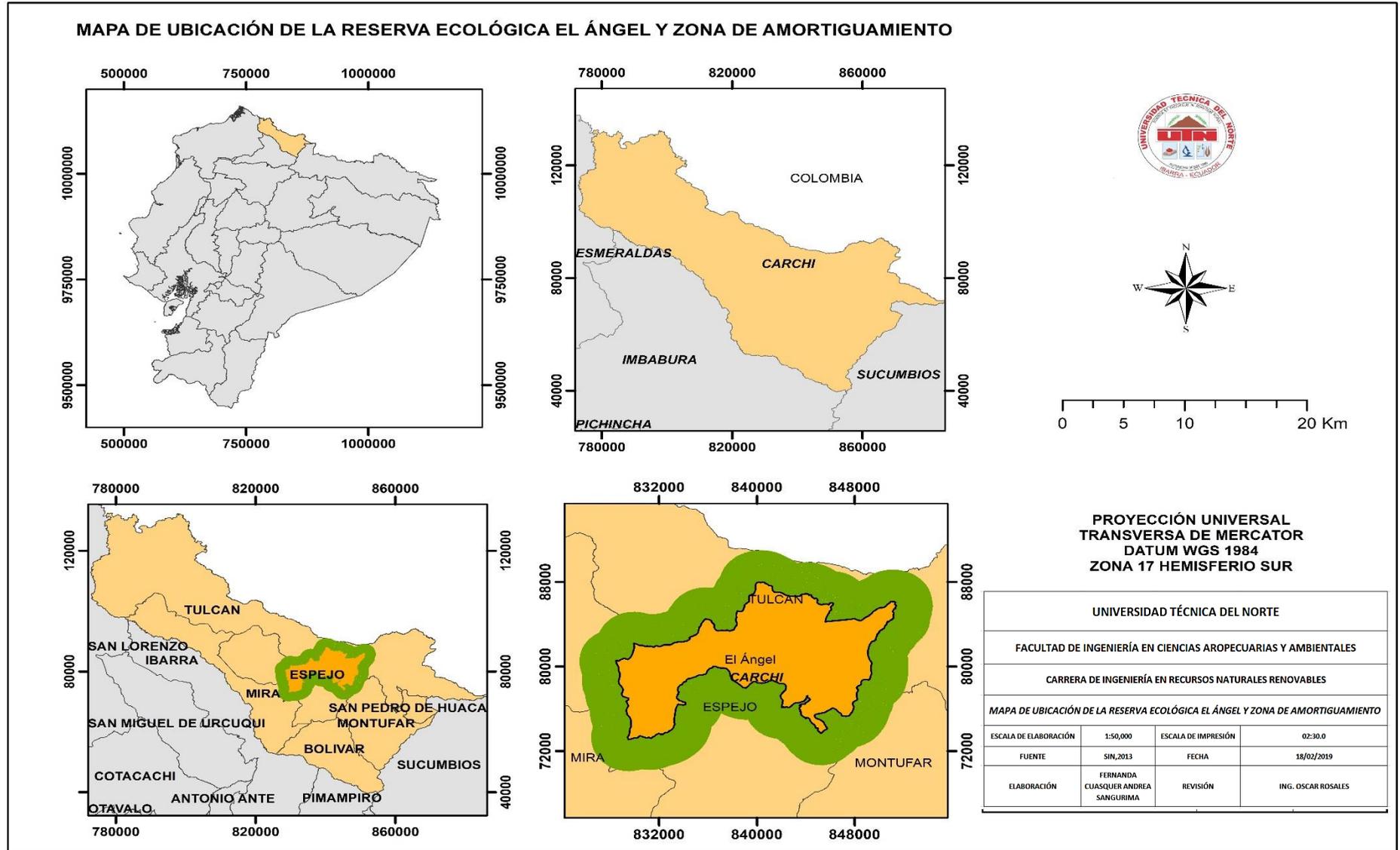


Fotografía 23. Revisión de datos tomados en campo.



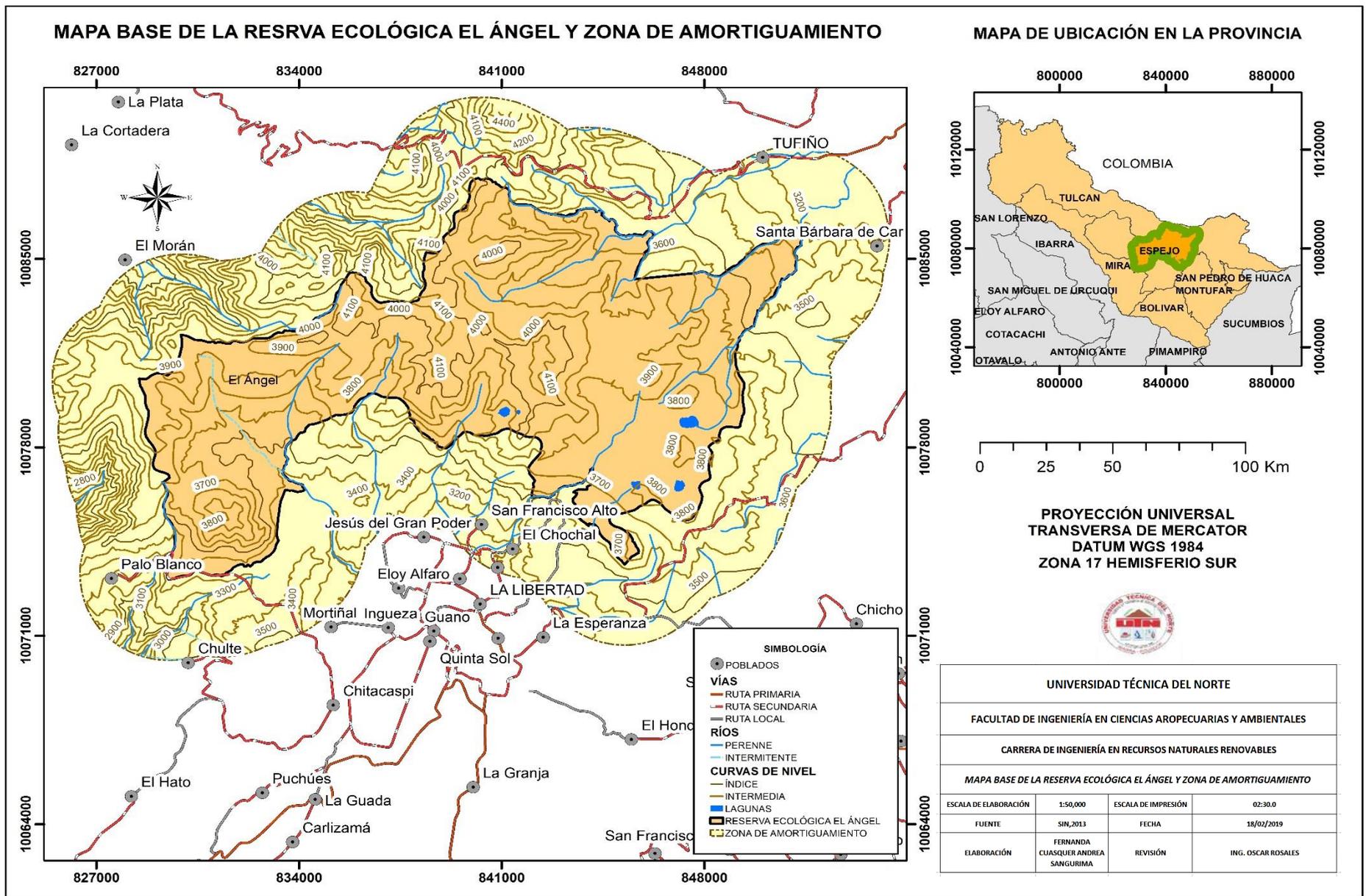
Fotografía 24. Transcripción de datos tomados en campo al software Excel y ArcMap 10.4 con licencia provisional.

ANEXO CARTOGRÁFICO



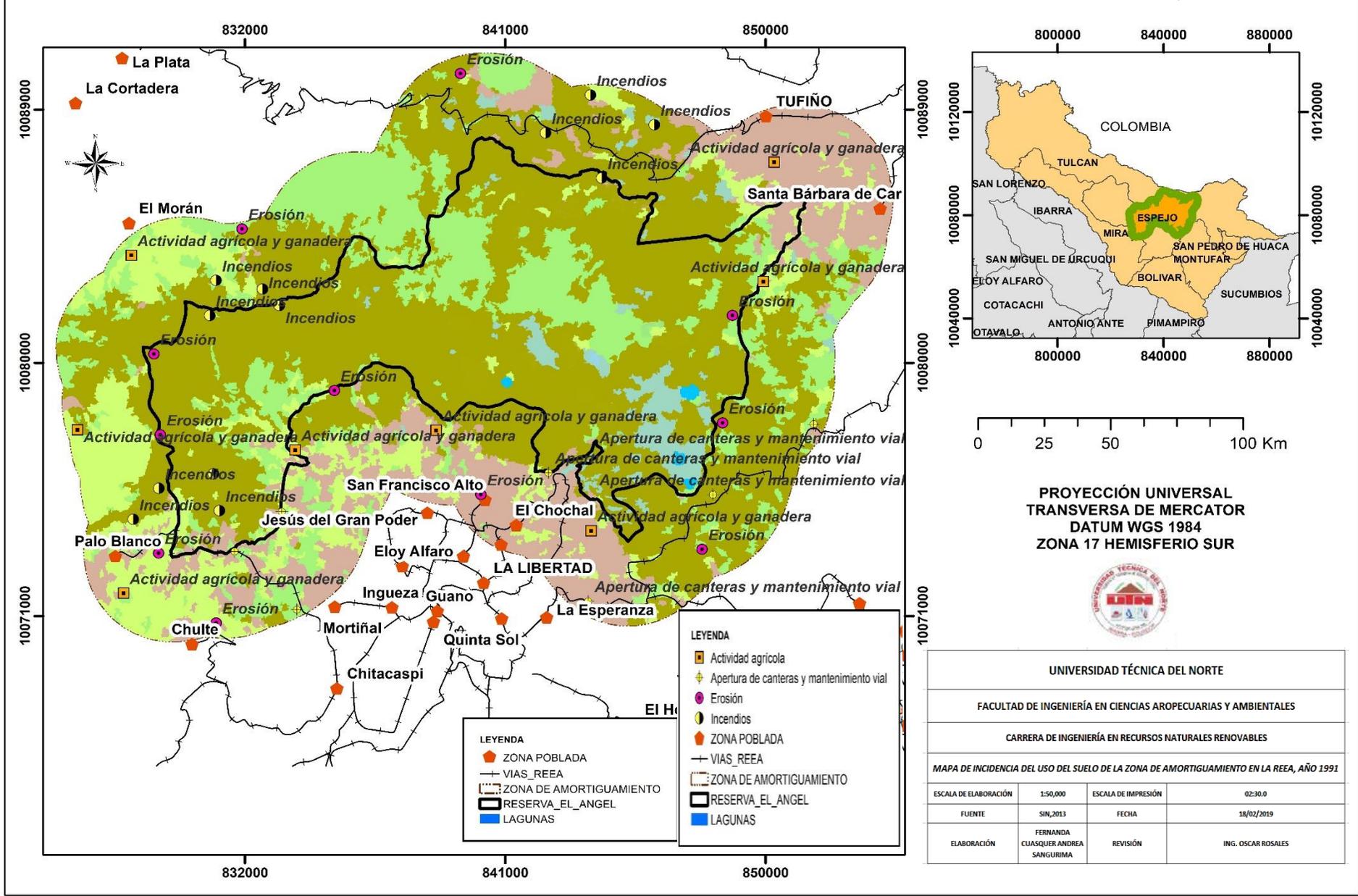
Mapa 1. Ubicación de la Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento

Fuente: Elaboración propia



Mapa 2. Mapa base de la Reserva Ecológica El Ángel y zona de amortiguamiento
Fuente: Elaboración propia

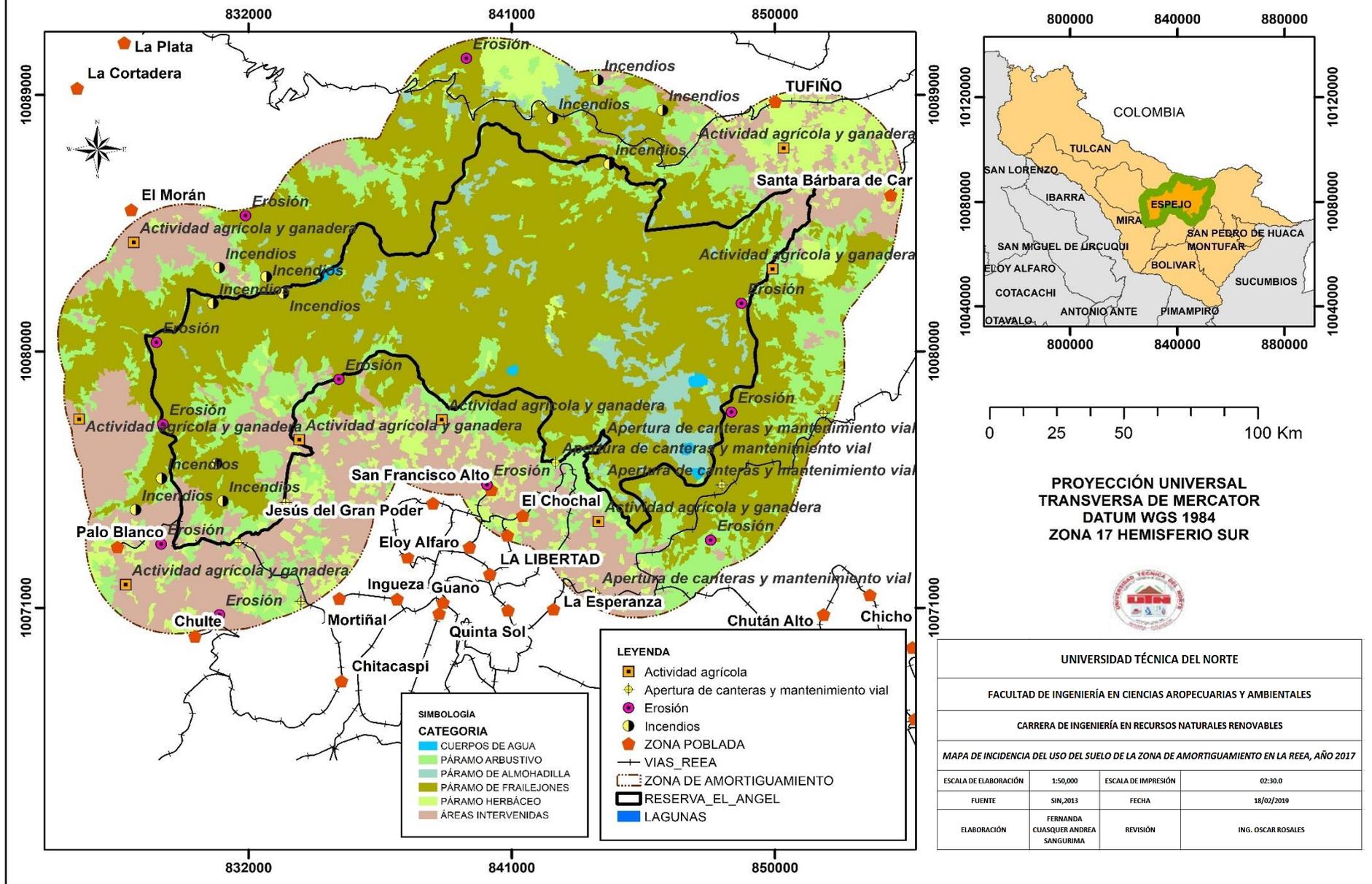
MAPA DE CAMBIOS DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO, AÑO 1991



Mapa 3. Mapa de cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento, año 1991

Fuente: Elaboración propia

MAPA DE CAMBIOS DEL USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN LA ZONA DE AMORTIGUAMIENTO, AÑO 2017



Mapa 4. Mapa de cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la zona de amortiguamiento, año 2017

Fuente: Elaboración propia