



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y PROYECCIÓN
FUTURA EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA**

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

AUTOR:

Jefferson Rolando Tulcán Chuquín

DIRECTOR:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez. MSc.

Ibarra-Ecuador

Mayo, 2023



CERTIFICACIÓN ENTREGA TRABAJO TITULACIÓN
TRIBUNAL TUTOR

Ibarra, 24 de mayo de 2023

Para los fines consiguientes, CERTIFICAMOS que el señor TULCÁN CHUQUIN JEFFERSON ROLANDO autor del trabajo de titulación: "ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y PROYECCIÓN FUTURA EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA", estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** entrega el documento en digital.

Atentamente,

TRIBUNAL DE GRADO

FIRMA

MSc. Oscar Rosales
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Mónica León
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TRITULACIÓN



CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Ibarra, 24 mayo 2023.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y PROYECCIÓN FUTURA EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA", de autoría del señor TULCÁN CHUQUIN JEFFERSON ROLANDO estudiante de la Carrera de **INGENIERÍA RECURSOS NATURALES RENOVABLES** el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que el/la autor/a o autores ha procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencia realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Oscar Rosales
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Mónica León
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN



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:	1003633185		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tulcán Chuquín Jefferson Rolando		
DIRECCIÓN:	San Antonio – Pompillo Mideros y Argentina		
EMAIL:	jeff.pit2014@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	062-550-923	TELÉFONO MÓVIL:	0995254390

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ANÁLISIS DEL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y PROYECCIÓN FUTURA EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA"
AUTOR (ES):	Jefferson Rolando Tulcán Chuquín
FECHA: DD/MM/AAAA	18 de mayo del 2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Recursos Naturales Renovables
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Óscar Rosales, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 29 días del mes de mayo de 2023

EL AUTOR:

Jefferson Rolando Tulcán Chuquín
C.I. 1003633185

AGRADECIMIENTO

Gracias Dios y la vida por permitirme alcanzar otra meta, bendíceme y dame la fuerza para no rendirme.

Estoy agradecido con mis padres, Aida y Ramiro, quienes han sido fundamental en mi crecimiento humanístico y me permitieron seguir construyendo a pesar de todos los obstáculos durante este camino. Gracias a mis primos Armando, Santiago y Lidia, quienes me apoyaron con mis metas con palabras de amor, comprensión y aliento.

De manera especial, mi director de tesis Ing. Oscar Rosales por su paciencia, comprensión, compromiso y todo su tiempo de igual forma a mis asesores Ing. Mony León e Ing. Gabriel Jácome

A mi madre gracias por estar ahí en los momentos difíciles, felices, tristes y animándome a lo largo de mi carrera y su apoyo me ha permitido completar este proyecto.

Quiero agradecer a mi familia que de una u otra forma estuvo ahí y en especial me orientó con sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto.

Tulcán J.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Aida María, principal pilar de mi vida que me apoya en cada situación. tu amor, paciencia y cariño.

También dedico a mi padre Luis Ramiro, a pesar de la distancia, el esfuerzo siempre estuvo ahí y me llevó a lo más alto

He logrado uno de mis objetivos más preciados en mi carrera. gracias a mi primo Santiago por su amor, paciencia y apoyo incondicional que siempre ha confiado en mí y me ha animado a creer en mis habilidades.

¡Así que lo he conseguido!

Tulcán J.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Revisión de antecedentes	3
1.2 Problema de investigación y justificación	5
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo general	7
1.3.2 Objetivos específicos	7
1.4 Preguntas directrices de la investigación	7
CAPÍTULO II	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Revisión de la literatura	8
2.1.1 Cambios de la cobertura vegetal	8
2.1.2 Uso del suelo	10
2.1.3 Sistemas de Información Geográfica	11
2.1.4 Índices y métricas para el análisis de la vegetación	12
2.1.5 Proyecciones a futuro	13
2.1.6 Modelo evaluador (PER).....	15
2.1.7 Conservación y restauración	16
2.1.8 Tipos de restauración ecológica	17
2.2 Marco legal	20
2.2.1 Constitución de la República del Ecuador	20
2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización	20
2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)	21
2.2.4 Reglamento del Código Orgánico del Ambiente (RCOA)	21
2.2.7 Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra (PDOT)...	22

CAPÍTULO III.....	23
METODOLOGÍA	23
3.1 Descripción del área de estudio	23
3.1.1 Suelos	24
3.1.2 Relieve.....	25
3.1.3 Formaciones vegetales	25
3.1.3 Vegetación representativa	27
3.2 Métodos.....	29
3.2.1 Cambios históricos de la cobertura vegetal en la parroquia Angochagua	30
3.2.1.1 Obtención de imágenes satelitales	30
3.2.1.2 Interpretación de imágenes	31
3.2.1.3 Identificación de las categorías de estudio	31
3.2.1.4 Áreas de entrenamiento	32
3.2.1.5 Clasificación de imágenes	32
3.2.1.6 Elaboración cartográfica de cobertura vegetal período 1999-2021	33
3.2.1.7 Validación de la clasificación	33
3.2.1.8 Matriz de contingencia.....	34
3.2.1.9 Coeficiente de Kappa.....	34
3.2.2 Estimación de la probabilidad de cambios de la cobertura para un escenario futuro	35
3.2.2.1 Preparación de insumos	35
3.2.2.2 Aplicación del algoritmo de simulación	36
3.2.2.3 Variables para el escenario de cobertura vegetal al año 2043	36
3.2.2.4 Aplicación del modelo de simulación del cambio de cobertura vegetal (LCM)	37
3.2.2.5 Validación de la proyección	38
3.2.3 Estrategias de conservación para los ecosistemas en la parroquia Angochagua	39
3.2.3.1 Aplicación del modelo (PER)	39
3.2.3.2 Estrategias de conservación	39

3.3 Materiales y equipos	40
CAPÍTULO IV	41
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1 Cambios de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua.....	41
4.1.1 Identificación de las formaciones vegetales.....	41
4.1.2 Clasificación supervisada.....	41
4.1.3 Matriz de confusión para la cobertura vegetal del año 2021	44
4.1.4 Cambios de cobertura vegetal en el período 1999-2021	44
4.2 Proyección del cambio de cobertura vegetal para el año 2043	50
4.2.1 Tasa anual de la deforestación de los ecosistemas 1999-2043	52
4.2.2 Cambios de cobertura vegetal en el periodo 2021-2043.....	53
4.2.3 Validación de la proyección año 2043	54
4.3 Estrategias de conservación para los tipos de formaciones vegetales en la parroquia Angochagua.....	56
4.3.1 Plan estrategico de conservación de los ecosistemas en la parroquia Angochagua.....	60
4.3.1.1 Antecedentes	60
4.3.1.2 Justificación	61
4.3.1.3 Programa de restauración del ecosistema páramo.....	62
4.3.1.4 Programa de rehabilitación de bosques montanos de la cordillera oriental norte	64
4.3.1.5 Programa de revegetación del ecosistema arbustal siempreverde montano del norte.....	66
4.3.1.6 Programa de implementación de prácticas agroecológicas	68
CAPÍTULO V	70
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70
5.1 Conclusiones	70
5.2 Recomendaciones	71
REFERENCIAS	72
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio en proyección WGS84_UTM_Zona_17S	23
Tabla 2. Tipos de formaciones vegetales presentes en la parroquia Angochagua	27
Tabla 3. Especies vegetales nativas representativas.....	28
Tabla 4. Imágenes satelitales, sensores y bandas que fueron utilizados	30
Tabla 5. Formaciones vegetales en la parroquia Angochagua	32
Tabla 6. Matriz de contingencia para la validación de la cobertura vegetal año 2021	34
Tabla 7. Valores de Índice Kappa	35
Tabla 8. Tabla de materiales	40
Tabla 9. Tipos de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua	41
Tabla 10. Tipos de ecosistemas en los años 2000-2015-2021 en la parroquia Anochagua.....	43
Tabla 11. Matriz de confusión de cobertura vegetal del año 2021	44
Tabla 12. Cambios de cobertura vegetal en los ecosistemas	47
Tabla 13. Cambio de cobertura vegetal en el periodo 2021-2043	51
Tabla 14. Validación de la cobertura vegetal en la proyección año 2043.....	54
Tabla 15. Matriz para la propuesta de conservación en la parroquia Angochagua....	59
Tabla 16. Técnicas de restauración para el ecosistema Páramo.....	63
Tabla 17. Rehabilitación de los ecosistemas de Bosque Montano de la Cordillera Oriental.....	65
Tabla 18. Estrategia de revegetación en el ecosistema Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes	67
Tabla 19. Regulación de prácticas agroecológicas en la zona de intervención.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema Bradshaw, tipos de restauración de ecosistemas.....	17
Figura 2. Escalera de restauración de ecosistemas de Chadzon	18
Figura 3. Ubicación del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Angochagua.....	24
Figura 4. Relieve del sector cordillera oriental norte.....	25
Figura 5. Sistema de clasificación de ecosistemas, Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2013	26
Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología utilizada el área de estudio.....	29
Figura 7. Procedimiento para realizar la clasificación supervisada	33
Figura 8. Variables transitorias de cambio de cobertura vegetal	37
Figura 9. Variación espacial y temporal de los ecosistemas en la parroquia Angochagua.....	42
Figura 10. Cambios de cobertura vegetal en el periodo 1999-2021	45
Figura 11. Proyección del cambio de cobertura vegetal para el año 2043.....	50
Figura 12. Cambios porcentuales de la vegetación en la parroquia Angochagua.....	51
Figura 13. Tasa anual de la deforestación de cobertura vegetal	52
Figura 14. Cambios significativos en el periodo 1999-2043	53
Figura 15. Cambios de cobertura vegetal en el año 2021	56
Figura 16. Cambios de cobertura vegetal de los ecosistemas en el periodo 1999-2021	57
Figura 17. Estrategias de conservación en la parroquia Angochagua.....	58
Figura 18. Modelo estratégico de presión- estado- respuesta aplicado a la parroquia Angochagua.....	60

RESUMEN

Las formaciones vegetales son parte esencial de los ecosistemas y están amenazadas por la incidencia de las actividades antrópicas, ocasionando la degradación de ciertos ecosistemas andinos. En este estudio, se analizaron los cambios de cobertura vegetal de cinco ecosistemas en la parroquia Angochagua durante los años 1999-2021. Además, se proyectó la cobertura vegetal al año 2043 mediante el uso del software TerrSet y se utilizó la cobertura de vegetación del periodo de estudio como información base. Los efectos en las formaciones vegetales se evaluaron mediante el índice de tasa de deforestación. Los resultados muestran que los cambios de vegetación en dos ecosistemas fueron significativos, el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes y Arbustal Siempreverde del Páramo registraron una pérdida del 3.67% y 2.01% entre el periodo de 1999 -2021 y para el año 2043 se estimó una disminución del 1.63% y 0.90% respectivamente. En efecto, dos de los cinco ecosistemas registraron mayor pérdida de sus coberturas, los tres ecosistemas restantes tienden a estabilizarse en los dos periodos de estudio. También se produjo un incremento exponencial de la superficie de intervención en aproximadamente 1154 has, debido al incremento de áreas agrícolas y pecuarias entre el periodo de 1999 – 2021. En consecuencia, los ecosistemas nativos se encuentran frágiles, esto impide la conexión y los diversos procesos ecológicos que tienen lugar en este tipo de hábitats.

Palabras Claves: ecosistema, tasa de deforestación, actividades antrópicas

ABSTRACT

The natural vegetation is essential part of ecosystems and are threatened by the impact of anthropogenic activities, causing the degradation of certain Andean ecosystems. In this research, were analyzed the changes land cover vegetation of five ecosystems during the years 1999-2021, in the Angochagua parish. Besides, the vegetation cover was projected to the year 2043 using TerrSet software and the vegetation cover was used as baseline information. The vegetation formations effects were evaluated using the deforestation rate index. The results show that vegetation changes in two ecosystems were significant, Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes and Arbustal Siempreverde del Páramo that respectively registered a loss of 3.67% and 2.01% between 1999 and 2021, and for the year 2043 a decrease of 1.63% and 0.90%. In fact, two of the five ecosystems registered the greatest loss of cover, while the three remaining ecosystems tended to stabilize over the two study periods. Also, there was an exponential increase in the intervention area by approximately 1154 ha, due to increase in agricultural and livestock areas between 1999 and 2021. Really, native ecosystems are fragile, this impedes connection and the various ecological processes that arise in this type of habitat.

Key words: ecosystems, deforestation rate, anthropogenic activities

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

El cambio de la cobertura vegetal y de uso del suelo representan procesos antrópicos que alteran la composición, estructura y función de las formaciones vegetales de los ecosistemas y paisajes naturales (Pinos, 2016). Estos procesos de cambios paisajísticos se aceleraron desde la década de los años 70, permitiendo la tenencia de tierras, el incremento y expansión de la frontera agrícola (Maldonado, 1980). Para el año 1963, se estableció y ejecutó un conjunto de medidas dirigidas a modificar la propiedad y la emancipación de las tierras conocidas como: La Reforma Agraria Ecuatoriana, concebida para promover e iniciar la transformación socioeconómica del país, que conllevaron a los cambios de la distribución de los paisajes y ecosistemas (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales [FLACSO], 2003).

En el Ecuador se distribuyen diferentes formaciones vegetales dependiendo del piso altitudinal, estos sitios vegetativos son importantes para sostener los procesos biológicos como son el almacenamiento de carbono y el aprovisionamiento del agua (Quichimbo et al., 2011, p. 256). Entre estos destacan los bosques montanos y páramos de vegetación herbácea y arbustiva, mismos que se encuentran amenazados por el incremento de la frontera agrícola, principal factor de la reducción de grandes extensiones de vegetación natural en la provincia de Imbabura (Figueredo et al., 2020). A pesar de los esfuerzos de conservación, el cantón Ibarra presenta alteraciones en los bosques montanos, páramos herbáceos y arbustivos (GAD Municipal de Ibarra, 2020).

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [PDOT] del cantón Ibarra 2020 estipula, que el incremento de las actividades agropecuarias produce cambios en las unidades estructurales vegetales, conllevando la disminución de las áreas de interés

(GAD de Ibarra, 2020). El estudio realizado por Rosero (2017), sobre los cambios de cobertura vegetal en la cuenca del río Tahuando, señalan que la alteración en la cobertura herbácea y arbustiva entre los años 1991 -2017, ocasionan contaminación en los sistemas hídricos en la cuenca media y alta, producto de la pérdida de las formaciones vegetales nativas. Pues este evento impactante no solo altera el ciclo hidrológico, sino que produce erosión del recurso suelo, salinización, pérdida de productividad y reduce la capacidad de retención de agua en formaciones de páramo (Morales et al., 2016).

Rosero (2016) afirma que, las principales causas del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la parroquia Angochagua son debido a la agricultura y la ganadería del sector; mismas que cada año se han incrementado, provocando modificaciones de las formaciones vegetales. La parroquia presenta una disminución de las áreas en su paisaje, formando parches antrópicos, la cual se convierte en la principal causa de pérdida de vegetación de los ecosistemas. (Rodríguez et al., 2016). A pesar de todo, Angochagua posee programas y estrategias de conservación del ecosistema de páramo, que han permitido la protección del patrimonio natural dentro y fuera del bosque protector Zuleta (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Angochagua, 2015).

Existen métodos y técnicas que permiten la realización de estudios de la vegetación, la teledetección permite el análisis de imágenes satelitales e interpretar la magnitud del problema representando un producto final que pueda solucionar o disminuir el impacto ocasionado (Chuvienco, 1985). Flores et al. (2020) afirma que, para hacer el análisis de la cobertura vegetal, es necesario realizar estudios previos; para ello la identificación por reflectancia espectral, mapeo y distribución de la vegetación usando un Sistema de Información Geográfica (SIG) es esencial. Con un enfoque similar, Paula et al. (2018) confirma que, es factible la medición de los índices y métricas de la vegetación utilizando las imágenes satelitales, que sirven de base al

análisis temporal de la vegetación, condicionando una sucesión dinámica de niveles jerárquicos que se alteran a lo largo del tiempo.

1.2 Problema de investigación y justificación

Los procesos de cambios de cobertura vegetal se describen como la forma en que los seres humanos utilizan la superficie de la tierra para satisfacer sus necesidades, ocasionando la conversión física del paisaje y los ecosistemas, resultado del desarrollo social, económico y humano (Minda, 2015). Existen factores que inciden en los cambios de la cobertura vegetal, que en conjunto conducen a la degradación ambiental y al impacto en los ecosistemas (Leija et al., 2016). Los cambios trascendentales por la pérdida de la vegetación causan impactos negativos, haciendo insostenible el manejo del suelo y afectando los servicios ambientales, porque producen esterilidad del suelo, situación que obliga a reiniciar el ciclo con modificaciones en las unidades vegetales (Rosero, 2017).

En los últimos 30 años las actividades humanas han acelerado los cambios en el paisaje de la provincia de Imbabura, los ecosistemas han sufrido alteraciones de su cobertura vegetal, las principales razones son la conversión de las unidades vegetales y la degradación e intensificación del uso de la tierra (Ruiz et al., 2014). El Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Ibarra menciona que, los cambios de la vegetación en la parroquia Angochagua son incompatibles con la capacidad de entropía y resiliencia de las formaciones vegetales, lo que genera una necesidad científica que implique la difusión y promoción de una mejor comprensión de los cambios históricos (Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Ibarra [GAD-Ibarra], 2020).

La parroquia de Angochagua se ve afectada por la intensificación de las actividades agrícolas y ganaderas; que han conllevado al incremento de la frontera agrícola y pecuaria, provocando cambios de su cobertura vegetal (Aldas, 2013). El ecosistema que se encuentran amenazado es de páramo; del cual existen formaciones

vegetales tales como: herbazal de páramo, arbustal siempreverde del páramo y bosque siempreverde del páramo (GAD Municipal de Ibarra, 2020). A esto se suma la falta de estudios específicos que demuestren la pérdida de vegetación herbácea y arbustiva; constituyendo razones principales de cambios en los diferentes períodos en la parroquia (Rosero, 2017).

Esta investigación se realiza con el propósito de contar con el modelo cartográfico temático y una propuesta de plan estratégico, que permita tomar medidas de conservación de las formaciones vegetales, para evitar posibles pérdidas en años futuros. Se vincula dentro del “Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021-2025”, con el cuarto eje de transición ecológica, objetivo 11: conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales (Secretaría Nacional de Planificación [SNP], 2021), principalmente con la política 11.2, la cual busca fomentar la capacidad de recuperación y restauración de los recursos naturales. De tal forma, se resguarda las diversas formaciones vegetales, de hábitats de flora y fauna silvestre; que proveen diferentes funciones como: de almacenamiento, retención del recurso agua, y el aprovechamiento sostenible del patrimonio natural (Camacho et al., 2015).

Ante este evidente problema y considerando que existen ciertos riesgos y amenazas en los ecosistemas, es una oportunidad para prevenir una posible reducción o disminución de las formaciones vegetales y demostrar que se pueden cumplir con los objetivos propuestos. Por lo tanto, se encamina la propuesta de plan estratégico para la conservación de las formaciones vegetales. Mediante el análisis de los cambios históricos, se puede lanzar una prospectiva a un escenario futuro y proponer estrategias de conservación en torno a los cambios de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar los cambios históricos de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua y su proyección de cambio a futuro con el fin de plantear estrategias de conservación.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar los cambios de cobertura vegetal para el periodo 1999-2021, en la parroquia Angochagua.
- Estimar la probabilidad de cambios de cobertura vegetal para el año 2043.
- Proponer estrategias de conservación para las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua.

1.4 Preguntas directrices de la investigación

- ¿Qué cambios históricos de cobertura vegetal se han generado en la parroquia Angochagua?
- ¿Cuál es la prospectiva estimada de cambios de cobertura vegetal en un escenario futuro de la parroquia Angochagua?
- ¿Cuáles son las estrategias propuestas para la conservación de las formaciones vegetales?

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Revisión de la literatura

2.1.1 Cambios de la cobertura vegetal

La superficie de cobertura vegetal mejora la estabilidad del suelo, un principio fundamental de la conservación, el estrato natural que cubre el suelo edáfico es uno de los recursos naturales más importantes del cual dependen la vida de los organismos (Cotler et al., 2007); además de diversas actividades de desarrollo que poseen superficies de vegetación natural con valor científico, cultural y turístico en la parroquia (GAD Parroquial de Angochagua, 2015).

Los cambios de la cobertura vegetal son esenciales para el mejor entendimiento en los patrones de la vegetación, estos cambios son producto de: la deforestación, fragmentación y degradación (Leija et al., 2020). Representando un aspecto primordial en el cambio ambiental regional y el desarrollo sostenible (Leija et al., 2020). Generando impactos en los ecosistemas terrestres, que a su vez causan pérdidas de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos; afectando la capacidad de proveer servicios ambientales indispensables para la población (Guevara, 2020). Estos tipos de coberturas están caracterizados por ser una combinación entre páramos herbáceos y arbustivos, bosques montanos y arbustales andinos (Cañadas, 1983).

Ciertas actividades económicas, culturales, ambientales y sociales conducen a cambios en aspectos biofísicos de la vegetación (Camacho et al., 2015). Los cambios en la cobertura no solo traen efectos negativos, ciertos cambios están relacionados con una mayor protección de los ecosistemas conllevando un impacto positivo (Lozano, 2015).

2.1.1.1 Formaciones vegetales

Las formaciones vegetales o zonas de vida en cuanto a su fisionomía y estructura; se relacionan con el clima, la geografía, el suelo y otros factores biológicos del área; se localizan en las tres regiones del Ecuador continental (Jaramillo y Merchán, 2018). Las estructuras vegetativas están formadas a partir de la evolución ecosistémica y paisajística (Añazco et al., 2004, pág., 56-57). Se han hecho varios intentos de clasificar la vegetación del Ecuador, entre los que se destacan los autores como: Acosta Solís, Cañadas, Sierra y el sistema de clasificación implementado por el Ministerio del Ambiente del año 2013 (Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE], 2013).

El sistema de clasificación del Ministerio del Ambiente está distribuido en todo el territorio nacional (Lozano, 2015). Presenta 91 tipos de vegetación, adaptados a los modelos y terminologías, se encuentran en los territorios de Costa, Sierra y Amazonia, con formaciones vegetales que van desde los arbustales espinosos xerofíticos en la parte occidental de los Andes (0–50 msnm.), ascendiendo a los páramos (3200–3900 msnm.) y descendiendo, en el parte oriental de la cordillera de los andes, hasta los bosques húmedos de la Amazonía 800 msnm, se puede distinguir a partir de las asociaciones de la vegetación dominante (MAE, 2013). Los ecosistemas más amenazados se encuentran inmediatamente por encima de las formaciones de bosques montanos, y corresponde a los arbustales y herbazales de páramo (Morocho y Romero, 2003).

2.1.1.2 Ecosistema

Los seres vivos dependen de ambientes compuestos de factores bióticos y abióticos para subsistir; estos organismos vivos se encuentran e interactúan entre sí, con los factores que los rodean (Jaramillo y Merchán, 2018). Desde un punto de vista biogeográfico, los páramos herbáceos y arbustivos y los bosques montanos e interandinos son los ecosistemas más afectados y amenazados (Aldas, 2013). Estos

ecosistemas exhiben algunas de las tasas de deforestación más altas de la región, están en proceso de pérdida y degradación (Guevara, 2020). En Imbabura existen 13 ecosistemas, de los cuales el ecosistema del bosque del Chocó es el más relevante, ya que forma el mayor stock de carbono de cualquier ecosistema terrestre y pondera una razón importante en la mitigación y regulación del cambio climático global, siendo uno de los ecosistemas más biodiversos (GAD Provincial de Imbabura, 2019).

2.1.2 Uso del suelo

El recurso suelo influye directamente en la sociedad que hace uso de ello; así como la superficie ocupada de territorio (Colter et al., 2007). Ecuador está predeterminado a usos de suelo de: “cultivos permanentes, cultivos transitorios, barbecho, descanso, pastos cultivados, pastos naturales, montes, bosques, páramos, entre otros” (Figueredo et al., 2020). En este sentido, cuando los humanos interfieren con la naturaleza, la cubierta vegetal cambia, lo que genera impactos sociales, económicos y ambientales (Rodríguez et al., 2016). De manera similar, cuando cambian los paisajes naturales, los servicios ambientales cambian y se pierde las funciones de los ecosistemas (Sierra, 2013).

2.1.2.1 Desforestación

Los recursos naturales del área de bosque, páramo y vegetación herbácea, concentran múltiples servicios ecosistémicos, la sociedad los utiliza para diferentes propósitos; uno de los usos más importantes es la extracción de recursos forestales (Rodríguez et al., 1994). Los bosques son importantes repositorios de biodiversidad, esencial para la conservación, sin embargo, la reducción de la superficie forestal se debe principalmente a las intervenciones humanas; aunque en ocasiones intervienen factores no humanos, como, un incendio no provocado (Uribe y Ávila, 2015). Los cambios de la cobertura del suelo del Ecuador entre 1990 y 2008; representan cerca de 19 000 km² de bosques perdidos, equivalente aproximadamente al 13 % del territorio

boscoso, a nivel nacional la cobertura de bosque disminuyó del 69.6% en 1990 al 60.7% en el año 2008 (Sierra, 2013).

2.1.2.2 Fragmentación

Los procesos de destrucción de la vegetación conllevan la inanición de la biodiversidad, estos procesos están diagnosticados como la enfermedad para los ecosistemas (Cartes, 2013). Las actividades de tala y la expansión de la frontera agrícola y pecuaria; conllevan a la fragmentación y desaparición de los hábitats naturales; provocando parches en los ecosistemas (Rodríguez y Leitón, 2021). La fragmentación puede darse a diferentes escalas (locales, regionales o paisajísticas), los servicios ecosistémicos son los más afectados, estos factores de cambio definen rasgos que impone el deterioro del hábitat como la principal amenaza para la conservación y restauración de los ecosistemas (Martínez et al., 2009).

2.1.2.3 Degradación

En Ecuador se extienden grandes superficies de suelos a efectos de la degradación, los ecosistemas degradados no pueden proporcionar los bienes y servicios ambientales (Rodríguez y Leitón, 2021). La degradación en este caso, hace referencia a la incapacidad del recurso suelo para recuperarse de algún elemento externo perturbador, a la pérdida de los atributos para la producción o solvencia (Cartes, 2013). Los suelos degradados pierden la capacidad de resiliencia, que les permite restablecer procesos de producción, de tal forma los ecosistemas pierden esa capacidad brindar los servicios ecosistémicos (Salazar, 2014).

2.1.3 Sistemas de Información Geográfica

Los estudios relacionados con los SIG se enmarcan en las ciencias ambientales, de forma temática sin necesidad de conocer toda el área en campo, sin embargo, se debe tener en cuenta las categorías que se van analizar (Paula et al., 2018). Existen softwares que permiten prolongar y estimar las métricas de la vegetación en función de

las variables de estudio (Del Toro et al., 2013). Actualmente, para analizar los cambios en la vegetación, el software ArcMap de ArcGIS suele ser el más utilizado, ya que representa, crea, visualiza y gestiona la información geográfica, mediante datos alfanuméricos para obtener información cartográfica (Linares et al., 2022).

Las bases de datos espaciales y de atributos difieren en algunos aspectos, pero en otros, mejora el sistema al fusionar los dos componentes en una sola unidad (Chuvieco, 1985). Es así que, el software TerrSet, conlleva la información geográfica y un software de detección remota para el análisis y la visualización de información geoespacial digital; además, del modelo de simulación y predicción, Land Change Model o MCL (Sánchez, 2016).

2.1.4 Índices y métricas para el análisis de la vegetación

La implementación de técnicas para la detección de cambios de cobertura edáfica, se deben a la representación cartográfica acaecida en el territorio de estudio (Cartes, 2013). Los cambios temporales y espaciales en la cubierta vegetal son indicadores importantes de la dinámica de los ecosistemas, y se aplican tras una clasificación previa de los elementos de estudio, estos pueden ser a nivel ecosistémico o de paisaje (Gonzaga, 2015). Entre las técnicas que utilizan datos satelitales multiespectrales destacan los índices para medir la cubierta vegetal de los ecosistemas (Gonzaga, 2015). Existen índices que pueden distinguir tipos de vegetación, sin diferencias significativas entre ellos, mediante la aplicación de la métrica indicada tales como: índice de Kappa e índice de tasa de deforestación (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1996).

2.1.4.1 Clasificación supervisada

Existen un sin número de modelos y métodos de aprendizaje automático, depende del estudio y que se desea clasificar. Se puede clasificar imágenes satelitales utilizando el estimador de máxima verosimilitud (Del Toro et al., 2013); se lo realiza a

través de las áreas de estudio o entrenamiento, las áreas de estudio son una serie de clases o categorías que se puede analizar, como: tipos de vegetación, ecosistemas, uso del suelo, entre otros; permitiendo clasificar el ráster utilizando cada píxel de una celda, y se requiere un conocimiento previo de las clasificaciones del área de estudio (Chuvienco, 1985).

2.1.4.2 Matriz de contingencia

Una matriz de contingencia sirve para la validación de dicha predicción, con base en la inteligencia artificial (IA), se aplican varios algoritmos (llamados algoritmos de aprendizaje automático) para llegar a un valor predicho, ya sea real o no. Esto permite la visualización del desempeño de un algoritmo que se emplea en aprendizaje supervisado, muy útil para valorar el modelo de clasificación basado en aprendizaje automático (Cerdea y Villarroel, 2008).

2.1.4.3 Coeficiente de Kappa

Los procesos de medición siempre están amenazados por diversos errores que afectan la calidad de la investigación y la toma de decisiones basadas en la validación del estudio (Abraira, 2001). Por ello, es necesario utilizar un estimador estadístico, que, mediante el aprendizaje automático, permite evaluar la precisión categórica de los estudios ambientales, con la concordancia del tamaño de la muestra, sea probabilística o no probabilística, en relación con los datos ejecutados en la investigación, en el caso de los estudios multitemporales se suele validar la clasificación supervisada (Cerdea y Villarroel, 2008).

2.1.5 Proyecciones a futuro

Los modelos de simulación más realistas pueden llegar a situaciones en la que no somos capaces de resolver de forma analítica y numérica el problema efectuado (Insua et al., 2009). En tal caso, es posible utilizar la simulación para realizar proyecciones y análisis estadísticos, con base en el programa de ordenador que describa

el comportamiento y la variable de interés, y refleje el modelo deseado que se pretende registrar (Sahagún y Reyes, 2017).

Los procesos aleatorios pueden aplicarse a una amplia gama de fenómenos científicos y sociales (Abraira, 2001). En las ciencias ambientales son comunes los análisis multitemporales y las simulaciones (Del Toro et al., 2013). Sin embargo, proyectar los cambios de cobertura vegetal es complejo, debido a los cambios constantes a los que están sujetas las áreas, especialmente porque los factores naturales y humanos pueden operar a diferentes escalas. Insua et al. (2009) menciona las cadenas de Márkov, como el modelo de simulación más eficiente para predecir los cambios en la vegetación.

2.1.5.1 Modelos de simulación y proyección

Existen un sin número de modelos de predicción para simular los cambios en la vegetación, Sahagún y Reyes (2017) los conocen también como modelos de transición, ya que, es indispensables el trabajo con variables transicionales para simular los cambios de las categorías de estudio (Jiménez, 2019). Entonces el modelo de transición se enfoca en los datos de entrada y salida, para pronosticar los cambios que ocurrirán en un estado previo (Linares et al., 2022).

Muchos autores apuntan a la utilización de modelos con enfoques cuantitativos utilizando métodos de cadenas de Márkov CM, autómatas celulares AC y los SIG para simular los cambios en los ecosistemas. Con la posibilidad, que un estado podría ocupar un numero finito de otros estados (Jiménez, 2019).

2.1.5.2 Algoritmo cadenas de Márkov

La presencia de una distribución estacionaria es necesaria para la prueba de convergencia (Morales, 2016). Dicha distribución sólo existe si se cumplen determinadas condiciones asociadas al algoritmo de simulación sobre una serie de

variables aleatorias que representan el estado de un determinado sistema a lo largo de varios intervalos de tiempo, de tal forma que el estado del sistema en el intervalo actual sólo depende del estado del sistema en el intervalo anterior y no de los estados previos (Linares et al., 2022).

2.1.5.3 Variables de transición

Los modelos de estado y transición se utilizan como herramienta para el estudio, evaluación y manejo de ecosistemas. Para las conversaciones espacio temporales se agregan variables a los modelos de predicción; estos suelen ser debido a los acontecimientos antrópicos que estén ligados al lugar de estudio. Por lo general, para la proyección de cobertura de tierras, se realiza mediante datos alfanuméricos ligados a la pendiente, modelos de elevación del terreno, poblados, vías, ríos entre otros (Gilabert et al, 1997).

2.1.6 Modelo evaluador (PER)

La evaluación de los procesos de enseñanza y aprendizaje puede mantenerse en sus líneas generales, adaptándose a las situaciones específicas del estudio, en las que se aplique el modelo evaluador "Presión-Estado-Respuesta" (Pandía, 2015); este modelo permite la evaluación de la capacidad de respuesta y la identificación de acciones, opciones, políticas y otras estrategias para modificar o cambiar la situación del elemento estudiado (Pandía, 2015).

- **Presión.** Describen los cambios del estado o problema que se ha suscitado en la investigación o estudio.
- **Estado.** Se refiere al estado actual de los variables estudiadas, y que procedimientos se llevaran a cabo para solucionarlos.
- **Respuesta.** Describen las soluciones o las propuestas para la recuperación del sistema.

2.1.7 Conservación y restauración

Las prácticas de conservación dependen de los programas implementados para restablecer dicho sistema, en cambio la restauración ecológica contribuye a la recuperación del capital natural del cual dependen los organismos (Ceccon, 2015); mismo que, influye directamente en los ecosistemas y su capacidad de recuperarse de los procesos de intervención con base en la capacidad de la resiliencia (Ceccon, 2015). Por lo tanto, la restauración ecológica tiene el potencial de recuperar las características funcionales del ecosistema (Rodríguez et al., 2016). Los ecosistemas con elementos mínimos tienden a desestabilizarse debido a la degradación, ya que no puede recrear los servicios ecosistémicos y en sus atributos esenciales como: su composición, estructura y función (Murcia y Guariguata, 2014).

2.1.7.1 Prácticas agroecológicas

Las prácticas agroecológicas suponen una reorganización de las actividades productivas, un nuevo enfoque de gestión de los sistemas de producción agraria, más que potenciar la productividad de un elemento concreto, apoya una práctica productiva más homogénea en las zonas de intervención (Ceccon, 2015); promoviendo la optimización de la producción, haciendo hincapié en la sostenibilidad medioambiental y ampliando la capacidad de redistribución económica (Rodríguez et al., 1994). La diversidad productiva requiere de mayor participación social en los procesos agroecológicos, y establece la diversidad cultural y natural en un agroecosistema (Ruiz et al., 2014).

Los sistemas agroforestales pueden mejorar la fertilidad del suelo debido principalmente a una mayor producción de biomasa (Ruiz et al., 2014). Barrera et al. (2010) lo demuestra en su estudio al implementar técnicas de barreras vivas, contra la erosión de suelos, en efecto esta técnica esta referenciada en mediano plazo en ecosistemas altamente degradados.

2.1.7.2 Barreras vivas

Las técnicas para la recuperación de las coberturas vegetales son utilizadas para la reducción de la erosión y mejoramiento de los sistemas agroforestales, así como especies con potencial para barreras vivas a diferentes altitudes. En suelos de roza-tumba-quema, las reducciones importantes en las tasas de erosión, pero no se alcanzan los límites de tolerancia requeridos para su uso sostenible (Ruiz et al., 2014).

2.1.8 Tipos de restauración ecológica

La restauración natural es solo verdadera cuando no ha sido tocada por el hombre, estrictamente es una condición antes de la perturbación humana. Sin embargo, la realidad es que los humanos hemos modificado casi todos los ecosistemas durante varios siglos, y el ecosistema “original” no perturbado es difícil de encontrar en nuestros días (Bradshaw, 1992). Cuando un ecosistema no logra recuperar su estado original y solo recupera una parte de su estructura y/o función, se dice que el ecosistema se ha rehabilitado. Si el ecosistema adquiere otra estructura y/o función se puede hablar de creación o reemplazo de ecosistemas (Barrera et al., 2010) (Figura 1).

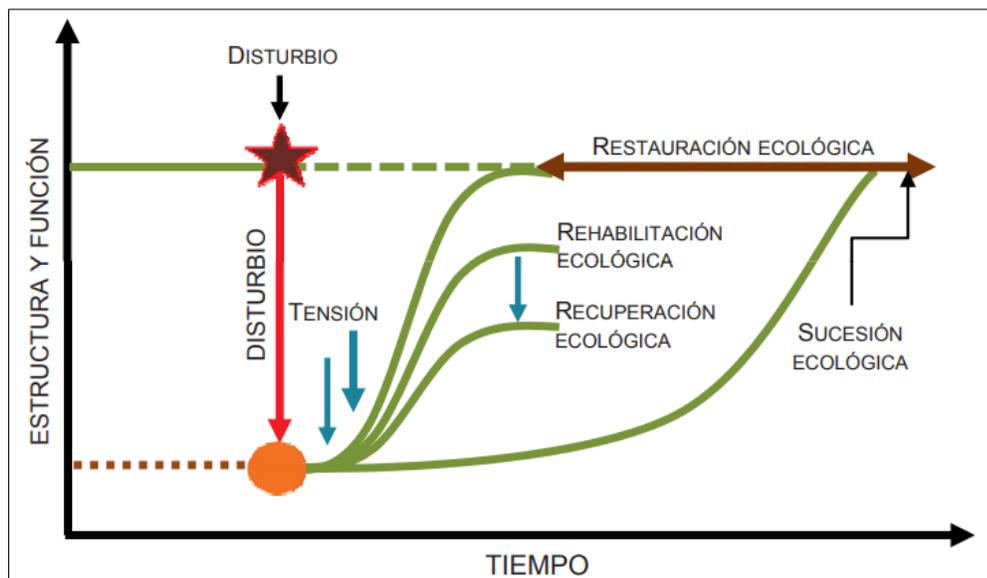


Figura 1. Modelo en dos dimensiones de los procesos de restablecimiento de un ecosistema.

Fuente: (Modificado de Barrera et al., 2010)

2.8.1.1 Restauración de ecosistemas

En la mayoría de los ecosistemas y paisajes degradados, la restauración ecológica se aplica por medio de programas que conllevan actividades de recuperación, por lo general, suelen ser de carácter importante y urgente (Barrera et al., 2010). Este proceso implica una intervención deliberada basada en el conocimiento tradicional o local, el conocimiento científico y la conciencia de lo que antes existía (Rodríguez et al., 2016). De acuerdo con la Sociedad Internacional de Restauración Ecológica o Society for Ecological Restoration, SER (2004), los proyectos de restauración constan de objetivos encaminados a la recuperación del ecosistema degradado, para que sea estructuralmente resistente y autosuficiente en función de la composición de especies y su fisonomía (por ejemplo, la productividad, el flujo de energía, los ciclos de nutrientes, entre otros) (Figura 2).



Figura 2. Escalera de restauración de ecosistemas según Chazdon

Fuente: (Modificado de SER, 2004)

- **Restauración pasiva.** Según Rodríguez et al. (2016), los ecosistemas apropiados para realizar técnicas restauración pasiva, son aquellos que tienden a poseer baja intervención antrópica, ya que el capital natural se recupera cuando no hay factores condicionantes o cuando se eliminan las barreras que inhiben la regeneración, el organismo se recupera por sí mismo, proceso conocido como restauración pasiva o sucesión natural.

- **Restauración activa:** Según Chazdon (2008), la restauración activa se involucra en ecosistemas mediamente degradados, o en aquellos que han sido sometidos a cambios leves. La restauración activa se logra a través de la intervención humana, tratar de recuperar las funciones naturales de los ecosistemas y promover el desarrollo de procesos de resiliencia en áreas donde los mecanismos de regeneración natural se encuentran alterados o destruidos (Society for Ecological Restoration [SER], 2004).

2.1.8.2 Rehabilitación de ecosistemas

La rehabilitación se aplica cuando no se tiene la viabilidad del ecosistema de referencia, ya que se puede utilizar con las mismas metas, sin embargo, restaurar el “ecosistema de referencia”, ya no será factible (SER, 2004). La rehabilitación es considerada una estrategia encaminada a la recuperación parcial de ecosistemas, pretendiendo restaurar partes de las características funcionales o estructurales del ecosistema sin restablecer todos sus atributos originales (Chazdon, 2008).

2.1.8.3 Revegetación de ecosistemas

La restauración estaba enfocada en la rehabilitación y revegetación de ecosistemas degradados y contaminados, relacionadas a las actividades antrópicas o naturales (Barrera et al., 2010). La revegetación se utiliza en ecosistemas severamente degradados; debido a la presencia de suelos compactados, pobres en nutrientes y niveles tóxicos de metales pesados y sales tóxicas (Chazdon, 2008).

2.2 Marco legal

La elaboración de este estudio se estructura bajo los requisitos legales vigentes y aplicables en el Ecuador, los cuales se señalan a continuación de manera jerárquica, según lo establecido en el artículo 425, de la Constitución de la República del Ecuador de 2008.

2.2.1 Constitución de la República del Ecuador

La Constitución de la República del Ecuador en materia ambiental, define los lineamientos generales. Es así que, el artículo 14, Título II, Capítulo Segundo, sobre los Derechos del buen vivir, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, buen vivir o Sumak kawsay, considerando de interés público la preservación del ambiental y la conservación de los ecosistemas. Asimismo, el Capítulo Segundo del Artículo 404, Título VII, del Régimen del Buen Vivir, referido a la Naturaleza y Medio Ambiente, establece que, si bien las comunidades tienen el derecho absoluto a beneficiarse del medio ambiente, las actividades que causen deterioro e impactos negativos serán aplicadas en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.2.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

Entre las leyes orgánicas vigentes en Ecuador se encuentran los artículos 54 y 55 del COOTAD, que establecen que los Gobiernos Autónomos y Descentralizados tienen competencias en materia de planificación, ordenamiento territorial y uso del suelo en las regiones rurales. Además, el artículo 136 establece que, los municipios son responsables de la conservación de la diversidad biológica y la preservación del medio ambiente a través de planes, programas y proyectos que apoyen el manejo sostenible de los recursos naturales, para reparar los daños causados por la contaminación, la desertificación y la erosión. Así, los esfuerzos de forestación con especies nativas y la

educación ambiental son fundamentales para la recuperación de los ecosistemas (COOTAD, 2010).

2.2.3 Código Orgánico del Ambiente (COA)

El derecho de las personas a vivir en un ambiente sano está definido en el artículo 5 del Código Orgánico del Ambiente, y los numerales 1 y 2 se refieren a la protección, manejo sostenible y restauración del patrimonio natural, la variedad biológica y todos sus componentes en relación con los derechos de la naturaleza. Además, la gestión sostenible de los ecosistemas con especial atención a los ecosistemas vulnerables y amenazados como los páramos, humedales, bosques montanos, arbustales y matorrales, y bosques tropicales secos y húmedos (Código Orgánico del Ambiente [COA], 2018).

La ratificación del artículo 94, que prohíbe la conversión de formaciones vegetales para usos agrícolas en áreas designadas como patrimonio natural nacional, tales como bosques naturales y ecosistemas frágiles, garantiza la conservación, gestión sostenible y restauración del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes. Asimismo, el artículo 100 establece que los gobiernos locales, incluidos los GAD parroquiales, ejecutarán planes, programas y proyectos que contribuyan a la protección de los ecosistemas. El artículo 106 regula y promueve los planes de protección de los bosques naturales, en particular la división de la tierra para evitar los cambios en la cubierta vegetal y la deforestación (Código Orgánico del Ambiente, 2018).

2.2.4 Reglamento del Código Orgánico del Ambiente (RCOA)

El RCOA especifica las directrices que deben seguirse para la conservación de la diversidad biológica en el Libro II del Patrimonio Natural, Capítulo II, en su artículo 162, apartados b y e, con el fin de incrementar y promover la conservación y protección de la biodiversidad, mediante la participación de propietarios privados, comunidades y

los GADs, en la protección de lugares con ecosistemas frágiles, y promover el uso sostenible de los recursos naturales y la restauración de ecosistemas degradados (Reglamento del Código Orgánico del Ambiente, 2019).

2.2.7 Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra (PDOT)

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra en su última actualización del 2020, menciona que, la pérdida de vegetación nativa ha provocado cambios en la cobertura vegetal y ha alterado la funcionalidad de los ecosistemas. La parroquia Angochagua, posee formaciones de vegetación nativa que se encuentran amenazadas, debido al incremento de la frontera agrícola y la sustitución de cultivos. Una de las metas propuestas, es estandarizar un modelo de ordenanza para la gestión de las formaciones de vegetación y ecosistemas frágiles para llegar a preservarlos en escenarios futuros (GAD Municipal de Ibarra, 2020).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la parroquia Angochagua, perteneciente al cantón Ibarra, provincia de Imbabura. Las coordenadas de los puntos extremos del área de estudio se presentan en la Tabla 1. Al norte con la cabecera cantonal de Ibarra y la parroquia La Esperanza; al sur con la parroquia Olmedo, cantón Cayambe; al oeste con las parroquias San Pablo del Lago y Gonzáles Suárez, cantón Otavalo; y al este con la parroquia de Mariano Acosta, cantón Pimampiro.

Tabla 1. Coordenadas del área de estudio en proyección WGS84_UTM_Zona_17S

Punto	Coordenada X (m)	Coordenada Y (m)	Altitud (m.s.n.m)
Norte	825000	10032000	2950
Sur	823000	10018000	3010
Este	831000	10027000	3650
Oeste	818000	10025000	3270

La parroquia Angochagua posee un rango altitudinal entre 2500 y 3900 msnm; y una superficie de 11 765.19 hectáreas (Figura 3) (Guamán y Rodas, 2022). Según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Angochagua para el año 2015, la parroquia constaba con una población de 3983 habitantes, considerada una de las zonas con alta producción agrícola y ganadera. Cuenta con un relieve montañoso representado por el 52,25% de su superficie total, con pendientes mayores al 70%, el rango de temperatura oscila entre 10 a 16°C y el rango de precipitación entre 800 y 2500 mm anuales (Jaramillo y Merchán, 2018). Es importante considerar sus paisajes bajo la denominación de atractivos turísticos, debido a que posee diferentes tipos de formaciones vegetales, de importancia de los ecosistemas en la retención y almacenamiento de fuentes de agua, ya que, en sus partes altas se origina la cuenca del río Tahuando (GAD Parroquial de Angochagua, 2015).

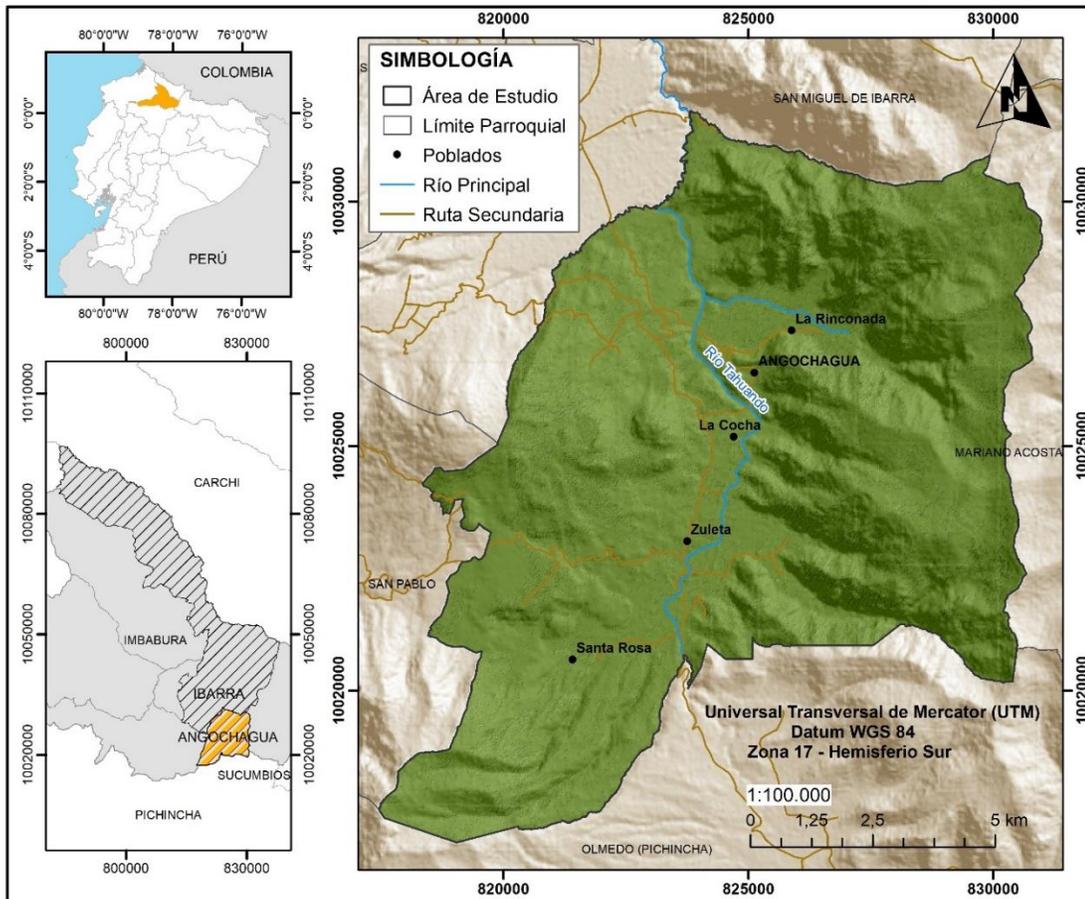


Figura 3. Ubicación del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Angochagua

3.1.1 Suelos

Según el Diagnostico Territorial y Plan de Manejo Ambiental realizado en Angochagua en el año 2015, la formación de los suelos, es de proyección volcánica; ricos en materia orgánica; son suelos blandos con un promedio de profundidad de 1 m; de textura fina, coloración negra, poseen alta retención de humedad; pueden ser: limo-arenoso, arenoso-limoso y baja presencia de cangahua (GAD Parroquial de Angochagua, 2015). La mayor parte del territorio, el (80,4%) se ajusta a la clase de suelo molisol, que se distingue por una superficie de profundidad media formada por elementos volcánicos y sedimentarios, y un terreno que va de pendientes suaves a extremadamente pronunciadas (GAD Parroquial de Angochagua, 2015).

3.1.2 Relieve

Geográficamente esta zona de vida corresponde a la región de la cordillera oriental norte de los andes ecuatorianos, todas las zonas de vida, se encuentran ubicadas en el piso altitudinal montano, correspondiente a la región de los subpáramos (Rodríguez et al., 1994). La parroquia Angochagua ocupa los anchos lomos de la cordillera oriental, los nudos interandinos, incluyendo las montañas intermedias que se encuentran más o menos aisladas entre ellas y que excede la cota de los 3000 m, siendo estos últimos subpáramos mucho más anchos que los primeros (PROBONA, 2002). El límite superior de los páramos puede llegar a los 3800 m (Cañadas, 1983) (Figura 4). La cordillera de Angochagua cuenta con dos arcos volcánicos que se formaron de la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana, el Cubilche (3826 msnm), y el volcán Cusín (4012 msnm), de forma de herradura abierta hacia el noroccidente y que rodea el lago San Pablo (Jácome et al., 2020).



Figura 4. Relieve del sector cordillera oriental norte en la parroquia Angochagua

3.1.3 Formaciones vegetales

La parroquia Angochagua presenta diferentes tipos de cobertura vegetal, correspondiente a las formaciones vegetales con variaciones de hábitats húmedos de

páramo ecuatorial, estas estructuras vegetativas sirven para fines especializados, como generar flujo de agua y evitar la erosión del suelo (Yaranga et al., 2018). La clasificación de las formaciones vegetales, fue generado a partir de la revisión y conjugación del Sistema de Clasificación de Ecosistemas para el Ecuador Continental establecido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador en el año 2013. En la Figura 5 se presenta la clasificación de ecosistemas, de la parroquia de Angochagua, la misma que posee 6 formaciones vegetales que son: Arbustal Siempreverde y Herbazal de Páramo, Bosque Siempreverde Montano Alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, Herbazal de Páramo, Bosque siempreverde Montano del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes, Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes y Bosque Siempreverde de Páramo.

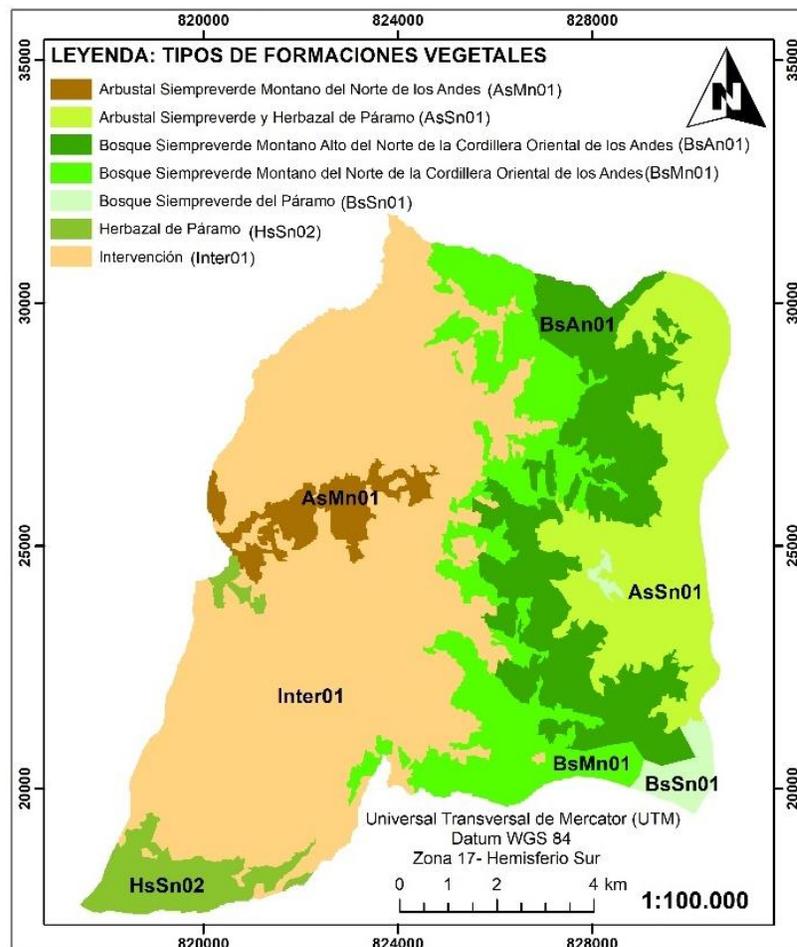


Figura 5. Clasificación no supervisada de los ecosistemas

Según el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Angochagua para el año (2015); con un 50.74%, la zona de intervención ocupaba más de la mitad de las tierras de la parroquia. Los ecosistemas naturales más importantes son el Arbustal Siempreverde y el Herbazal del Páramo, que cubren 1771 ha, es decir, el 16.11% de superficie, seguidos del Bosque Siempreverde Montano Alto del Norte ocupando 1463 ha con el 13.31%, Herbazal del Páramo con el 7.59 %, Bosque Siempreverde Montano del Norte y Arbustal Siempreverde Montano del Norte con el 7.47 % y el 4.73% respectivamente (Tabla 2).

Tabla 2. Tipos de formaciones vegetales presentes en la parroquia Angochagua

Ecosistema / Formaciones Vegetales	Superficie (Has)	Porcentaje (%)
Intervención	5578	50.74
Arbustal Siempreverde y Herbazal de Páramo	1771	16.11
Bosque siempreverde montano alto del Norte de la Cordillera Oriental de los Andes	1463	13.31
Herbazal de Páramo	834	7.59
Bosque siempreverde montano del Norte de la cordillera Oriental de los Andes	821	7.47
Arbustal siempreverde montano del norte de los Andes	520	4.73
Bosque siempreverde del Páramo	7	0.06
Total	10994	100

Fuente: PDOT (Gad Parroquial de Angochagua, 2015)

3.1.3 Vegetación representativa

La vegetación natural cubre el 38.13% de la superficie de la parroquia Angochagua, los cultivos de corta duración el 27.96%, la vegetación arbustiva el 27.09%, los pastos cultivados el 22.54% y el suelo erosionado el 16.01% (Rosero, 2016). Según GAD Parroquial de Angochagua (2015) se han registrado

aproximadamente 154 especies vegetales nativas dentro de las zonas de vida, tanto en bosques montanos como en el ecosistema de páramo y arbustales andinos (Tabla 3).

En los límites superiores, crecen arbustos erguidos de 2 y 3 metros; extensos pajonales formados de gramíneas perennes, que crecen en matas densas de menos de 50 cm de altura y tienen características de ahorro de agua en respuesta a la actividad desecante del viento (Cañadas, 1983). Las gramíneas predominantes corresponden a los géneros de *Festuca*, *Poa*, *Bromus*, *Calamagrostis*, *Stipa*, entre otras (Morocho y Romero, 2003).

Tabla 3. Especies vegetales nativas representativas de los ecosistemas

Formación Vegetal / Ecosistemas	Familia	Nombre Científico	Nombre Común
Herbazal del Páramo	Poaceae	<i>Calamagrostis effusa</i>	Pajonal
		<i>Calamagrostis intermedia</i>	
		<i>Calamagrostis recta</i>	
Arbustal Siempreverde del Páramo	Poaceae	<i>Cortaderia nitida</i>	Siksi
	Asteraceae	<i>Gynoxys miniphylla</i>	Tuschi
	Asteraceae	<i>Diplostephium hartwegii</i>	Romerillo
Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes	Rosaceae	<i>Polylepis racemosa</i>	Polylepis
	Fabaceae	<i>Lupinus pubescens</i>	chocho
	Coriariaceae	<i>Coriaria ruscifolia</i>	Shanshi
Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes	Araliaceae	<i>Oreopanax ecuadorensis</i>	Pumamaqui
	Siparunaceae	<i>Siparuna echinata</i>	Ashnayura
	Berberidaceae	<i>Berberis hallii</i>	Espino
	Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>	Rosa de monte
Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	Rubiaceae	<i>Palicourea amethystina</i>	Naranja negro
	Rosaceae	<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	Cerote
	Fabaceae	<i>Dalea coerulea</i>	Iso

Fuente: (Modificado de Jaramillo y Merchán, 2018)

Nota: Hasta la fecha presente, no se ha actualizado la lista de especies amenazadas, es posible que existan nuevas especies dentro la lista roja UICN-Ecuador.

3.2 Métodos

Para el trabajo de investigación, se establecieron métodos tomando en cuenta varios estudios de caso sobre los análisis de la vegetación, consistió en la elaboración de mapas temáticos de cobertura vegetal del período 1999-2021, la clasificación se utilizó para obtener los índices y métricas de formaciones vegetales. Cada objetivo se basó en la aplicación de la Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (Flores et al., 2020).

Mediante la clasificación, se determinaron los cambios históricos de la cubierta vegetal de la parroquia. Posteriormente, se pronosticó los cambios para el año 2043 utilizando el modelo de simulación de cadena de Márkov y se desarrolló la propuesta de conservación basados en la información obtenida. El diseño de la investigación es no experimental, y se dividen en las siguientes actividades u objetivos (Figura 6).

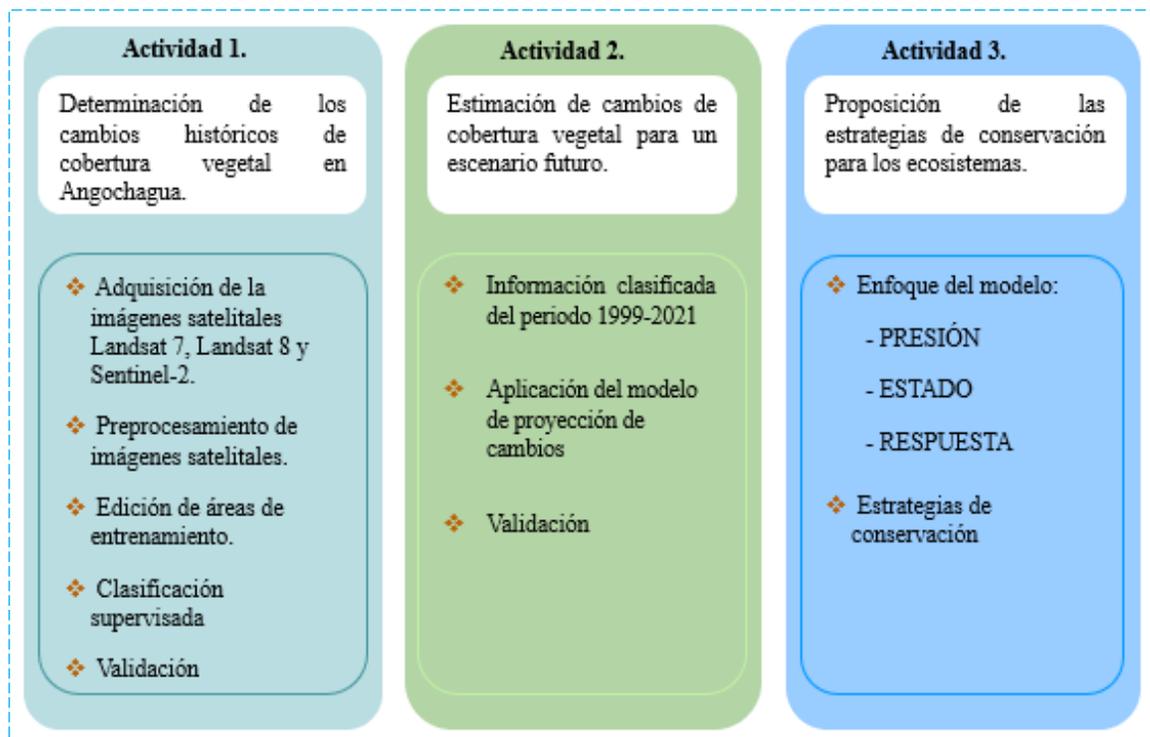


Figura 6. Diagrama de flujo de la metodología utilizada el área de estudio

3.2.1 Cambios históricos de la cobertura vegetal en la parroquia Angochagua

Para el primer objetivo se analizó los cambios de cobertura vegetal del período 1999-2021. Se aplicó el método de clasificación supervisada para identificar las categorías de vegetación, se verificó los cambios históricos que incidieron en la vegetación en los diferentes períodos.

3.2.1.1 Obtención de imágenes satelitales

Para las imágenes Landsat 7 y Landsat 8 se utilizó las bandas multiespectrales de 30 m, y 15 m de resolución para la banda pancromática. Para la imagen Sentinel 2A se utilizó las bandas multiespectrales de 10 m de resolución (Vaidya, 2018). Además, se consideró la nubosidad y la fecha correspondiente a los años 1999, 2015 y 2021. Para el año 1999, se utilizó el sensor Landsat 7 TM, C1 Level-1; del portal web del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, <https://earthexplorer.usgs.gov/>), para el año 2015 el sensor Landsat 8 ETM, C1 Level-1, y para el año 2021, el sensor Sentinel-2 MSI Level-2A; del portal web Copérnicus de la Agencia Espacial Europea [ESA, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>] (Tabla 4), (Flores et al., 2020).

Tabla 4. Imágenes satelitales, sensores y bandas que fueron utilizados

Insumo	Banda	Sensor	Rango (um)	Resolución (m)
Año 1999 Landsat 7	1	ETM	0.45 - 0.52	30
	2		0.52 - 0.60	30
	3		0.63 - 0.69	30
	4		0.76 - 0.90	30
	5		1.55 - 1.75	30
	6		10.4 - 12.5	60
	7		2.08 - 2.35	30
	8		0.50 - 0.90	15
Año 2015 Landsat 8	2	OLI	0.50 - 0.59	30
	3		0.61 - 0.68	30
	4		0.78 - 0.89	30
	5		1.58 - 1.75	20
	6		0.73 - 0.74	20
	7		0.77 - 0.79	20
	8		0.78 - 0.90	15

	2		0.45 – 0.52	10
	3		0.54 – 0.57	10
	4		0.65 – 0.68	10
Año 2021	5	MSI	0.69 – 0.71	20
Sentinel-2	6		0.73 – 0.74	20
	7		0.77 – 0.79	20
	8		0.78 – 0.90	10

Fuente: (Modificado de Flores et al., 2020)

3.2.1.2 Interpretación de imágenes

Para la elaboración de los mapas temáticos, se utilizó el software ArcGIS 10.8, donde se hizo la composición y corrección de las imágenes de forma, geométrica (Gilabert et al., 1997). Para la corrección geométrica se utilizó el sistema de proyección WGS 1984 UTM zona 17S.

Con el fin de aumentar la máxima resolución de las imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8, se implementó la técnica de refinado pancromático o pansharpening, el cual consistió en la fusión de imágenes, en la que se combina una banda pancromática con una imagen multiespectral de baja resolución, para lograr una mayor resolución espacial y conservar al mismo tiempo atributos espectrales específicos (Alvarado y Espinoza, 2016). Para este estudio, se combinó la banda pancromática de 15 m, con la imagen multiespectral de 30 m de resolución, el resultado fue una mejor apreciación de las categorías de estudio (Paula et al., 2018).

3.2.1.3 Identificación de las categorías de estudio

Para la identificación de las categorías de cobertura vegetal, se trabajó con la información del sistema de clasificación continental de los ecosistemas del Ecuador (MAE, 2013). Se consideró 6 categorías de estudio para la cobertura vegetal en la parroquia Angochagua, estas formaciones vegetales están distribuidas en la toda la parroquia, según el Sistema de Clasificación Regional de los Ecosistemas Continentales del Ecuador (Tabla 5) [Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAE, 2013)].

Tabla 5. Formaciones vegetales en la parroquia Angochagua

ID	Ecosistema / Formación Vegetal	Código
1	Herbazal del Páramo	HsSn02
2	Arbustal Siempreverde del Páramo	AsSn01
3	Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes	BsAn01
4	Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes	BsMn01
5	Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	AsMn01
6	Ecosistema Intervenido	Inter 01

Fuente: (Modificado de MAE, 2013)

3.2.1.4 Áreas de entrenamiento

Las áreas de entrenamiento fueron consideradas manualmente, en la cual se hizo un previo reconocimiento de la categorías de estudio, y se realizó un muestreo estratificado teniendo en cuenta la ubicación y distribución geográfica de las formaciones vegetales muestreadas, estos puntos de control se tomaron mediante la sobreposición de las coordenadas métricas en campo con puntos de georreferenciación con un Sistema de Posición Local LPS (Vilca, 2011), se consideró el tamaño de la muestra en las categorías de estudio para la validación de las respectivas clasificaciones supervisadas (Gilabert et al., 1997). Además, se registró al menos 15 puntos para cada categoría o tipos de cobertura vegetal, esto permitió la identificación de 6 formaciones vegetales en la parroquia Angochagua.

3.2.1.5 Clasificación de imágenes

Para la obtención de los tipos de cobertura vegetal, se utilizó el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad en el software ArcGIS 10.8, a través de áreas de entrenamiento. Este método de clasificación consistió en establecer áreas de entrenamiento para la identificación de las categorías de estudio o formaciones vegetales. Se empleó el algoritmo paramétrico que asume la distribución estadística gaussiana para las categorías identificadas (Figura 7) (López et al., 2002).

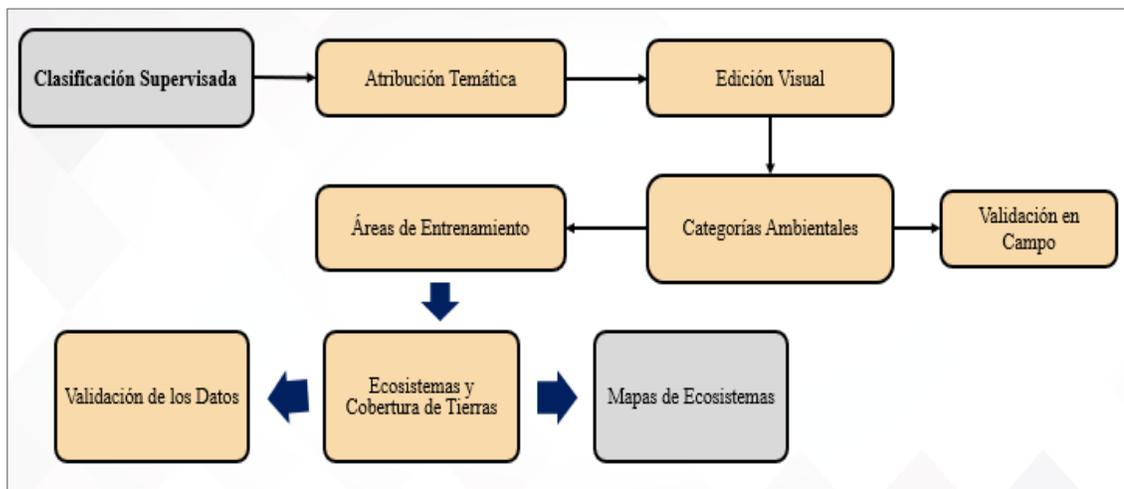


Figura 7. Procedimiento para realizar la clasificación supervisada

Fuente: (Modificado de López et al., 2002)

3.2.1.6 Elaboración cartográfica de cobertura vegetal período 1999-2021

La clasificación supervisada se realizó para los años 1999, 2005 y 2021, según López et al. (2002) el aprendizaje automático consiste en el reconocimiento previo de la zona de estudio, para delimitar áreas piloto mediante las firmas espectrales, este procedimiento los conoce como clasificación supervisada.

Para el periodo 1999-2021, se realizó la intersección de las clasificaciones de los años 1999 y 2021 respectivamente, y se procedió a la sobreposición de los polígonos clasificados. Resultando en las áreas de cambios que se produjeron durante el periodo de 22 años (Alvarado y Espinoza, 2016).

3.2.1.7 Validación de la clasificación

Para la validación la clasificación supervisada, se aplicó la matriz de contingencia, consistió en relacionar dos variables en el área de estudio: la superficie de referencia dada por el registro de puntos de control y las clases de cobertura vegetal (Rosero, 2017). Con este tipo de análisis, se adquirió no sólo una caracterización del error cometido, sino también una medida de la adecuación a la realidad de la

clasificación de la cobertura vegetal del año 2021, y de los criterios empleados para caracterizarla (Morales et al., 2016).

3.2.1.8 Matriz de contingencia

Para la validación del mapa de cobertura vegetal del año 2021, se utilizó la matriz de contingencia, que consistió en una tabulación cruzada en dos variables (datos de clasificación año 2021) y (Muestreo estratificado) (Sánchez, 2016). Donde; los datos de clasificación representan las categorías de la imagen clasificada actual, para el año 2021; y el muestreo representó los puntos de control tomados en campo, en total se registraron 102 puntos, que representó 6 categorías de la cobertura vegetal en la parroquia Angochagua (Tabla 6) (Guerreo, 2020).

Tabla 6. Matriz de contingencia para la validación de la cobertura vegetal año 2021

COBERTURA VEGETAL		Muestreo						Totales
		HsSn02	AsSn01	BsAs01	BsMn01	AsMn01	Inter01	
Clasificación Supervisada Año 2021	HsSn02	A1	B1	C1	D1	E1	F1	(A1:F1)
	AsSn01	A2	B2	C2	D2	E2	F2	(A2:F2)
	BsAs01	A3	B3	C3	D3	E3	F3	(A3:F3)
	BsMn01	A4	B4	C4	D4	E4	F4	(A4:F4)
	AsMn01	A5	B5	C5	D5	E5	F5	(A5:F5)
	Inter 01	A6	B6	C6	D6	E6	F6	(A6:F6)
	Totales	(P1:P6)	(B1:B6)	(C1:C6)	(D1:D6)	(E1:E6)	(F1:F6)	Muestra

Fuente: (Modificado de Sánchez, 2016)

3.2.1.9 Coeficiente de Kappa

El índice de Kappa permitió determinar qué tan cerca está la realidad con los datos obtenidos en campo y los resultados de la clasificación supervisada para la imagen más actual (Rosero, 2017). En este método se seleccionó puntos de control de la imagen clasificada, para determinar qué tan cerca está la realidad de la información

obtenida. El índice de Kappa determinó la exactitud de la clasificación de acuerdo con la siguiente escala (Tabla 7) (Guerrero, 2020).

Tabla 7. Valores de Índice Kappa

Rango	Concordancia
0	Nula
0.01-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Buena
0.81-1.00	Muy buena

Fuente: (Alvarado y Espinoza, 2016)

3.2.2 Estimación de la probabilidad de cambios de la cobertura para un escenario futuro

Se obtuvo la proyección de los cambios al año 2043, mediante las caracterizaciones de las categorías de los ecosistemas (Guevara, 2020). Se realizó la proyección al año 2043 mediante la aplicación del algoritmo de cadenas de Márkov (Ruiz et al., 2014).

3.2.2.1 Preparación de insumos

Para la obtención de un escenario futuro se realizó la estandarización de los ráster de categorías de los ecosistemas y se intersecó un escenario pasado con un actual (Camacho et al., 2015). Es importante tener en cuenta que las unidades de medidas de las dos coberturas de los ecosistemas deben tener los mismos atributos, y se procedió a transformar los datos (Aldas, 2013). Donde, se consideró lo siguiente:

- Columnas y filas
- Numero de bandas
- Tamaño de pixel
- Formato

- Tipo de pixel
- Fondo de pixel

3.2.2.2 Aplicación del algoritmo de simulación

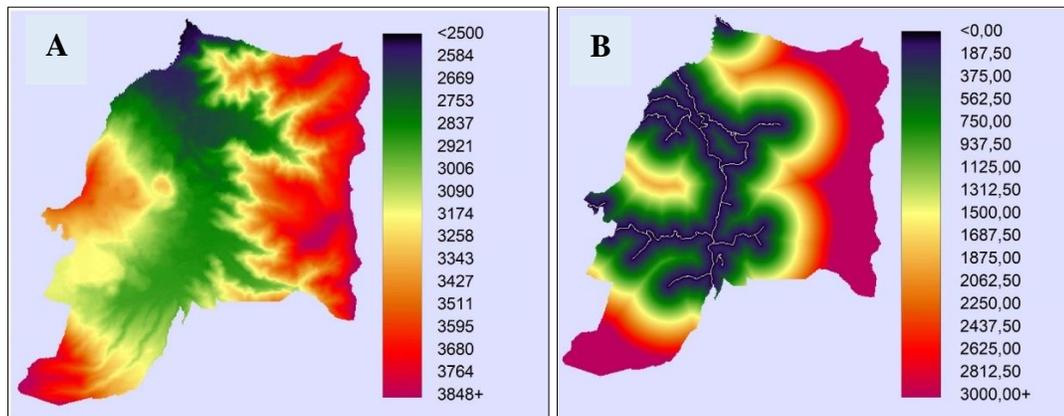
La simulación se lo hizo con los mapas de cambios de la cobertura vegetal. Se implementó el algoritmo cadenas de Márkov, la cual se enmarca la siguiente ecuación (Ramos et al., 2021).

$$\begin{bmatrix} P_{u1} & \dots & P_{un} \\ \dots & \dots & \dots \\ P_{in} & \dots & P_{in} \end{bmatrix} \quad P_{ij} \geq 0, \sum_{j=1}^n P_{ij} = 1, i=1, \dots, n \quad (1)$$

Donde, i= cobertura inicial, y j= cobertura final

3.2.2.3 Variables para el escenario de cobertura vegetal al año 2043

Para la obtención del modelo de proyección más preciso, se introdujeron cuatro criterios de transición, que determinaron la dinámica de los cambios en la cobertura vegetal para el año 2043. Las variables utilizadas fueron las siguientes (Figura 8) (Guevara, 2020).



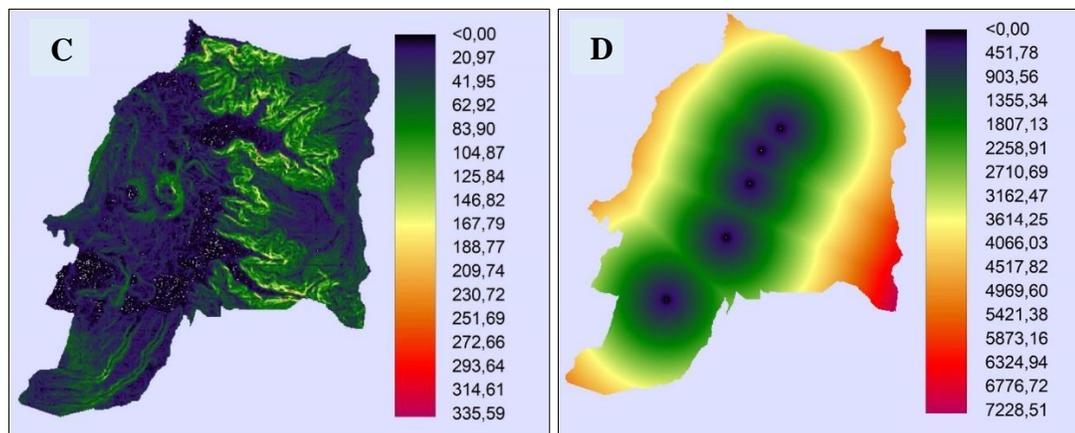


Figura 8. Variables para la simulación de los cambios de cobertura vegetal a) Modelo de Elevación Digital, b) Vías secundarias, c) Pendiente del terreno y d) Poblados

3.2.2.4 Aplicación del modelo de simulación del cambio de cobertura vegetal (LCM)

Para la elaboración de un escenario futuro se utilizó el componente Land Change Model (LCM), más el algoritmo de cadena de Márkov, a través, del software TerrSet (Guevara, 2020). Una vez que se obtuvo las dos coberturas, se realizó el procedimiento siguiente:

- a) Se cargó el primer mapa de cobertura de los ecosistemas del año 1999, en formato ASCII, y se categorizó de forma manual los ecosistemas.
- b) Se cargó el segundo mapa de cobertura vegetal del año 2021.
- c) Se elaboró las tendencias de cambio de cada categoría, para que no se altere el modelo.
- d) Se realizó el modelo de transición enfocado a las áreas de disturbio.
- e) Se incorporó variables de transición, y se realizó la prueba Cramer, para las cuatro variables.
- f) Se trabajó con el algoritmo de cadenas de Márkov, con los rásteres proyectados para la obtención de la simulación del escenario al año 2043.

- g) Finalmente, se obtuvo la proyección al año 2043 y se procedió a la respectiva validación.

3.2.2.5 Validación de la proyección

La proyección de la cobertura vegetal del año 2043 se validó mediante la matriz de contingencia, para este caso se optó con los muestreos registrados en campo y la calificación de la imagen del año 2043 (Guerrero, 2020). Se realizó una intersección y se verificó, si los puntos coinciden con las categorías de estudio (Guevara, 2020). Para afirmar la eficacia y la concordancia de la validación, se aplicó el índice de kappa, y se registró un valor aceptable.

3.2.2.6 Aplicación del índice de tasa de deforestación

Se analizó la tasa de cambio anual de cobertura vegetal para los periodos 1999-2021 y 2021-2043. Se realizó una comparación en los dos periodos y se verificó, la conversión y transformación de ecosistemas a zonas de intervención. Además, se realizó una comparación de tasa anual de la deforestación con la ecuación empleada por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 1996).

$$S = \left[\left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{\frac{1}{n-1}} - 1 \right] * 100 \quad (2)$$

Donde:

S = tasa de cambio (%)

S1= Superficie del mapa fecha 1

S2= Superficie del mapa fecha 2

n= Número de años entre ambas fechas.

3.2.3 Estrategias de conservación para los ecosistemas en la parroquia Angochagua

3.2.3.1 Aplicación del modelo (PER)

Se propuso las estrategias de conservación, con base en el modelo (PER) Presión – Estado – Respuesta, el cual fue utilizado para resolver y dar soluciones al problema formulado en este estudio (Guevara, 2020). El modelo PER se encargó de la organización sencilla de la información, evaluando los factores de cambio y su presión sobre los ecosistemas y los recursos naturales, mismas que incidieron en los cambios efectuados en el periodo 1999-2021. Además, Se elaboró la propuesta de plan estratégico de restauración de los ecosistemas con el fin de recuperar las formaciones vegetales, fomentando la conservación del patrimonio natural en la parroquia Angochagua (Osasuna et al., 2015). El método (PER) constó de las siguientes partes:

- **Presión:** se describió las presiones ejercidas entre el ser humano y ambiente, a través de actividades productivas las cuales afectan principalmente a los ecosistemas, para este caso serían los cambios de cobertura vegetal ocurridos en el periodo 1999-2021. (Pandía, 2015).
- **Estado:** se estableció el estado actual en que se encuentra los ecosistemas en la parroquia Angochagua. Para ello, se acogió a los criterios analíticos del mapa de la cobertura vegetal del año 2021 (Minda, 2015).
- **Respuesta:** se elaboró las estrategias, para la conservación de los ecosistemas, con base en el mapa temático de estrategias de conservación (Vilca et al., 2018).

3.2.3.2 Estrategias de conservación

Las estrategias fueron propuestas para las 6 categorías de estudio en la parroquia Angochagua, se consideró las técnicas de restauración, rehabilitación, revegetación y prácticas agroforestales (Salas y Valenzuela, 2011). Se precedió a

sectorizar los ecosistemas para la aplicación de las estrategias de conservación de forma siguiente:

- **Sector páramo:** abraza dos ecosistemas, herbazal del páramo y arbustal siempreverde del páramo
- **Sector cordillera oriental norte:** abraza dos ecosistemas, bosque siempreverde montano alto de la cordillera oriental de los andes y bosque siempreverde montano de la cordillera oriental de los andes.
- **Sector arbustal andino:** abarca un ecosistema, arbustal siempreverde del páramo.
- **Zonas de intervención:** áreas definidas para cultivos entre otras.

3.3 Materiales y equipos

Se utilizó varios instrumentos y softwares para el análisis de los cambios de las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua (Tabla 8)

Tabla 8. Tabla de materiales

Materiales	Equipos	Software
Cartografía	Navegador GPS	ArcGIS 10.8
Imágenes satelitales Landsat 7 y 8	Computadora portátil	TerrSet 5,3
Sentinel 2A	Cámara fotográfica	Office Excel
Ortofotos		
Libreta de Campo		

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Cambios de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua

4.1.1 Identificación de las formaciones vegetales

Según el Sistema de Clasificación de ecosistemas para el Ecuador Continental establecido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, la parroquia Angochagua cuenta con 6 categorías de cobertura vegetal, llamadas también formaciones vegetales o ecosistemas que se diferencian en el período de estudio 1999, 2015 y 2021 (Tabla 9).

Tabla 9. Tipos de cobertura vegetal en la parroquia Angochagua

Código	Formación Vegetal / Ecosistema
HsSn02	Herbazal del Páramo
AsSn01	Arbustal Siempreverde del Páramo
BsAn01	Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes
BsMn01	Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes
AsMn01	Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes
Inter01	Intervención

Fuente: (Modificado de MAE, 2013)

4.1.2 Clasificación supervisada

Según las tres clasificaciones supervisadas, las superficies de los ecosistemas variaron en los diferentes períodos de estudio, demostrando que, evidentemente existieron cambios de cobertura vegetal. Los datos obtenidos de las clasificaciones fueron distribuidos en tres períodos de: 1999-2015, 2015-2021 y 1999-2021. Este último período posee una interfaz de tiempo de 22 años, el cual presentó cambios de vegetación entre ganancias y pérdidas en los ecosistemas (Figura 9).

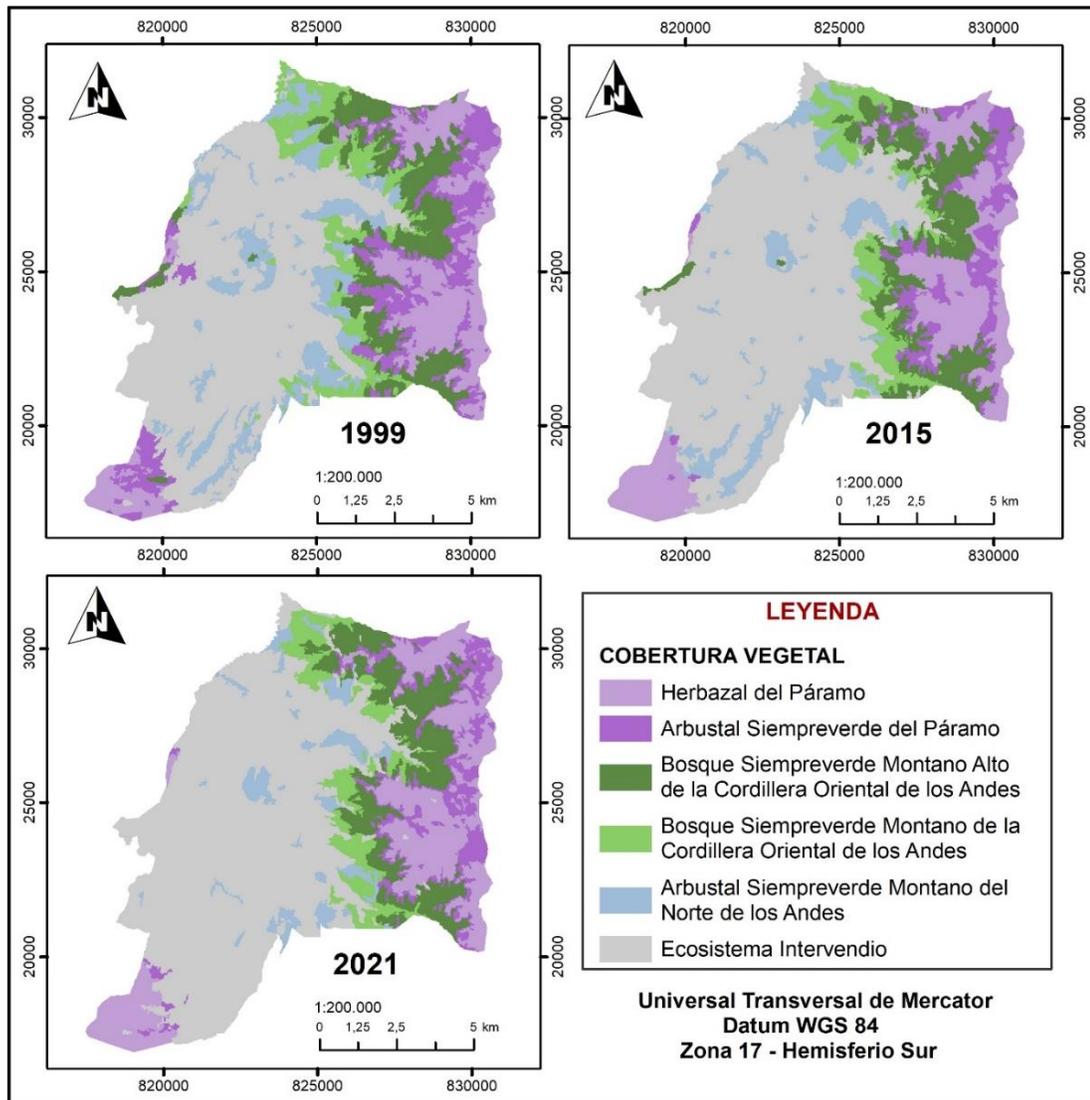


Figura 9. Variación espacial y temporal de los ecosistemas en la parroquia Angochagua

Para el año de 1999, las superficies de los ecosistemas fueron los siguientes: Herbazal del Páramo ocupó una extensión de 1671.08 (has); equivalente al 14.2%, Arbustal Siempreverde del Páramo 1334.45 (has); con el 11.3%, Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental 1422.91 (has); con el 12.1%, Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental 943.04 (has); con el 8.1%, Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes 1273.67 (has); con el

10.7%, y la superficie de Intervención ocupó 5119.01 (has); que corresponde al 43.5% de extensión en la parroquia (Tabla 10).

Para el año de 2015, las superficies de Intervención y el ecosistema Herbazal del Páramo aumentaron significativamente a 5941.78 (has); con el 50.5% y 1885.33 (has); con el 16.1%. Además, disminuyó sustancialmente el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes a 964.11 (has); con el 8.2% (Tabla 10). Ya para el año 2021, las áreas de mayores cambios fueron: las superficies de Intervención y Herbazal del Páramo, que pasaron a ocupar 6273.11 (has); con el 53.3%, y 1937.55 (has); con el 16.4%. En comparación con la disminución del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte que paso a 559.19 (has); con el 4.7% (Tabla 10).

En los tres años que se realizó la clasificación supervisada se verificó, que durante el periodo 1999-2021, los ecosistemas denotaron mayores cambios de la vegetación. Las superficies de Intervención y Herbazal del Páramo aumentaron 1154.1 (has) y 266.47 (has). Sin embargo, el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes redujo 714.48 (has), evidenciando el crecimiento de las actividades antrópicas y los cambios en la vegetación en la parroquia (Tabla 10).

Tabla 10. Ecosistemas en los años 2000-2015-2021 en la parroquia Anochagua

Ecosistema	Año 1999		Año 2015		Año 2021		Ganancia / Pérdida
	(has)	%	(has)	%	(has)	%	
Herbazal del Páramo	1671.08	14.2	1885.33	16.0	1937.55	16.4	+ 266.47
Arbustal Siempreverde del Páramo	1334.45	11.3	826.61	7.0	853.57	7.2	- 480.88
Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes	1422.91	12.1	1384.17	11.7	1378.59	11.7	- 44.32
Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes	943.04	8.1	762.19	6.4	761.43	6.4	- 181.61
Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	1273.67	10.7	964.11	8.2	559.19	4.7	- 714.48
Intervención	5119.01	43.5	5941.78	50.5	6273.11	53.3	+ 1154.1
Total	11764.16	100	11764.19	100	11763.45	100	

4.1.3 Matriz de confusión para la cobertura vegetal del año 2021

Según los puntos de control registrados en campo y la clasificación supervisada de la cobertura vegetal del año 2021, indicó una fuerza de concordancia de 0.73, y el coeficiente de Kappa fue de 0.67, lo cual indica una validación, equivalente a buena (Tabla 11).

Tabla 11. Matriz de contingencia de cobertura vegetal del año 2021

Formación Vegetal		Muestreo					Totales	
		HsSn02	AsSn01	BsAn01	BsMn01	AsMn01		Inter01
Clasificación 2021	HsSn02	17	4	0	0	0	0	21
	AsSn01	1	9	0	0	0	0	10
	BsAn01	0	2	18	7	0	0	27
	BsMn01	0	0	0	11	2	0	13
	AsMn01	0	0	0	0	7	1	8
	Inter01	0	3	0	0	8	12	23
	Total	18	18	18	18	17	13	102
Concordancia	0.73		Co.	0.67				
			Kappa					

4.1.4 Cambios de cobertura vegetal en el período 1999-2021

Los cambios efectuados en el período 1999-2021, constataron la dinámica espacial y temporal de los ecosistemas, al presentar mayor periodicidad de cambios en torno al crecimiento y el decrecimiento de los cinco ecosistemas. Y se demostró, que efectivamente 3359.17 (has) de superficie de cobertura vegetal, si presentaron cambios, y 8391.58 (has), no presentaron cambios en la superficie vegetal (Figura 10).

De acuerdo con el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra del año 2019, estos cambios en la cobertura vegetal de los ecosistemas se deben principalmente a la sustitución de cultivos, provocando el avance de la frontera agrícola; la deforestación y el sobrepastoreo. Sobre esta base, se ha evidenciado la pérdida superficial de la vegetación de cuatro ecosistemas, mientras que, en el sector del

páramo se incrementó el ecosistema Herbazal del Páramo, debido a ciertas clases de proyectos de restauración y protección (GAD Parroquial de Angochagua, 2015).

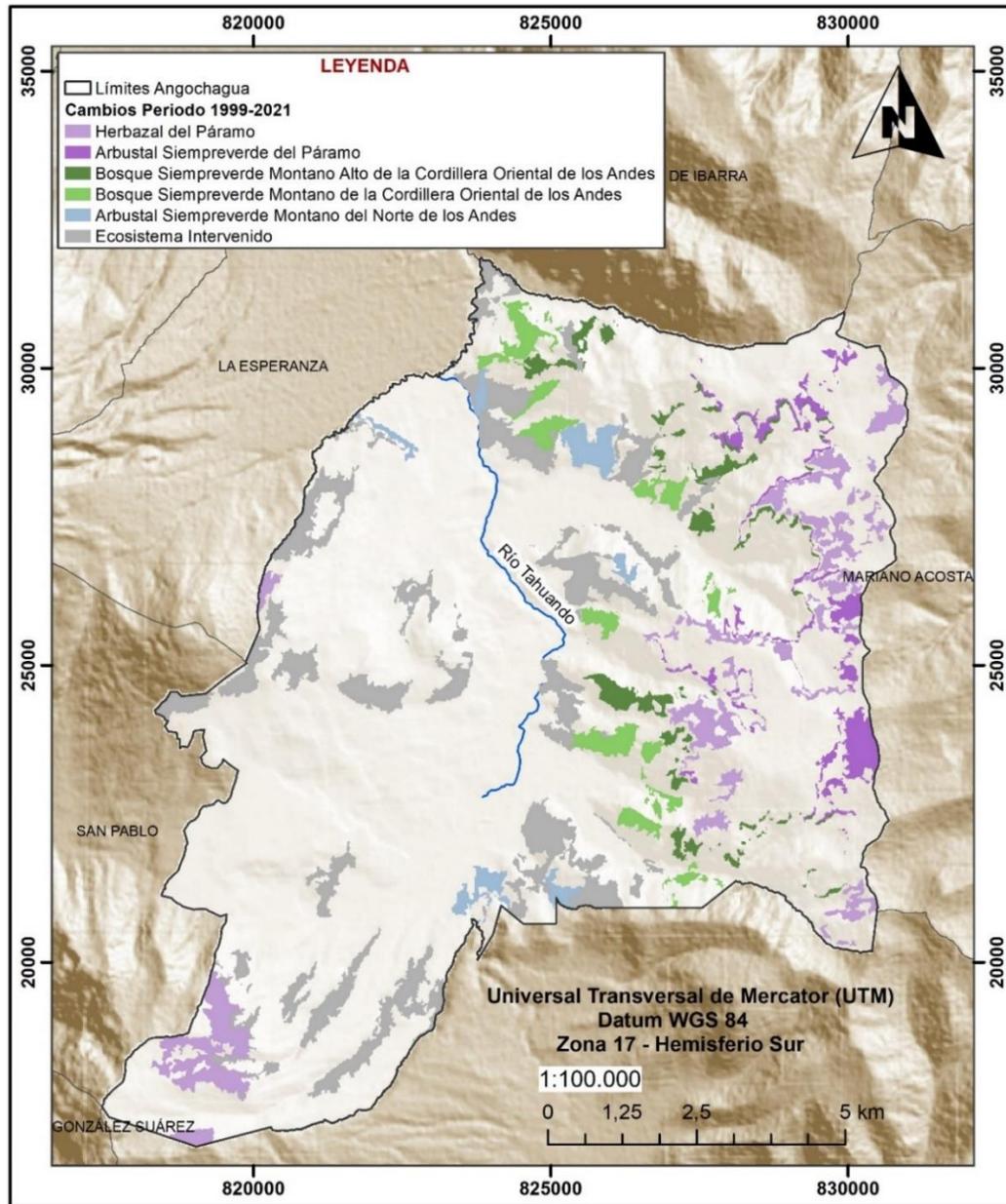


Figura 10. Cambios significativos para el periodo 1999-2021

Los cambios significativos en el periodo 1999-2021, se categorizaron en cuatro sectores: páramo, cordillera oriental norte, arbustal andino e intervención, según el sistema de clasificación regional de los ecosistemas continentales del Ecuador,

dispuesto por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Tabla 12). Desde este punto de vista, existieron 18 cambios significativos mayores a 10 (has), destacando que la zonas de intervención, registraron las áreas más extensas. De las cuales fueron los siguientes:

Para el año 2021, sector del páramo en el ecosistema Arbustal Siempreverde del Páramo pasó a ser Herbazal del Páramo ocupando un área de 464.76 (has); sector cordillera oriental norte, el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes pasó a ser Bosque Siempreverde de la Cordillera Oriental de los Andes ocupando 153.07 (has); sector arbustal andino, la superficie de intervención pasó a ser Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes con 65.33 (has). Finalmente la superficie de intervención denotó mayor cambio, el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes, pasó a ser zona de intervención ocupando 627.44 (has) del territorio (Tabla 12).

De tal forma que, el sector páramo presentó una superficie total de 663.24 (has), el sector de la cordillera oriental norte presentó 414.69 (has), el sector de arbustal andino presentó 138.72 (has), y la superficie de intervención presentó cambios significativos en 1052.86 (has). Desde mi manera de ver, las superficies de los ecosistemas fueron ocupadas para uso agrícola, ganaderos y maderables. Con base en el estudio realizado por Jaramillo y Merchán en (2018), sobre la “evaluación de las zonas de recarga de agua de la parroquia de Angochagua”, mencionan que la problemática acaece en las zonas de recarga hídrica, debido al deterioro, la contaminación, la reducción y disponibilidad del recurso agua, que nacen en las partes altas de los ecosistemas arbustal y herbazal del páramo, áreas de difícil acceso y que han sido dedicadas a la protección y conservación. Sin embargo, los disturbios de la expansión no controlada, se han enmarcado en estas formaciones vegetales y su relación con los datos de este estudio, al crecimiento de las áreas de intervención en aproximadamente 1052 hectáreas.

Tabla 12. Cambios de cobertura vegetal en los ecosistemas

Sectores	Cambios de Cobertura Vegetal en Ecosistemas		Codigo	Área (Has)
	1999	2021		
Páramo	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	-Arbustal Siempreverde del Páramo	AsSn01	27.38
	-Herbazal del Páramo	-Arbustal Siempreverde del Páramo	AsSn01	171.1
	-Arbustal Siempreverde del Páramo	-Herbazal del Páramo	HsSn02	464.76
Cordillera oriental norte	-Arbustal Siempreverde del Páramo	-Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	BsMn01	18.08
	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	BsAn01	25.59
	-Herbazal del Páramo	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	BsAn01	27.15
	-Bosque siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	BsAn01	58.99
	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	-Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	BsMn01	61.51
	-Arbustal Siempreverde del Páramo	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	BsAn01	70.3
Matorral andino	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	-Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	BsMn01	153.07
	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	AsMn01	17.05
	-Ecosistema Intervenido	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	AsMn01	56.34
Intervención	-Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	AsMn01	65.33
	-Herbazal del Páramo	-Ecosistema Intervenido	Inter01	21.62
	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	-Ecosistema Intervenido	Inter01	62.94
	Arbustal Siempreverde del Páramo	-Ecosistema Intervenido	Inter01	71.9
	Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental	-Ecosistema Intervenido	Inter01	268.96
	Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	-Ecosistema Intervenido	Inter01	627.44

Las comunidades tienen un rol importante en la protección y conservación de las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua, aún existe falta de interés en el patrimonio natural, la expansión de tierras ha conllevado a frecuentes incendios en los pajonales (Burbano y Rivera, 2022). Así como los datos registrados por Burbano y Rivera (2022), este estudio se enmarca en la pérdida de vegetación del ecosistema Arbustal Siempreverde del Páramo, el cual indica cambios en aproximadamente 480.88 (has) entre 1999 y 2021, la estrecha relación entre ecosistemas y ser humano a causado decrecimiento de este ecosistema. Al par Rosero (2016), en el estudio del bosque protector Zuleta, menciona que se obtuvieron resultados comparables a partir del análisis de la cubierta vegetal entre 1991 y 2017, destacando la disminución de la vegetación arbustiva en 995.6 (has). Con este estudio se indica que, las necesidades económicas y el aumento de la productividad conllevan a buscar espacios para desarrollar actividades antrópicas dando como resultado la disminución de la superficie de la cobertura vegetal de los ecosistemas.

Según Aldás (2013), en su estudio sobre la “variación de la cobertura vegetal y estado del cerro Imbabura” indicó que hubo la reducción de 47.22% en bosques naturales y de 27.05% del pajonal. De acuerdo con este registro, hace reflexionar sobre la rapidez y la manera acelerada con la que se perturban las formaciones vegetales en la provincia de Imbabura, sobre todo en la partes altas de las cordillera oriental, justamente donde se encuentran ecosistemas frágiles como: Herbazal del Páramo y Arbustal Siempreverde del Páramo.

Guamán y Rodas (2022), mencionan los cambios de cobertura vegetal suscitados en los periodo 2000-2020, en la cuenca del río Tahuando y demuestran un incremento de los cultivos y pastos ocasionando un decrecimiento de la vegetación arbustiva, pasando de 23.79% en el 2000 al 9.58 % en el 2020. Esto evidencia el decrecimiento constante del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes en lapso de 22 años, asimilando los datos registrados en este estudio con un decrecimiento aproximado del 10.7% en 1999 al 4.7% en el 2021.

Carlosama y Granda (2022), mencionan los principales problemas que afectan a las vertientes hídricas y el estado de conservación de las formaciones vegetales, que son alteradas por las actividades agrícolas y pecuarias, y el crecimiento demográfico en algunos sectores en la parroquia Angochagua. Con base en este análisis se puede dar similitud en contexto, ya que las fuentes hídricas están directamente relacionadas con las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua, evidenciando los resultados registrados en este estudio del crecimiento de la intervención en un 5.3 % durante el periodo 1999-2021.

4.2 Proyección del cambio de cobertura vegetal para el año 2043

Los resultados obtenidos de la proyección al año 2043, indicaron una perspectiva de aumento de la superficie de intervención en 6866.77 (has) con el 58.6%, así como, la disminución de los ecosistemas, Arbustal Siempreverde Montano del Norte a 389.35 (has) con el 3.3% y el Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes a 568.85 (has) con el 4.8 % (Figura 11).

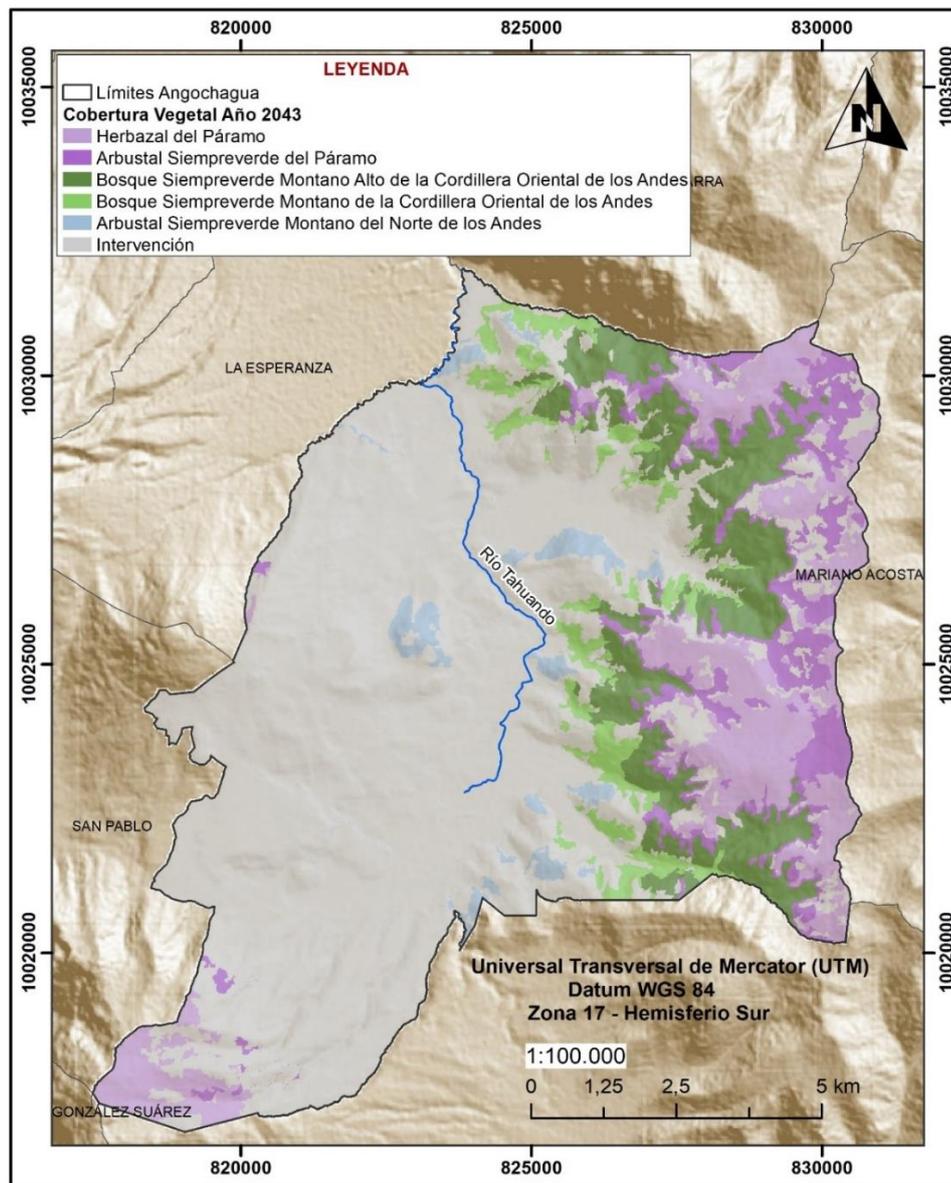


Figura 11. Proyección del cambio de cobertura vegetal para el año 2043

Se evidenciaron disminuciones de los ecosistemas Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de la Andes en 192.58 (has) y Arbustal

Siempreverde Montano del Norte de los Andes en 169.84 (has) (Tabla 13). Las principales razones podrían deberse al aumento de la frontera agrícola y pecuaria en algunas comunidades (Tabla 13).

Tabla 13. Cambio de cobertura vegetal en el periodo 2021-2043

Ecosistema	Código	Año 2021		Año 2043		Ganancia / Pérdida
		(has)	%	(has)	%	
Herbazal del Páramo	HsSn02	1937.55	16.4	1920.25	16.4	- 17.3
Arbustal Siempreverde del Páramo	AsMn01	853.57	7.2	699.36	5.9	- 154.21
Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes	BsAs01	1378.59	11.7	1268.6	10.8	- 109.99
Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes	BsMn01	761.43	6.4	568.85	4.8	-192.58
Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	AsMn01	559.19	4.7	389.35	3.3	-169.84
Intervención	Inter01	6273.11	53.3	6866.77	58.6	+593.66
Total		11764.19	100	11763.45	100	

Los resultados simulados para el año 2043 basados en el modelo de Márkov indicaron que el porcentaje de área de tierra intervenida en las superficies vegetativas en los ecosistemas aumentó un 5.3% en comparación al periodo 2021, esto quiere decir que el área de intervención en una prospectiva de 22 años se incrementará en 593.66 (has) (Figura 12) .

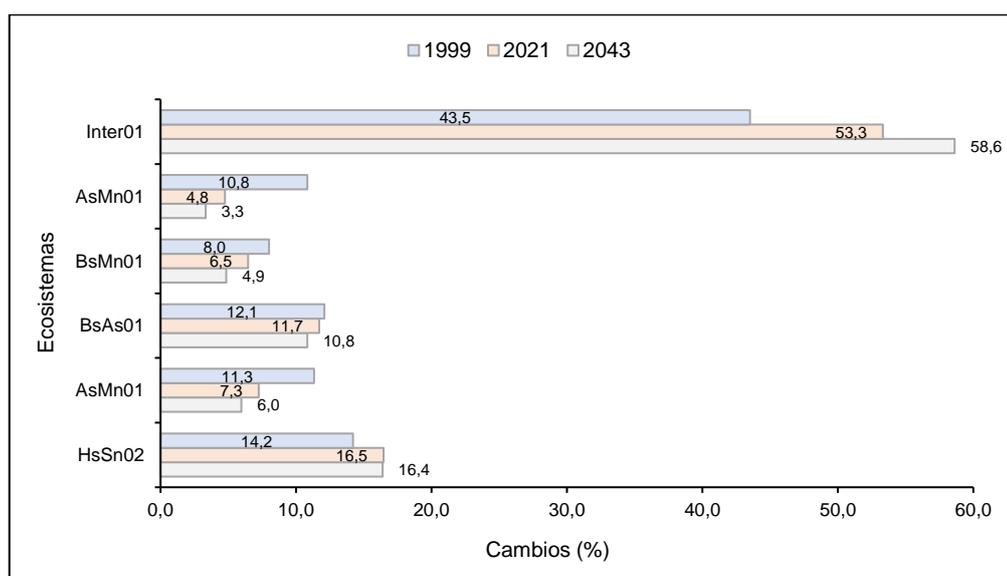


Figura 12. Comparación de cambios de cobertura vegetal de los ecosistemas

4.2.1 Tasa anual de la deforestación de los ecosistemas 1999-2043

La tasa anual de la deforestación de los ecosistemas demostró que hubo mayor disminución de las coberturas en el periodo 1999-2021, considerando su pico mas bajo en el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte con el 3.67 %, y un pico alto de la superficie de Intervención con el 0.93%. En cuanto al periodo de 2021-2043 los valores tienden a estabilizarse, aunque, el pico más bajo se registró en el ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes con el 1.63%, y el pico más alto en la Superficie de Intervención con el 0.41%. De tal forma que los ecosistemas siguen los patrones de crecimiento, equilibrio o decrecimiento dependiendo en donde se localizan los ecosistemas y los disturbios que estén expuestos (Figura 13).

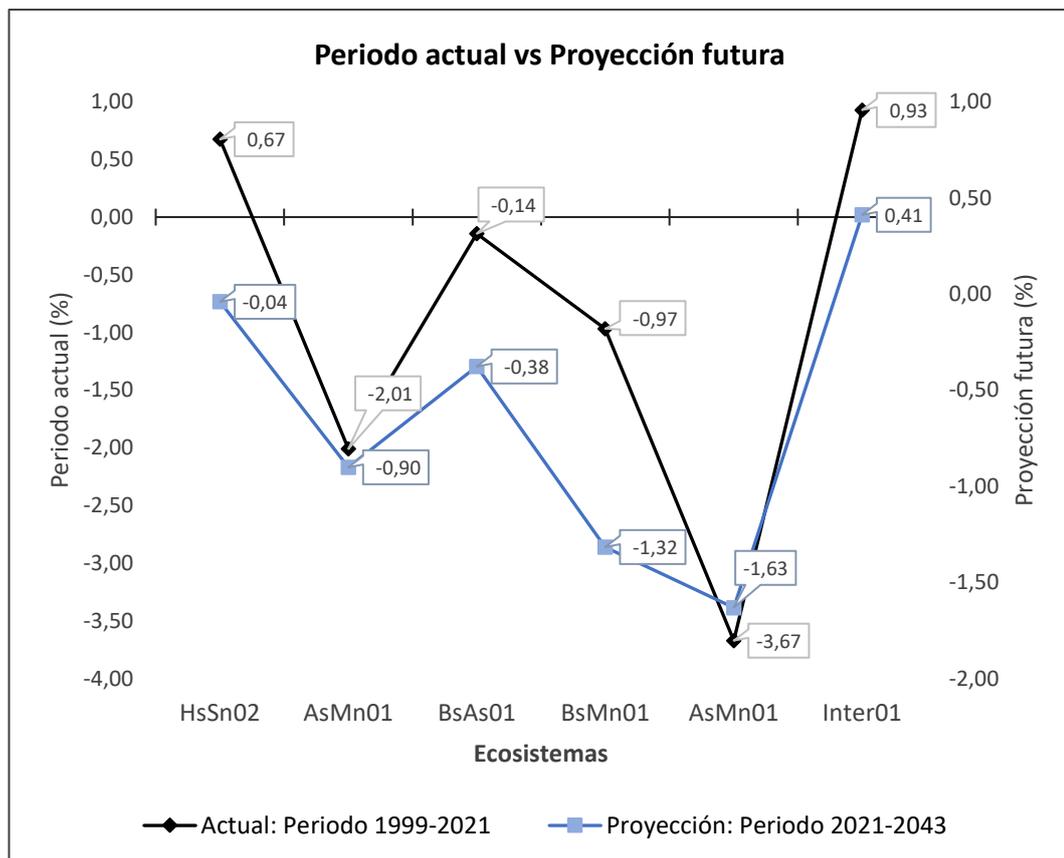


Figura 13. Tasa anual de la deforestación de cobertura vegetal entre los periodos actual y proyección futura

4.2.2 Cambios de cobertura vegetal en el periodo 2021-2043

Para el año 2043, se registraron cambios en 1082.95 (has), una disminución significativa en comparación al año 2021. Además, se apreció que el área de intervención fue la única que concentró un leve incremento en la superficie territorial, y los demás ecosistemas disminuyeron tendencialmente a la baja. En cuanto a las transiciones de los ecosistemas, se notó cambios graduales en la superficie de dos ecosistemas que pierden cobertura a partir de zonas de sustitución (Figura 14).

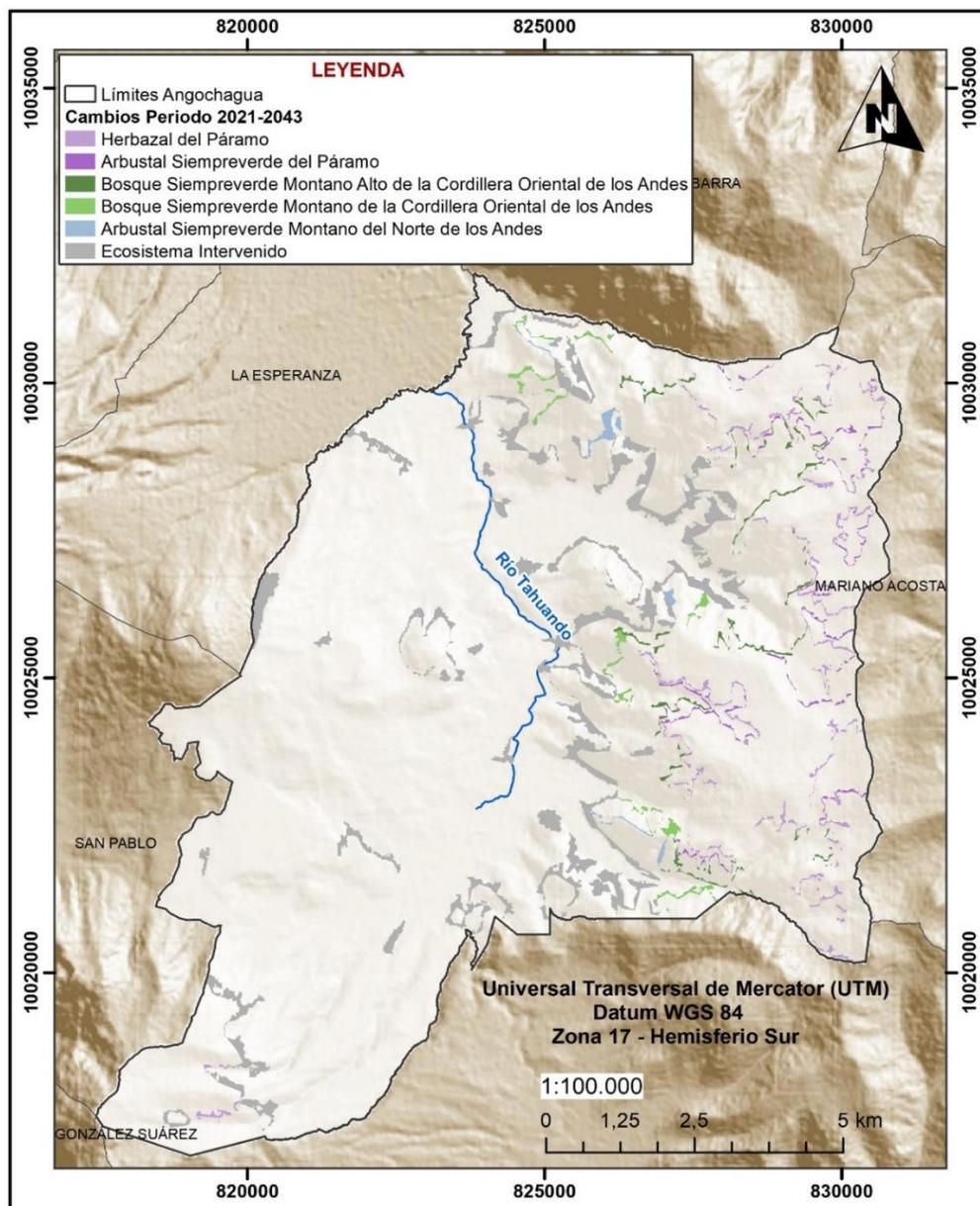


Figura 14. Cambios significativos en el periodo 2021-2043

Las conversiones se registraron en los ecosistemas de Arbustal Siempreverde del Páramo, Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes y Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes. Simultáneamente, se identificó una leve disminución del ecosistema Herbazal del Páramo, áreas que fueron ocupadas por la fragmentos de intervención. La superficies de vegetación en los ecosistemas disminuyeron tendencialmente debido a la erosión y malas prácticas agrícolas, sin embargo, el ecosistema de bosque Montano Alto no presenta cambios significativos, con base en que, se encuentra situados en terrenos empinados imposibilitando el uso agrícola (Rosero, 2017).

4.2.3 Validación de la proyección año 2043

Según los puntos de control y la proyección al año 2043 reflejó una concordancia de 0.69 equivalente al 69% de precisión y el coeficiente de Kappa 0.63, equivalente a buena (Tabla 14).

Tabla 14. Validación de la cobertura vegetal en la proyección año 2043

Formación Vegetal	Muestreo						Totales
	HsSn02	AsSn01	BsAn01	BsMn01	AsMn01	Inter01	
HsSn02	17	5	0	0	0	0	22
AsSn01	1	8	0	0	0	0	9
BsAn01	0	2	16	7	0	0	23
BsMn01	0	0	1	11	2	0	13
AsMn01	0	0	0	0	6	1	6
Inter01	0	3	1	2	10	12	28
Total	18	18	18	18	17	12	101
Concordancia	0.69		Co.	0.63			
			Kappa				

Para el año 2043, la cobertura vegetal en la parroquia angochagua se modificó en aproximadamente 593.66 (has) entre los cambios negativos fueron el aumento de las áreas de intervención. Los cambios positivos fueron en revegetación y sucesión en el sector páramo. A la par, Palomeque et al. (2016) en su estudio de modelos geomáticos en las zonas costeras de México indicó una proyección en la

región de Tabasco, evidenciando que para el año 2000, el 45.3% de la costa de Tabasco lo ocupaban los humedales, en tanto los barbechos, les correspondía el 2.66%. Para el año 2034, la prospectiva en la reducción de los humedales fue en 38.9% y el aumento del barbecho en 3.55% . Con base en este estudio, la zonas agrícola en la parroquia Angochagua ocuparan un incremento del 5.3%, para el año 2043, y se prevé el incremento de los parches, por las actividades antrópicas como: la deforestación, donde coincidió con el aumento de la superficie de intervención.

De acuerdo con Rosero (2017), en su estudio "Análisis multitemporal del uso del suelo y la cubierta vegetal en la cuenca del río Tahuando y predicción de cambios hasta el año 2031", registró que la zona antrópica pasará del 46% al 58%, para el año 2031, producto de las actividades agrícolas de sobrepastoreo en la franjas de la cuenca media del río Tahuando. Para entender los cambios que experimentará la parroquia Angochagua, es útil esta comparación, con estudios de proyección similares. La proyección de la cobertura vegetal al año 2043, registrará que en los próximos 22 años la pérdida de vegetación nativa en los cinco ecosistemas, que variará entre 0.01% al 1.6%. Con base en los datos registrados en esta proyección, la cobertura vegetal tendrá cambios positivos y negativos. Estos resultados se ven reflejados en la tasa de la deforestación anual entre el periodo actual y la proyección futura.

De acuerdo con Guevara (2020), en su análisis tendencial de cambios de uso de suelo en la cuenca del río Mira, para el año 2037, registrará un aumento del 26% de las zonas urbanas, desplazando áreas vegetales de pastos y cultivos. En relación con este estudio, la proyección que se verá en los próximos 22 años, se estima que los cinco ecosistemas presentaran un decrecimiento constante, sobre todo en los ecosistemas Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes y Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes en aproximadamente 1.6% y 1.4 %. Con base en la proyección de estos dos ecosistemas, sus decrecimientos se perpetuaran, debido a que se encuentran cerca de las áreas de influencia directa antrópica.

4.3 Estrategias de conservación para los tipos de formaciones vegetales en la parroquia Angochagua

Las estrategias de conservación se propusieron con base en la sectorización de los ecosistemas, de tal forma se propuso cuatro estrategias de conservación para la cobertura vegetal en la parroquia Angochagua, de las cuales tienen como base primordial precautelar los servicios ambientales de los cinco ecosistemas que se hallan en Angochagua (Figura 15).

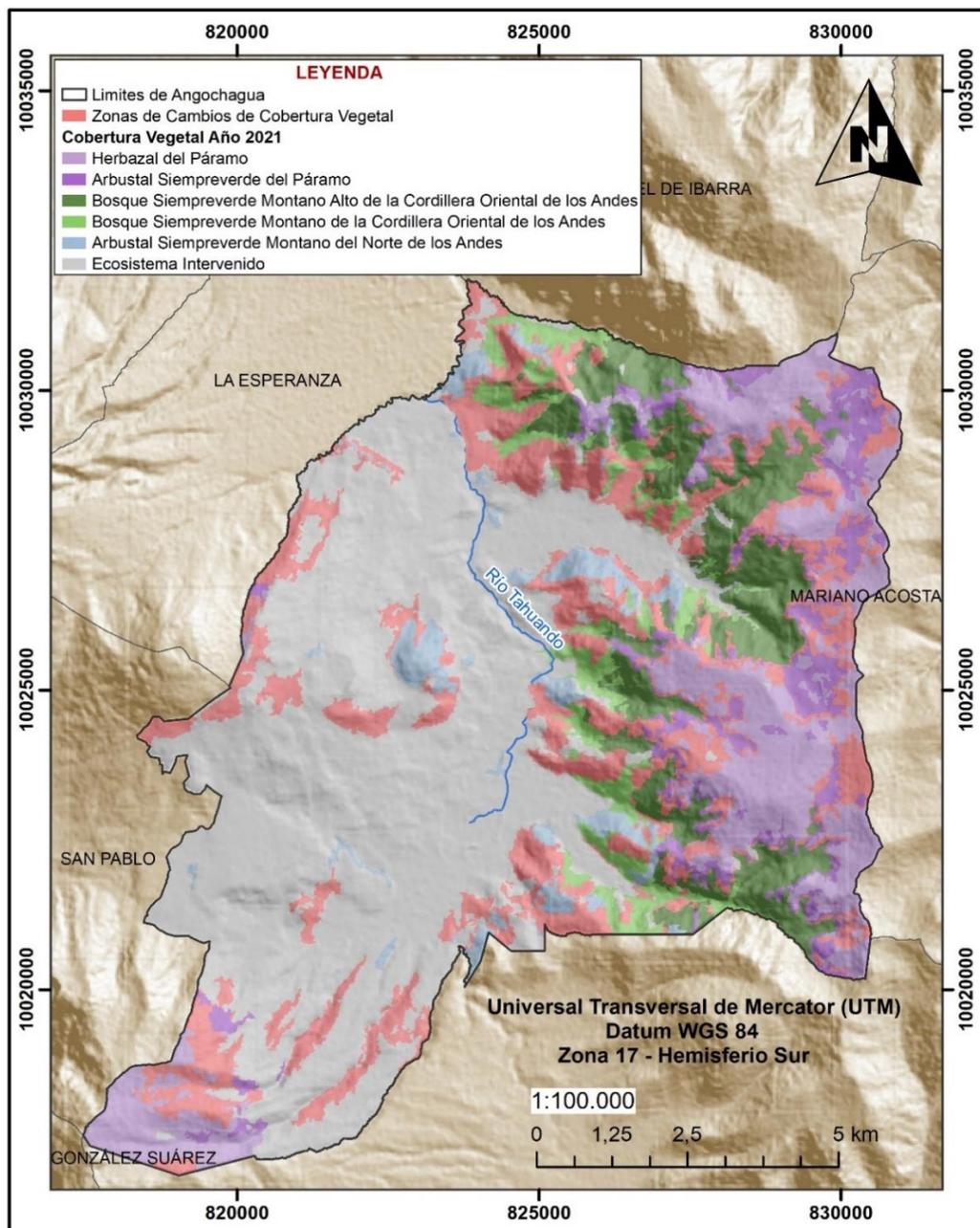


Figura 15. Cambios de cobertura vegetal en el año 2021

Se identificaron los sectores con los cambios de cobertura vegetal, se propuso estrategias para su restauración, especialmente en áreas naturales sin modificación o con potencial de cambio (Figura 16). Para sustentar las estrategias propuestas, se tomó en cuenta los distintos cuerpos legales nacionales vigentes, tales como: Código Orgánico del Ambiente, y el Plan de Manejo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra.

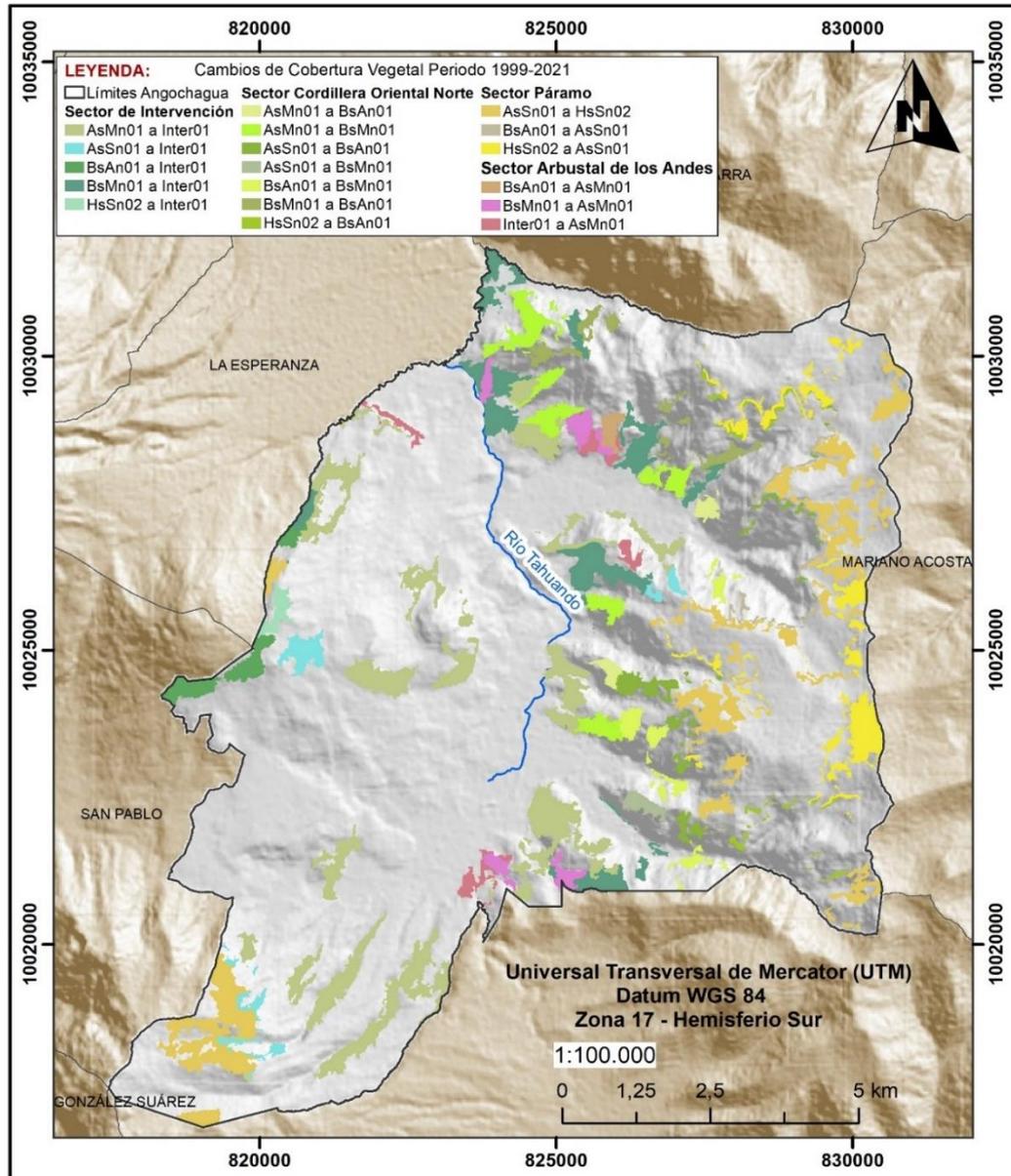


Figura 16. Cambios de cobertura vegetal de los ecosistemas en el periodo 1999-2021

Las cuatro estrategias de conservación, fueron distribuidas por sectores en la superficie de la parroquia Angochagua y se describió que la mayoría de los cambios provocaron la disminución de la vegetación, así pues, las estrategias fueron propuestas para resolver problemas como la deforestación y degradación de las formaciones vegetales registradas en el zonas cercanas a los procesos antrópicos (Figura 17).

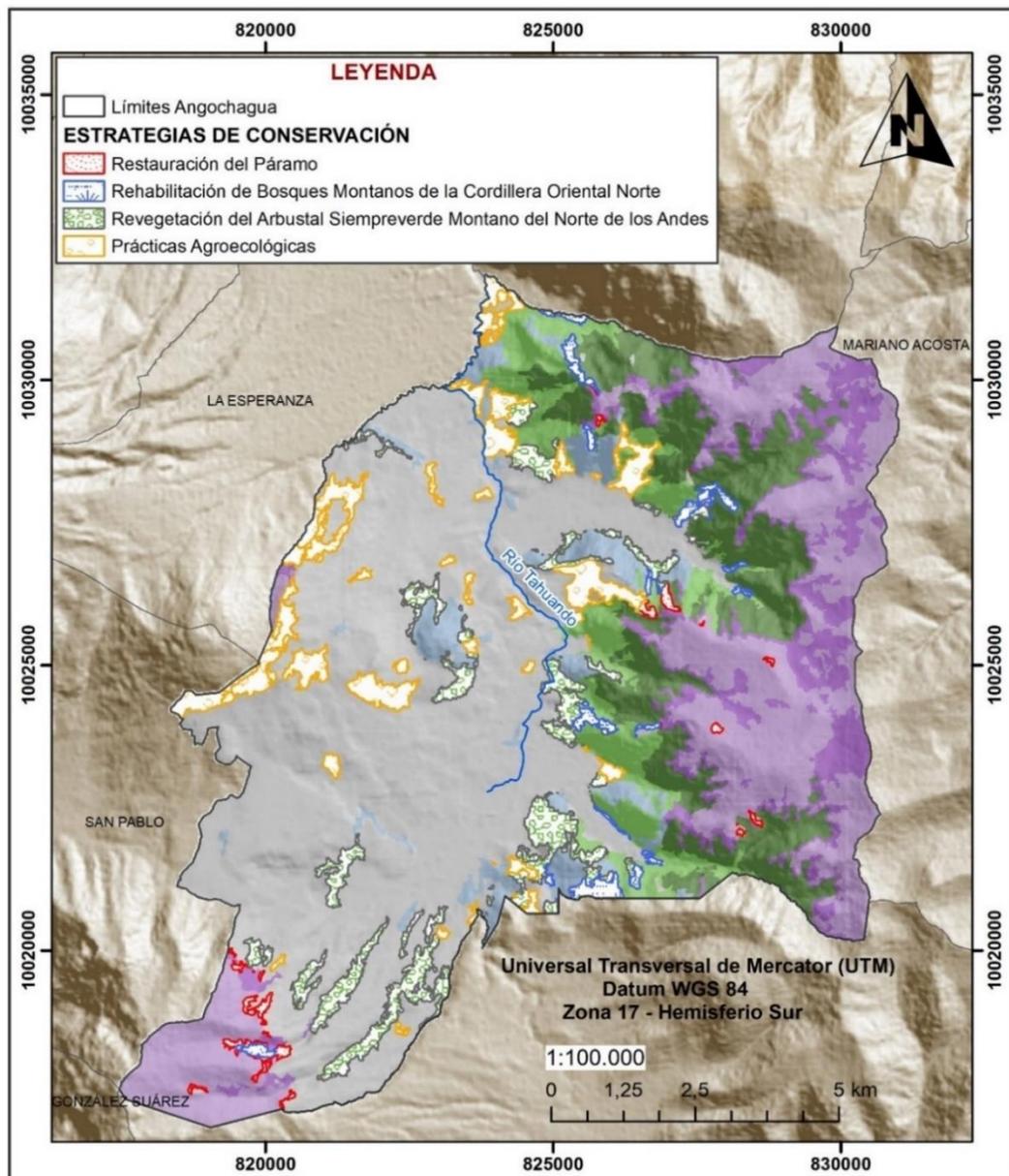


Figura 17. Estrategias de conservación en la parroquia Angochagua

Para la elaboración de la estrategias se consideró los cambios significativos en el período 1999-2021 de la zonas de intervención, se categorizaron en cuatro sectores: Páramo, Cordillera Oriental Norte, Arbustal de los Andes y ecosistema intervenido, según el Sistema de Clasificación Regional de los Ecosistemas Continentales del Ecuador, dispuesto por el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Tabla 15). De tal forma que, el sector Páramo presentó una superficie total de 54.14 (has), el sector de la Cordillera Oriental Norte presentó 123.29 (has), el sector Arbustal de los Andes presentó 584.61 (has) y la superficie de Intervención presentó cambios significativos en 541.19 (has) (Tabla 15).

Tabla 15. Matriz para la propuesta de conservación en la parroquia Angochagua

Sectores	Cambios de Cobertura Vegetal en los Ecosistemas		Áreas a Tratar (Has)		Técnica Propuesta
	1999	2021			
Páramo	-Herbazal del Páramo		8.19	54.14	Restauración
	-Arbustal Siempreverde del Páramo		45.95		
Cordillera Oriental Norte	-Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental	Ecosistema Intervenido	31.27	123.29	Rehabilitación
	-Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental		92.02		
Arbustal de los Andes	-Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes		----	584.61	Revegetación
Intervención	Sistemas Agroforestales		----	541.19	Prácticas Agroecológicas

Con base en el mapa de cambios de cobertura vegetal en el periodo 1999-2021, se presentó la propuesta de la restauración ecológica, con el objetivo de reducir los efectos de los cambios en los cinco ecosistemas, mediante el modelo Presión – Estado – Respuesta (PER) y se enlistó las actividades concretas para cada programa (Figura 18).

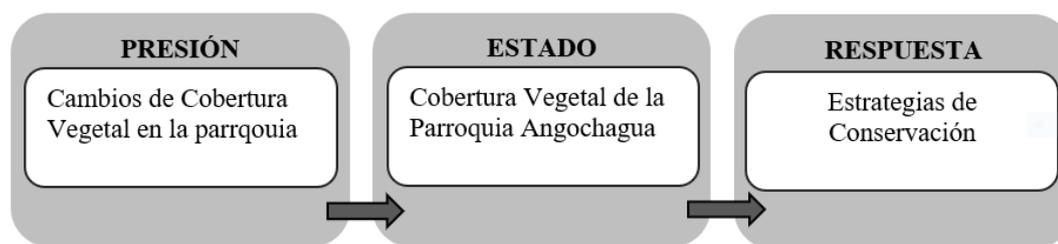


Figura 4. Modelo estratégico de presión- estado- respuesta aplicado a la parroquia Angochagua

4.3.1 Plan estratégico de conservación de los ecosistemas en la parroquia Angochagua.

Con base en el estudio realizado, fue necesario proponer estrategias de restauración para reducir los efectos de los cambios de cobertura vegetal y planificar las actividades mediante programas de restauración. Fue fundamental el mapa de cambios de cobertura vegetal 1999-2021, ya que los ecosistemas se distribuyeron por sectores, tomando en cuenta, que las formaciones vegetales con hábitats potenciales están restringidas para la restauración ecológica, mientras que, las áreas deforestadas y degradadas están restringidas para la revegetación y rehabilitación (Chazdon, 2008). De acuerdo con la zona de intervención, se propuso el programa de implementación de prácticas agroecológicas, mismo que, presenta actividades relacionadas al campo agrícola, que deben estar orientadas o ser desarrolladas en suelos aptos para su aprovechamiento (López et al., 2002).

4.3.1.1 Antecedentes

Los cambios de cobertura vegetal en áreas naturales y forestales; conllevan la disminución de las fuentes de abastecimiento de agua, conflicto en el uso de suelo y escasez de fuentes de trabajo, afectando a los habitantes de la Parroquia Angochagua. A esto se suman los incendios forestales anuales, favoreciendo los procesos erosivos del suelo y la disminución de los caudales de acuíferos y aguas superficiales debido a la pérdida en las formaciones vegetales (Rosero, 2017).

4.3.1.2 Justificación

En vista que los cambios fueron significativos en un lapso de 22 años, sobre todo en las zonas de intervención. Es necesario proponer estrategias de conservación y restauración en los ecosistemas degradados en la parroquia Angochagua, y de esta manera precautelar la distribución y permanencia de los ecosistemas (GAD Parroquial de Angochagua, 2019).

Se propuso el plan conservación de las áreas vegetales, con el fin de reducir la pérdida de vegetación nativa según sea el ecosistema a tratar (Leija, 2020).

- **Restauración:** propone que la restauración ecológica se aplique mediante técnicas de nucleación con parches y regeneración natural para el ecosistema Páramo (Pinos, 2016).
- **Rehabilitación:** enfoque sugerido para el ecosistema de bosque montano de la cordillera oriental norte, con base en, la deforestación en ciertas zonas, dentro esta estrategia se identificó las técnicas de siembra directa (Figueredo et al., 2020).
- **Revegetación:** esta estrategia se plantea para ecosistema arbustal siempreverde Montano del Norte de los Andes, a través la técnica a proponer fue la implantación de coberturas vegetativas (Camacho et al., 2015)
- **Prácticas Agroecológicas:** estas técnicas van dirigidas a las zonas agroforestales debido a que se encuentran en zonas amortiguamiento para los ecosistemas, y así evitar pérdida de vegetación (Camacho et al., 2015).

4.3.1.3 Programa de restauración del ecosistema páramo

La restauración del ecosistema Páramo aborda actividades de carácter científico y técnico, con previa planificación y aplicación (Ceccon, 2015). Los sitios idóneos que se desea aplicar para la recuperación del ecosistema se localizan en las zonas más alta de la cordillera de Angochagua (GAD Parroquial de Angochagua, 2015). Implica conocer la complejidad del ecosistema que se desea restaurar, como los procesos que se llevan a cabo, para la recuperación de la estructura, función y composición de los sitios restaurados (Ceccon, 2015).

El páramo de Angochagua puede regenerarse en áreas donde existían anteriormente, una vez que el suelo deje de ser utilizado para los propósitos como: la agricultura y la ganadería (Ceccon, 2015). Sin embargo, esta recomposición puede ser extremadamente lenta y puede durar años; se aplica sobre todo a los parches que denotan cambios en su cubierta vegetal, especialmente en zonas degradadas (Murcia y Guariguata, 2014).

El intensivo uso de suelo ha generado cambios en los dos ecosistemas del Páramo. Por ello, es necesario la implementación de técnicas de restauración de acuerdo a la función y distribución de los ecosistemas. En base a las zonas de intervención se presenta los sitios idóneos para la restauración del Páramo, se presenta el modelo PER (Presión-Estado-Respuesta), en donde las zonas para la restauración del ecosistema Herbazal del Páramo ocupa un área de 8.19 (has) y el ecosistema Arbustal Siempreverde del Páramo ocupa 45.95 (has). (Tabla 16).

Objetivo General

Restaurar zonas degradadas de páramo con el fin de recuperar los servicios ecosistémicos para la conservación.

Meta

Recuperar la cobertura vegetal de los ecosistemas Herbazal del Páramo y Arbustal Siempreverde del Páramo para el mantenimiento de la biodiversidad y restablecimiento de los servicios ecosistémicos.

Tabla 16. Propuesta de restauración del ecosistema páramo

PRESIÓN		ESTADO		RESPUESTA	
Cambios de Cobertura Vegetal	Objetivos Específicos	Actual	Alcance	Técnica Propuesta	
Herbazal del Páramo a Ecosistema Intervenido	Identificar una técnica de restauración para recuperar 8.19 (has) del ecosistema Herbazal del Páramo en ecosistemas de intervención.			Restauración Pasiva (Regeneración natural)	Eliminación, adaptación y control de los invasores naturales, competidores y factores limitantes, como la quema intencionada y la deforestación. El ecosistema Herbazal de Páramo se recuperará por sí mismo debido su alta resiliencia (Ayala y Herrera, 2020).
Arbustal Siempreverde del Páramo a Ecosistema Intervenido	Establecer dos técnicas de restauración para recuperar 45.95 (has) del ecosistema Arbustal Siempreverde del Páramo en ecosistemas intervenidos.	Pérdida de vegetación herbácea y arbustiva (Degradación)	Recuperar a largo plazo la funcionalidad y los servicios ecosistémicos de las formaciones vegetales y mejorar la cobertura vegetal del sector Páramo	Restauración Activa (Nucleación por parches) Restauración Activa (Trasplante de plántulas)	Formar los núcleos de materia orgánica sirven para regenerar nichos degradados para la recuperación y colonización con especies autóctonas del Arbustal Siempreverde del Páramo. Realizar la colección de semillas autóctonas del ecosistema Arbustal Siempreverde del Páramo y posteriormente transportar a un vivero forestal para la respectiva producción de plántulas. Una vez obtenidas las plántulas trasplantar en las áreas designadas a la recuperación. Género recomendable <i>Calamagrostis</i> , <i>Cortaderia</i> , <i>Diplostegium</i> entre otros (Ayala y Herrera, 2020).

4.3.1.4 Programa de rehabilitación de bosques montanos de la cordillera oriental norte

La sustitución de cultivos es la principal causa de la disminución de la vegetación nativa. Las técnicas utilizadas para la rehabilitación, son en base al rango de intervención que se ha realizado en el área de estudio. Estas técnicas, no pretende llevar al ecosistema a un estado natural o prístino, antes de ser intervenido, ya que, la rehabilitación se utiliza en ecosistemas moderadamente degradados, con el fin de mejorar su funcionalidad y estructura, sin embargo, no recupera la fidelidad histórica (Leija et al., 2020).

Los sitios idóneos para la rehabilitación de los bosques montanos de la cordillera oriental, fueron elegidas mediante la zonificación significativa y las áreas a recuperar son las siguientes: ecosistema de Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes ocupó un área de 31.27 (has) y el ecosistema de Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes ocupó 92.02 (has) (Tabla 17).

Objetivo General

Rehabilitar los ecosistemas del sector de bosque montano de la cordillera oriental norte, con el fin de restablecer sus servicios ecosistémicos.

Meta

Recuperación de los ecosistemas de bosques montanos de la cordillera oriental norte y sus hábitats potenciales para mantenimiento de la biodiversidad y restablecimiento de los servicios ecosistémicos.

Tabla 17. Propuesta de rehabilitación de los ecosistemas de bosques montano de la cordillera oriental norte

PRESIÓN		ESTADO		RESPUESTA	
Cambios de Cobertura Vegetal	Objetivos Específicos	Actual	Alcance	Técnica Propuesta	Actividades
Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes a Ecosistema Intervenido	Determinar una técnica de rehabilitación para recuperar 31.27 (has) del ecosistema Bosque Siempreverde Montano Alto de la Cordillera Oriental de los Andes	Proceso de pérdida de cubierta arbórea, tasa de deforestación media.	Recuperar a mediano plazo la funcionalidad y los servicios ecosistémicos de las formaciones vegetales y mejorar la cobertura arbórea del sector de los bosques de la cordillera oriental norte	Trasplante de plántulas	Recolectar ramas (estacas) de especies nativas del bosque montano alto de la cordillera oriental para trasladarlas a un invernadero para la producción de plántulas. Una vez adquiridas las plántulas, trasplantarlas a lugares más aislados que no estén influenciados por perturbaciones y trasplantar (SER, 2004).
	Detallar dos técnicas de rehabilitación para recuperar 92.02 (has) del ecosistema Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes	En proceso de degradación.			Nucleación aplicada
				Siembra directa	Realizar la colección semillas de alta calidad de varias especies autóctonas para el tratamiento pregerminativo y, a continuación, introducir especies arbóreas de géneros como: <i>Oreopanax</i> , <i>Siparuna</i> , <i>Vallea</i> entre otros (Cecon, 2015).

4.3.1.5 Programa de revegetación del ecosistema arbustal siempreverde montano del norte

El desarrollo natural de los ecosistemas arbustales y matorrales conllevan procesos dinámicos e intrínsecos que pueden ser influidos por factores extrínsecos (Ceccon, 2015). El ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes presenta cambios en sus mecanismos de capacidad de autorregulación, necesaria para canalizar y reaccionar ante las numerosas influencias a las que está expuesto como: la agricultura, ganadería, actividades pecuarias entre otras (Gad Parroquial Angochagua, 2015).

El programa se propuso con la finalidad de recuperar el estado actual del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes e involucrar a diferentes actores sociales, realizando actividades para promover la recuperación de la vegetación con especies nativas, que se adapten a las condiciones naturales del medio. Estas zonas se encuentran presentes en las franjas orientales y quebradas (Society for Ecological Restoration [SER], 2004).

Los sitios idóneos para la revegetación del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes son 584.61 (has), destinadas a la recuperación (Tabla 18).

Objetivo General

Detallar tres técnicas de revegetación para incrementar la cobertura vegetal del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes, con el fin de mejorar funcionalidad de mismo.

Meta

Recuperar el ecosistema Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes para el mantenimiento de la biodiversidad y restablecimiento de los servicios ecosistémicos.

Tabla 18. Propuesta de revegetación en el ecosistema Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes

PRESIÓN		ESTADO		RESPUESTA	
Cambios de Cobertura Vegetal	Objetivo específico	Actual	Alcance	Técnicas Propuestas	Actividades
Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes a Ecosistema Intervenido	Proponer tres técnicas de revegetación para recuperar 584.61 (has) del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes	Proceso de pérdida de la cubierta arbustiva, tasa de deforestación alta. Áreas degradadas	Recuperar a mediano plazo la funcionalidad y los servicios ecosistémicos de las formaciones vegetales y mejorar la cobertura arbustiva del ecosistema Arbustal Siempreverde del Norte de los Andes	Trasposición del suelo	Cambiar y mejorar la micro, meso y macro fauna/flora (semillas, propágulos, microorganismos, hongos, bacterias, lombrices, algas) especial para áreas de media degradación. Se recomienda realizar un cuadrante de 1m2 por cada muestra (SER, 2004).
				Siembra de plántulas	Recoger semillas o esquejes, de acuerdo con las propiedades ecofisiológicas de las especies nativas. Establecer un control del crecimiento de las especies en un vivero forestal. Registrar datos sobre la supervivencia en los hábitats y el desarrollo temprano de las especies. Mantener una información del sector de la implantación para mejorar sus condiciones de flora y fauna. Realizar la implantación (Ceccon, 2015)
				Siembra Directa	Preparar el suelo y evaluar la condición inicial de las semillas. Realizar la colección de buena calidad de las semillas de diferentes especies nativas para el tratamiento pregerminativo y sembrar géneros de <i>Policourea</i> , <i>Hesperomeles</i> entre otras (Murcia y Guariguata, 2014).

4.3.1.6 Programa de implementación de prácticas agroecológicas

Las prácticas agroecológicas involucran una reconceptualización de las actividades productivas, que se llevan a cabo en la parroquia Angochagua (Gad parroquial Angochagua, 2015). Los sistemas agroforestales maximizan la productividad de muchos elementos del ecosistema, y principalmente privilegia el tipo de este estilo heterogéneo, promoviendo la reutilización, aumentando el rendimiento del suelo y fomentando la sostenibilidad ambiental (Ceccon, 2015).

Algunos sistemas agroforestales pueden mejorar la fertilidad del suelo, mediante el aumento de la producción de materia orgánica. Los elementos del sistema han mostrado los efectos que tienen sobre los suelos (Murcia y Guariguata, 2014). Con base en la fertilidad del suelo y la recuperación de la diversidad de la vegetación, se refleja el proceso de recuperación del sistema sobre todo en sus alrededores, ya que permite estabilizar el flujo de agua, la actividad y el mecanismo de nutrientes en los sistemas tratados (Cañadas, 1983).

La parroquia Angochagua presentó un decrecimiento de los ecosistemas de páramo, bosques montanos y vegetación arbustiva entre 1999 y 2021. Con el fin de proponer prácticas agroecológicas, los sitios ideales para la implementación fueron 541.19 (ha) (Tabla 19).

Objetivo General

Determinar dos técnicas agroecológicas para recuperar 541.19 (has) de agroecosistemas

Meta

Mantener una producción sostenible y amigable en el territorio de Angochagua.

Tabla 19. Propuesta de implementación de prácticas agroecológicas en la zona de intervención

PRESIÓN		ESTADO		RESPUESTA	
Cambios de Cobertura Vegetal	Objetivo Especifico	Actual	Alcance	Técnica Propuesta	Actividades
Áreas erosionadas a Sistemas Agroecológicos	Determinar dos técnicas de agroecológicas para recuperar 541.19 (has) de agroecosistemas.	Áreas erosionadas Presentan alta degradación	Recuperar a corto plazo la funcionalidad de las tierras erosionadas y mejorar la cobertura vegetal de los agroecosistemas	Cultivo en callejones Cercas vivas y cortinasrompevientos	Cultivar especies nativas en los callejones del agroecosistema, en zonas de amortización con los bordes de los ecosistemas. Generalmente son especies de crecimiento lento, fijadores de nitrógeno, proveen biomasa y de nutrientes a los cultivos. Entre las especies como: <i>Alnus acuminata</i> , <i>Schinus molle</i> , <i>Oreopanax ecuadorensis</i> entre otras. Realizar la siembra de especies leñosas perennes como postes para la delimitación de los cultivos, principalmente se puede utilizar en zonas altas ya que están asociadas a las barreras para proteger del viento (Añazco et al., 2004).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La clasificación supervisada de los años de 1999, 2015 y 2021 demostraron que evidentemente existieron cambios en la superficies de los ecosistemas durante el período de 22 años. Esta disminución se registró en la mayoría de las superficies de la vegetación, en los cinco ecosistemas estudiados, en especial la superficie del ecosistema Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes que perdió aproximadamente un 3.5% de cobertura vegetal. Además, en la zona de intervención se registró el incremento 5.6% de la superficie relacionadas a las actividades agrícolas y pecuarias.

La validación de la proyección se efectuó con una precisión mayor al 63%, equivalente a buena. Con base en la precisión, los resultados indicaron que para el año 2043, la zona de intervención presentará un incremento de aproximadamente 593.66 (has). El modelo de proyección registró una leve disminución de las coberturas en cinco ecosistemas, especialmente en la superficie del ecosistema Bosque Siempreverde Montano de la Cordillera Oriental de los Andes, el cual presentó, una disminución del 0.98%, debido a que, se encuentra distribuido cerca de las franjas limitantes en zonas antrópicas en la parroquia Angochagua.

Se propuso cuatro técnicas de restauración ecológicas, acorde al sector y tipo de ecosistema estudiado. Las zonas idóneas para las implementación de las prácticas agroecológicas fueron 541.19 (has). En el caso de los ecosistemas, para el sector páramo se consideraron 54.14 (has) de superficie para la restauración. En el sector de la Cordillera Oriental Norte se consideró 123.29 (has) de superficie para la rehabilitación y el sector del Arbustal de los Andes se consideró 584.61 (has) de superficie para la revegetación. Con estos programas se plantea el correcto ordenamiento del territorio que es ideal para la conservación de las formaciones vegetales en parroquia Angochagua.

5.2 Recomendaciones

Es recomendable realizar la categorización del estudio, mediante el registro en campo con puntos de control o muestreo, en áreas en donde no hayan sido intervenidas, es aceptable 15 muestras por cada categoría, para que el estudio sea fiable en torno a la distinción de los ecosistemas.

Es recomendable trabajar con un mínimo de cuatro variables de transición, ya que la proyección se deriva de los datos de la simulación de la variable de entrada, los datos registrados en el programa y el modelo de simulación a ejecutar, como dato adicional es estrictamente necesario dos escenarios para realizar la predicción.

Se recomienda que las estrategias sean elaboradas en base a cada ecosistema estudiado, debido a que poseen diferentes funciones en el medio, y llegar a proponer estrategias de conservación en las áreas moderadamente degradadas. Para realizar las técnicas de restauración es necesario tener conocimiento previo del sitio, debido a proceso de sucesión, sustitución y permanencia de los ecosistemas.

Es muy importante tener presente que las formaciones vegetales deben ser conservados, ya que algunas tierras pertenecen a particulares. En mi manera de ver, estas áreas pueden ser incluidas dentro de áreas de conservación legalmente protegidas. Así mismo, realizar un monitoreo y seguimiento de los programas propuestos, con el fin de denotar los resultados esperados en base a los objetivos planteados.

REFERENCIAS

- Abraira, V. (2001). *El índice de Kappa, errores en las mediciones y clasificaciones clínicas: precisión y validez*. Elsevier, Semergen. Doi.10.1016/S1138-3593(01)73955-X
- Alvarado, G. y Espinoza, I. (2016). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llavircay y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*. [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec/Record/dspace-15634>
- Aldas, J. (2013). *Estudio de Variación de la cobertura vegetal y estado actual del cerro Imbabura aplicando herramientas GIS con fines de declaración de área protegida*. [Tesis de Pregrado, Universidad de San Francisco de Quito]. <https://core.ac.uk/download/pdf/147377301.pdf>
- Añazco, M., Loján, L. y Yaguache, R. (2004). Productos no madereros en el Ecuador PFNM. Proyecto Apoyo al Desarrollo Forestal Comunal en los Andes del Ecuador. Ministerio de Ambiente, Gobierno de los Pises Bajos. Soboc Gráfico. Pag 58.
- Ayala, N. y Herrera, D. (2020). Evaluación del paisaje boscoso en la cuenca media-alta del río Mira, y su proyección de cambio al año 2050. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10405>
- Barrera, C., Contreras, S., Garzón, N., Moreno, A. y Montoya, S. (2010). *Manual para la Restauración Ecológica de Ecosistemas Disturbados del Distrito Capital*. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), Pontificia Universidad Javeriana (PUJ). Bogotá, Colombia 402 pp.

- Bradshaw, A. (1992). *The biology of land restoration*. In: Jain, S.K., Botsford, L.W. (eds) *Applied Population Biology*. Monographiae Biologicae, vol 67. Springer, Dordrecht. doi.org/10.1007/978-0-585-32911-6_2
- Burbano, N. y Rivera, J. (2022). *Análisis multitemporal de áreas de cobertura vegetal incendiadas en el cantón Ibarra*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12457>
- Cartes, S. (2013). Degradación de suelos Agrícolas y el SIRSD-S. Oficinas de estudios y políticas agrarias ODEPA. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/10/SueloAgricola201310.pdf>
- Carlosama, K. y Granda, M. (2022). *Evaluación de escasez hídrica y estado de conservación de las vertientes de agua de consumo humano en la parroquia Angochagua*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12428/2/03%20RNR%20412%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Cerda, J. y Villarroel, P. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Rev Chil Pediatr* 2008; 79 (1): 54-58. <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rcp/v79n1/art08.pdf>
- Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COOTAD, (2010). *Título III, Gobiernos Autónomos Descentralizados. Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct.-2010*.
- Código Orgánico del Ambiente, COA., (2018). *Libro Tercero de la Calidad Ambiental. Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de abril del 2017*.
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, (83), 5-71.
- Constitución de la República del Ecuador, (2008). *Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008. Quito, Ecuador*.

- Camacho, J. P., Pérez, J., Bravo, L. y Sánchez, M. (2015). *Cambios de uso de suelo en porción de la zona de transición mexicana de montaña*. *SciELO* 21(1), 93-112. <https://tinylink.net/exGP6>
- Cañadas, C. (1983). El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Quito. Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1983, pág. 128-132
- Ceccon, E. (2015). *Restauración en Bosques Tropicales: Fundamentos Ecológicos, Prácticos y Sociales*. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. ISBN 978-84.
- Chazdon, R. (2008). Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*, 320(5882), 1458–1460. <http://www.jstor.org/stable/20054261>
- Chuvieco, E. (1985). Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo. *Anuales de Geografía de la Universidad Complutense* (5): 29-48. https://www.researchgate.net/publication/27579343_Aportaciones_de_la_Teledeteccion_espacial_a_la_cartografia_de_ocupacion_del_suelo
- Del Toro, N., Gomáriz, F., Cánovas, F. y Alonso, F. (2013). Comparación de métodos de la clasificación de imágenes de satélites en la cuenca del río Argos (Región de Murcia). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* N.º 67 - 2015, págs. 327-347. I.S.S.N.: 0212-9426
- Fernández, M. (1996). *Degradación y Riesgos Ambientales. La RED, Red Para estudios ambientales de América Latina*. USAID pp. 8. https://www.desenredando.org/public/libros/1996/cer/CER_cap02-DARDU_ene-7-2003.pdf
- Figueredo, J., Ramon, A. y Barrero, H. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo “Los Números” Guisa, Granma. *CFORES, Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8 (1), 1-15. de <http://scielo.sld.cu/pdf/cfp/v8n1/2310-3469-cfp-8-01-1.pdf>

- Facultad Latinoamericana Ciencias Sociales del Ecuador [FLACSO]. (2003). Estado y Agro En Ecuador 1960-1980. *Biblioteca de Ciencias Sociales, Vol. 1*. <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/103196-opac>
- Flores, N., Castro, I. y Aponte, H. (2020). Evaluación de las unidades de vegetación en los pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información Geográfica y teledetección. *Arnaldo*, 27 (1), 303-322 http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992020000100303
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Ibarra. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Ibarra. PDYOT actualizado*. https://www.ibarra.gob.ec/site/docs/estrategico/PDYOT_2020.pdf
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Angochagua, (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Angochagua. PDOT 2014-2019*. <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Imbabura, (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Imbabura. <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/descargas/documentooficiales/file/1375-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-la-provincia-de-imbabura-2019-2023>
- Gonzaga, C. (2016). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja, Ecuador. *CEDAMAZ 2015 · Vol. 5, No. 1*, pp 30 – 41. ISSN 1390-5880
- Guamán, C. y Rodas, D. (2022). *Evaluación del balance hídrico en el ecosistema páramo de la cuenca alta del río Tahuando*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13212/2/03%20RNR%20430%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>

- Guerrero, S. (2020). *Análisis de cambio de uso de suelo en el geo sitio Salina-Imbabura y Estrategias de ordenamiento turístico*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10844>
- Guevara, E. (2020). *Proyección del cambio de uso del suelo en la cuenca del río Mira: Un visión a los años 2037 y 2100*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10828>
- Gilabert, M., González-Piqueiras, J. y García-Haro, J. (1997). *Acerca de los Índices de Vegetación, Revista de Teledetección 8, 1-10*. http://www.aet.org.es/revistas/revista8/AET8_4.pdf
- Insua, D., Insua, S., Martínez, J. y Jiménez, A. (2009). *Simulación de Métodos y Aplicaciones*. Industria Editorial Mexicana ISBN 546787-90
- Jácome, G., Mejía, J., Guerra, N., Romero, A., Piedmag, V., Padilla, C., Tanaí, I. y Pupiales, N. (2020). *Los volcanes de Imbabura y su tiempo geológico. Imbabura-Ecuador*. FICAYA Emprende.
- Jaramillo, M. y Merchán, T. (2018). *Evaluación de las zonas de recarga hídrica en relación a las formaciones vegetales en la parroquia Angochagua*. [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8654>
- Jiménez, L. (2019). Cadenas de Márkov espaciales para simular el crecimiento del Área Metropolitana de Toluca, 2017-2031. *Economía, sociedad y territorio*, 19(60), 109-140. <https://doi.org/10.22136/est20191324>
- Murcia, C. y Guariguata, M. (2014). *La restauración ecológica en Colombia Tendencias, necesidades y oportunidades*. Centro para la Investigación Forestal Internacional. (CIFOR). ISBN 978-602-1504-35-2.
- Maldonado, G. (1980). *La Reforma Agraria en Ecuador*. Ministerio de la Agricultura de la Republica del Ecuador. *Perse* pp 33-56. https://www.persee.fr/doc/carav_0008-0152_1980_num_34_1_1501

- Martínez, J., Figueroa, A. y Ramírez, B. (2009). Cambios de cobertura y fragmentación a través de un análisis espacio temporal en el parque nacional natural Puracé. In Figueroa, A. y Valencia, M. (Eds.), Fragmentación y coberturas vegetales en ecosistemas andinos, Departamento del Cauca. Cap. 9. (pp. 137-155). Popayán: Universidad del Cauca. https://www.researchgate.net/publication/305569761_Cambios_de_Cobertura_y_fragmentacion_a_traves_de_un analisis espacio temporal en el Parque Nacional Natural Purace
- Minda, J. (2015). Propuesta metodológica de restauración para la vegetación. *Revista científica Producción + Limpia - Enero - Junio de 2017*. Vol.12, No.1 - 49•62. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n1/1909-0455-pml-12-01-00049.pdf>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2013). *Sistema de Clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural. Quito.https://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/9/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- Ministerio del Ambiente del Ecuador, (2016). *Estrategia Nacional de Biodiversidad 2015-2030*, primera edición, noviembre de 2016, Quito-Ecuador. pp 106. <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/WebAPs/Estrategia%20Nacional%20de%20Biodiversidad%202015-2030%20-%20CALIDAD%20WEB.pdf>
- Morales, J., Carrillo, F., Farfán, L. y Cornejo, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Biotechnol, Revista Colombiana de Biotecnología*, Vol. 18 (1). https://www.researchgate.net/publication/364411056_Cambio_de_cobertura_vegetal_y_uso_de_suelo_generado_por_actividades_agricolas_en_el_municipio_de_Bahia_de_Banderas_Nayarit_Mexico#:~:text=La%20cobertura%20vegetal%20mundial%20ha%20cambiado%20por%20causas,y%20

uso%20de%20suelo%20asociados%20a%20actividades%20agr%C3%ADcolas.

Morocho, D. y Romero, J. (2003). Bosques del Sur. El estado de 12 remanentes de Bosques andinos de la Provincia de Loja. Fundación Ecológica Arcoíris/PROBONA/DICA. Loja, Ec. Pag 43.

Leija-Loredo, E., Reyes-Hernández, G., Reyes-Pérez, H., Flores-Flores, O. y Sahagún-Sánchez, F. (2016). Cambios en la cubierta vegetal, usos de la tierra y escenarios futuros en la región costera del estado de Oaxaca, México. *Madera y bosques*, 22(1), 125-140. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712016000100125&lng=es&tlng=es.

Leija-Loredo, E., Valenzuela-Ceballos, S., Valencia-Castro, M., Jiménez-Gonzales, G., Castañeda-Gaytán, G., Reyes-Hernández, H. y Mendoza, M. (2020). Análisis de cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo en la región centro-norte de México. El caso de la cuenca baja del río Nazas. *Ecosistemas* 29 (1): 1826. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1826>

Linares, J., Valera, M. y Millán, E. (2022). Cadenas de Márkov en el Análisis del Cambio de uso del suelo en Ixtapaluca, México. [Tesis de Posgrado] *Avances en Ciencias e Ingeniería - ISSN: 0718-8706*. <https://www.executivebs.org/publishing.cl/aci/2022/Vol13/Nro1/3-ACI1391-21%20full.pdf>

Lozano, C. (2015). *Los tipos de bosque en el sur de Ecuador*, pp. 29–50 en Z. Aguirre M., J. E. Madsen, E. Cotton y H. Balslev (eds.), *Botánica Austroecuatorialiana — Estudios sobre los recursos vegetales en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe*. Ediciones Abya Yala, Quito https://www.researchgate.net/publication/233936622_Los_tipos_de_bosque_en_el_sur_del_Ecuador.

López, G., Martha, E., Mendoza, M., Manuel, E. y Acosta, A. (2002). Cambio de cobertura vegetal y uso de la tierra. El caso de la cuenca endorreica del lago

de Cuitzeo, Michoacán. *Gaceta Ecológica*, (64),19-34.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=539/53906403>

Osuna-Osuna, A., Diaz-Torres, J., Anda-Sánchez, E., Villegas-García, J., Gallardo-Valdés, J. y Davila-Vasques, M. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México. *Ambiente y agua* 10(2). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1539>.

Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (1996). Forest resources assessment 1990. Survey of tropical forest cover and study of change processes. FAO forestry paper 130. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Roma, Italia Roma. <http://www.fao.org/3/w0015e/W0015E00.htm>

Palomeque de la Cruz, M., Galindo, A., Pérez, E., De Jesús Sánchez, A. y Escalona, M. (2017). Modelos geomáticos con base en transición para el análisis espacial en Villahermosa, Tabasco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 253-267.

Pandia, J. (2015). *Modelo presión, estado, respuesta (P-E-R), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua*. [Tesis de Posgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/4647>

Paula, A., Zambrano, L. y Paula P. (2018). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático. *Enfoque UTE*, Vol. 9-nro.2. pp. 125-137. <http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Pinos, N. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el Ordenamiento Territorial – Caso Cantón Cuenca. *Estoa, Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca*, 5(9), 7-19. doi:10.18537/est.v005.n009.02

- Programa de Bosques Nativos Andinos, PROBONA. (2002). Plan de Manejo del Bosque Protector Aguarongo y su Área de Influencia. Proyecto Manejo y Conservación de los Bosques Nativos Andinos del Sur Ecuatoriano. ECU/B7/6201/IB/98/0661 CISP-UE-PROBONA. PAG. 76-80.
- Quichimbo, P., Cárdenas, I., Tenorio, G., Crespo, P., Borja, P. y Célleri, R. (2011). Efecto del cambio de cobertura vegetal sobre las prioridades hidrofísicas del suelo en un área de Páramo, Sur del Ecuador. *Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evolución de ecosistemas degradados de Iberoamérica* (pp. 255- 265). https://www.researchgate.net/publication/270215830_Efecto_del_cambio_de_cobertura_vegetal_sobre_las_propiedades_hidrofisicas_del_suelo_en_un_area_de_Páramo_sur_del_Ecuador
- Ramos, R., Palomeque, M., Mejía, H. y Landeros, D. (2021). Land Use Model, Pajonal, Machona lagoon system, Mexico. *Tierra latinoamericana*. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.587>
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, RCOA. (2019). *Título VII, Gestión integral de residuos y desechos. Registro Oficial Suplemento 507 del 12 de junio del 2019.*
- Rodríguez-Echeverry, J. y Leitón, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista mexicana de biodiversidad*, 92, e923449. Epub 25 de octubre de 2021. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>
- Rodríguez, F., Mariscal, E., Jiménez, I., Jaramillo, P. y Robichaud, M. (1994). Caracterización ecológica por Sensores Remotos del área de lita y alrededores en la zona de influencia de la Reserva Ecológica Cotacachi Cayapas, Ecuador. *Eco Ciencia*. Quito.
- Rodríguez, J., Reyes, S. y Mandujano, B. (2016). *Reconfiguración espacial y modelos de apropiación y uso del territorio en la Patagonia chilena:*

migración por cambio de estilo de vida, parques de conservación y economía. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000200012>

Rosero, E. (2016). - *Análisis multitemporal de la cobertura vegetal del bosque protector andino Zuleta, en la sierra norte del Ecuador.* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte] <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5817/1/03%...>

Rosero, M. (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 Posgrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7745>

Ruiz, V., Save, R., & Herrera, A. (2014). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Mirafior Moropotenté Nicaragua, 1993-2011. *Revista Científica de FARERM-Esteli. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano.* N° 11, 57-68.

Sahagún, F. y Reyes, H. (2017). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *SciELO.* 12(2), 06-21. de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v12n2/2007-7858-cuat-12-02-6.pdf>

Salas, J. y Valenzuela, J. (2011). Determinación de los conflictos de uso de suelo en la microcuenca Pachindo, Departamento de Nariño. Universidad de Nariño, Colombia.

Salazar, S. (2014). Estudio Multitemporal de cambios de uso de suelo y cobertura vegetal en las reservas privadas del nodo noroccidental de Pichincha en los años 1989, 1999 y 2013. [Tesis de Pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10293>

Sánchez, J. (2016). Análisis de Calidad Cartográfica mediante el estudio de la Matriz de Confusión. [Investigación, Universidad Politécnica de Madrid]. ISSN-e 2174-0410, Vol. 6, N.º. 2, 2016, págs. 9-26

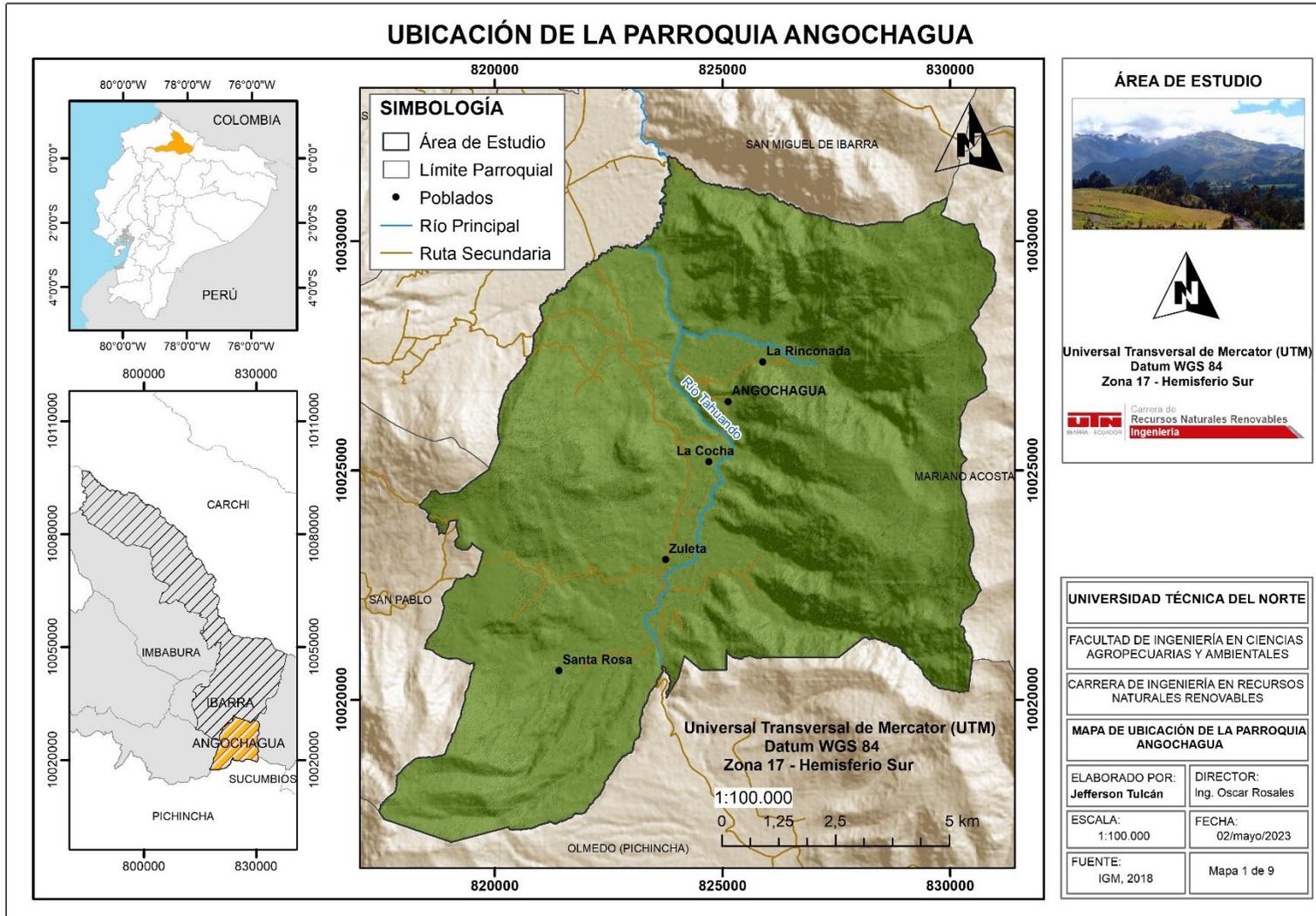
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - SNP (2021). *Plan Nacional de Creación de Oportunidades 2021-2025. Creando Oportunidades. (Resolución N. ° CNP-003-2021). Quito – Ecuador.*
http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed_compressed.pdf
- Sierra, R. (2013). Patrones y Factores de deforestación en el Ecuador continental, 1900-2010. Y un acercamiento a los próximos años. Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends. Quito, Ecuador.
- Society for Ecological Restoration (SER) International, (2004). Grupo de trabajo sobre ciencia y políticas. Principios de SER International sobre la restauración ecológica. www.ser.org y Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Uribe, B. y Ávila, P. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina.* Unidad de Cambio Climático de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Comisión Económica para Latino América y el Caribe (CEPAL). Programa EUROCLIMA (CEC/14/001).
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_en.pdf?sequence=1
- Vilca, L. (2011). *Caracterización de las principales fuentes hídricas y lineamientos de conservación en la cuenca baja del Río Mira, provincia del Carchi* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/jspui/handle/123456789/202?locale=en>
- Vaidya, P., Bhardwaj, K. y Sood, S. (2018). Regional Land use/ Land cover change dynamics and drivers for Solan District. *Indian journal of Ecology.* 44(6) 914-918. de: <https://www.researchgate.net/publication/322330136>

Vargas, G. (1992). Estudio del uso actual y capacidad de uso de la tierra en América Central. *Anuarios de Estudios Centroamericanos*, 18(2), 7-23. de: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/anuario/article/view/2273>

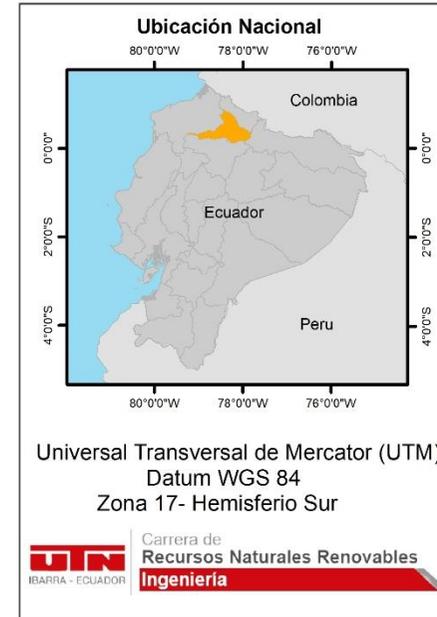
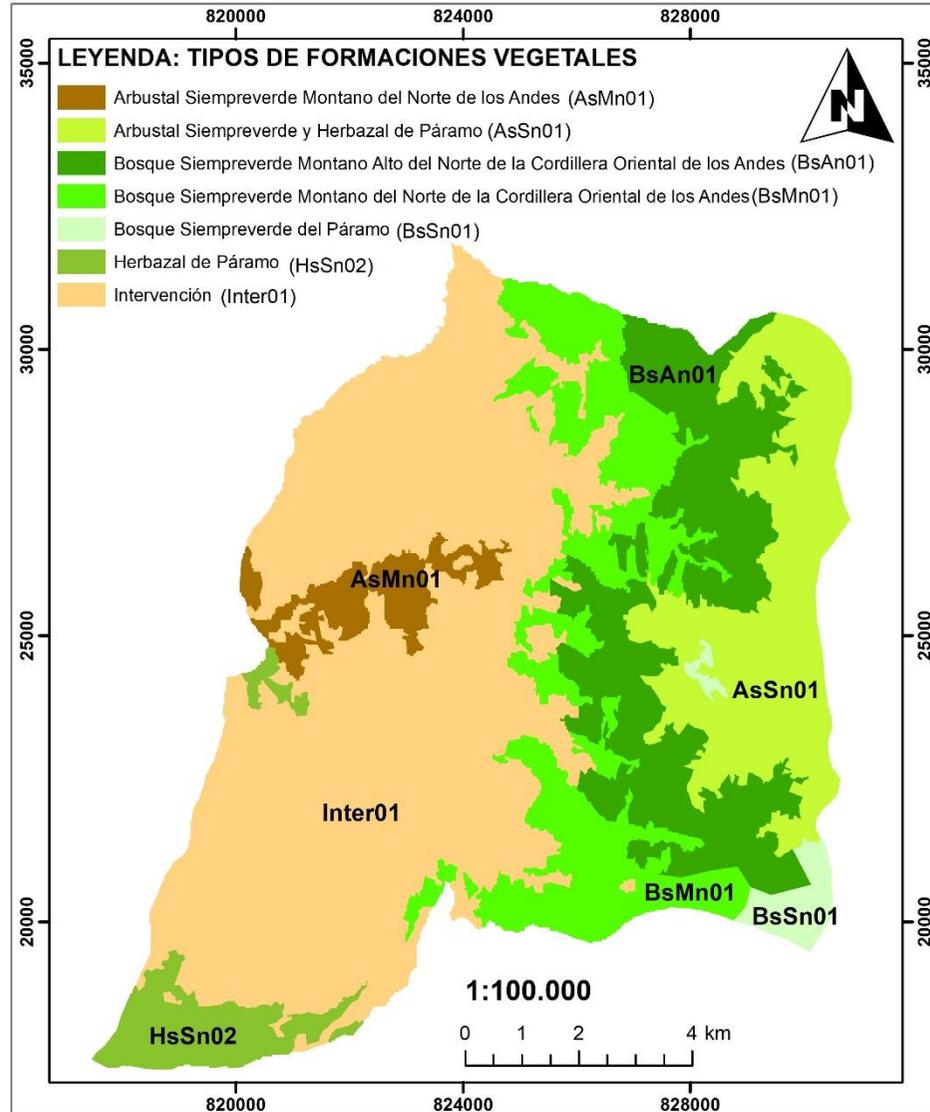
Yaranga, R., Custodio, M., Chanamé, F. y Pantoja, R. (2018). Diversidad florística de pastizales según formación vegetal en la subcuenca del río Shullcas, Junín, Perú. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 511-517. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.06>

ANEXOS

UBICACIÓN DE LA PARROQUIA ANGOCHAGUA

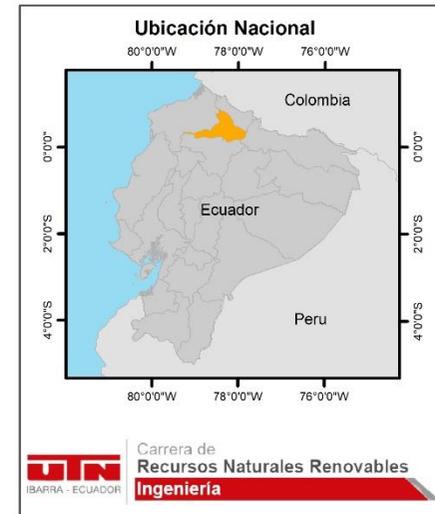
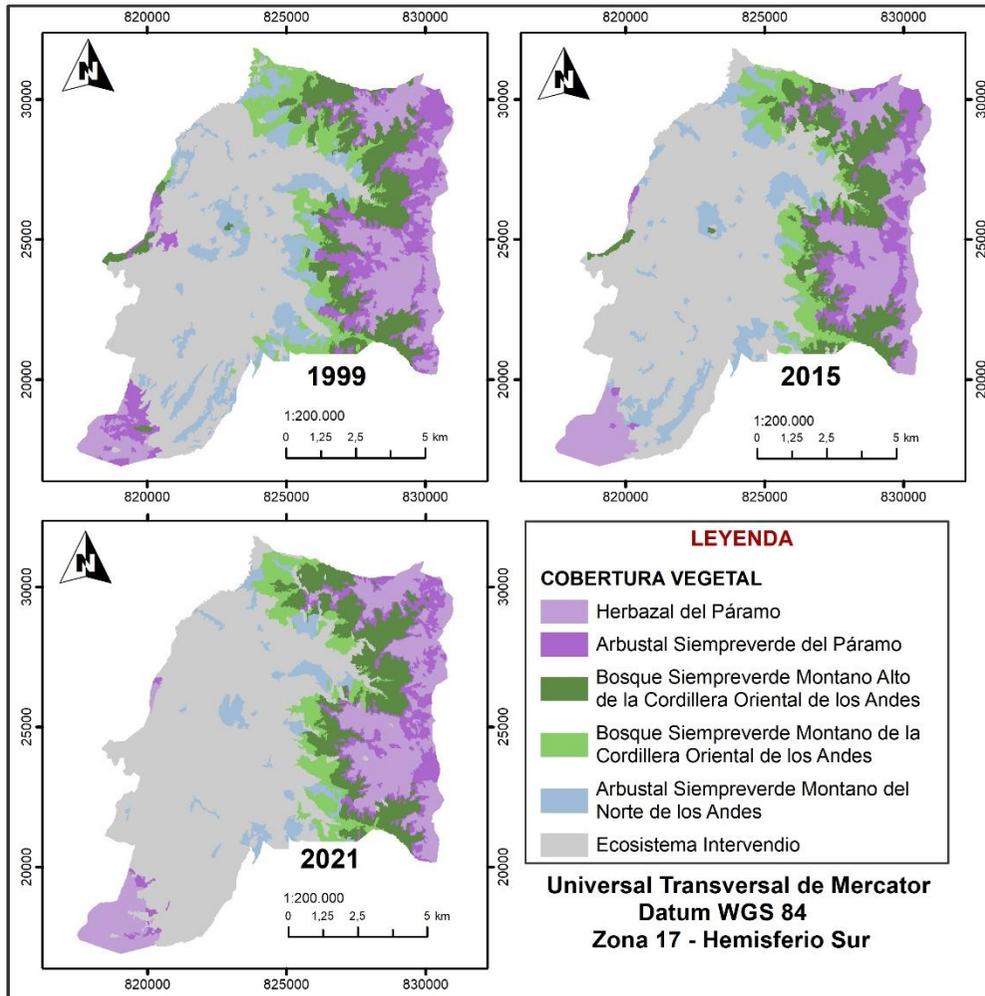


TIPOS DE FORMACIONES VEGETALES EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA

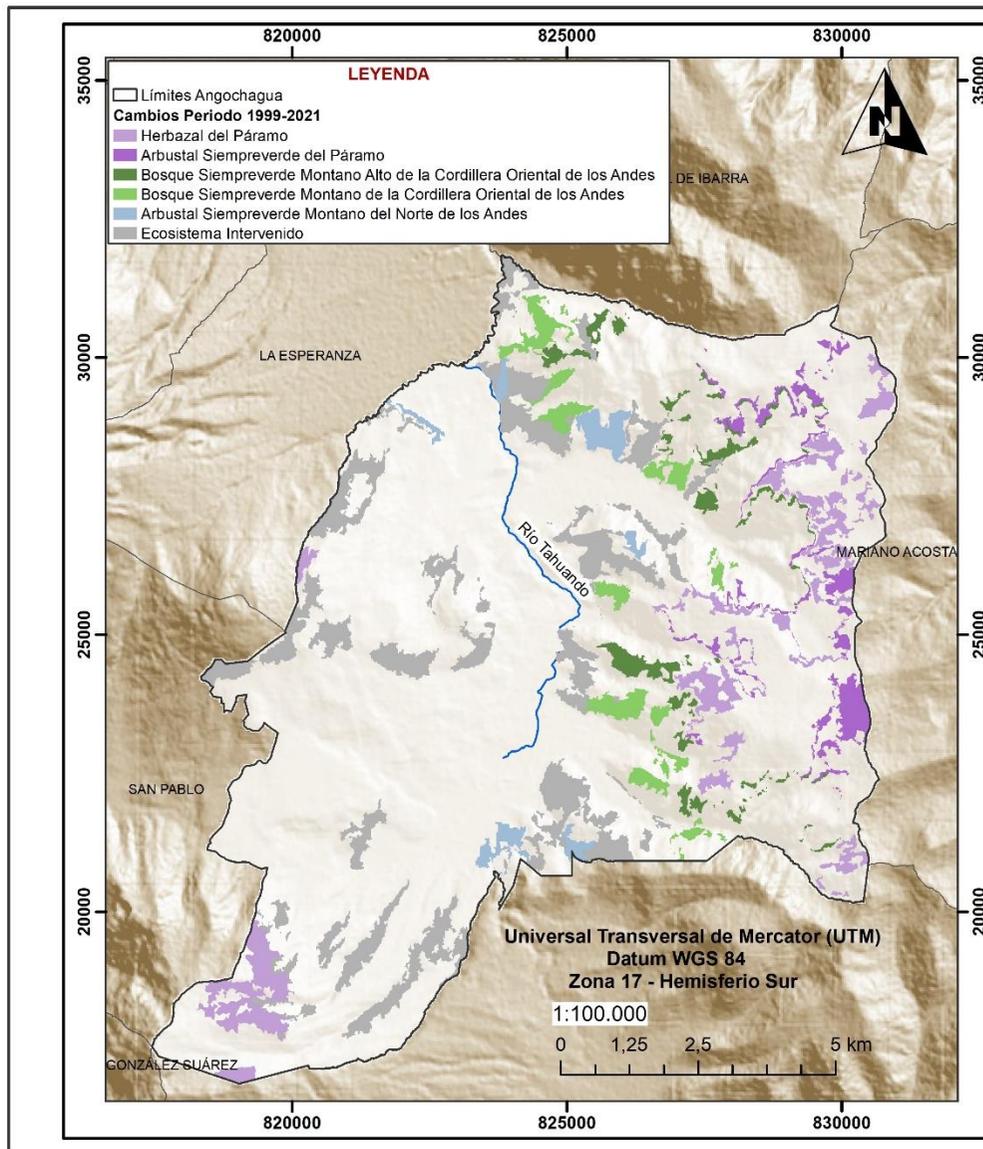


UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
MAPA DE LOS TIPOS DE LAS FORMACIONES VEGETALES EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA	
ELABORADO POR: Jefferson Tulcán	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales
ESCALA: 1: 100.000	FECHA: 02/mayo/2023
FUENTE: IGM, 2018	Mapa 2 de 9

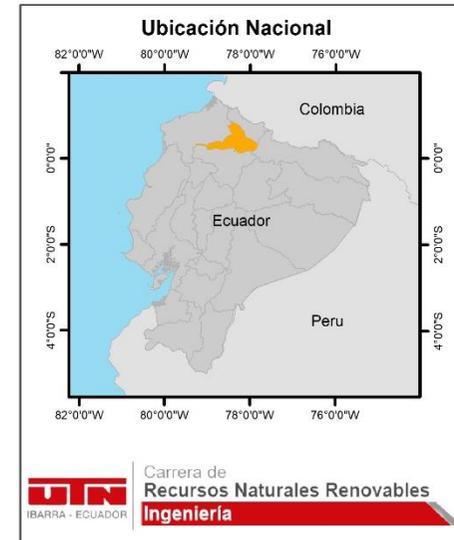
ECOSISTEMAS DE LA PARROQUIA ANGOCHAGUA PARA LOS AÑOS 1999, 2015, 2021.



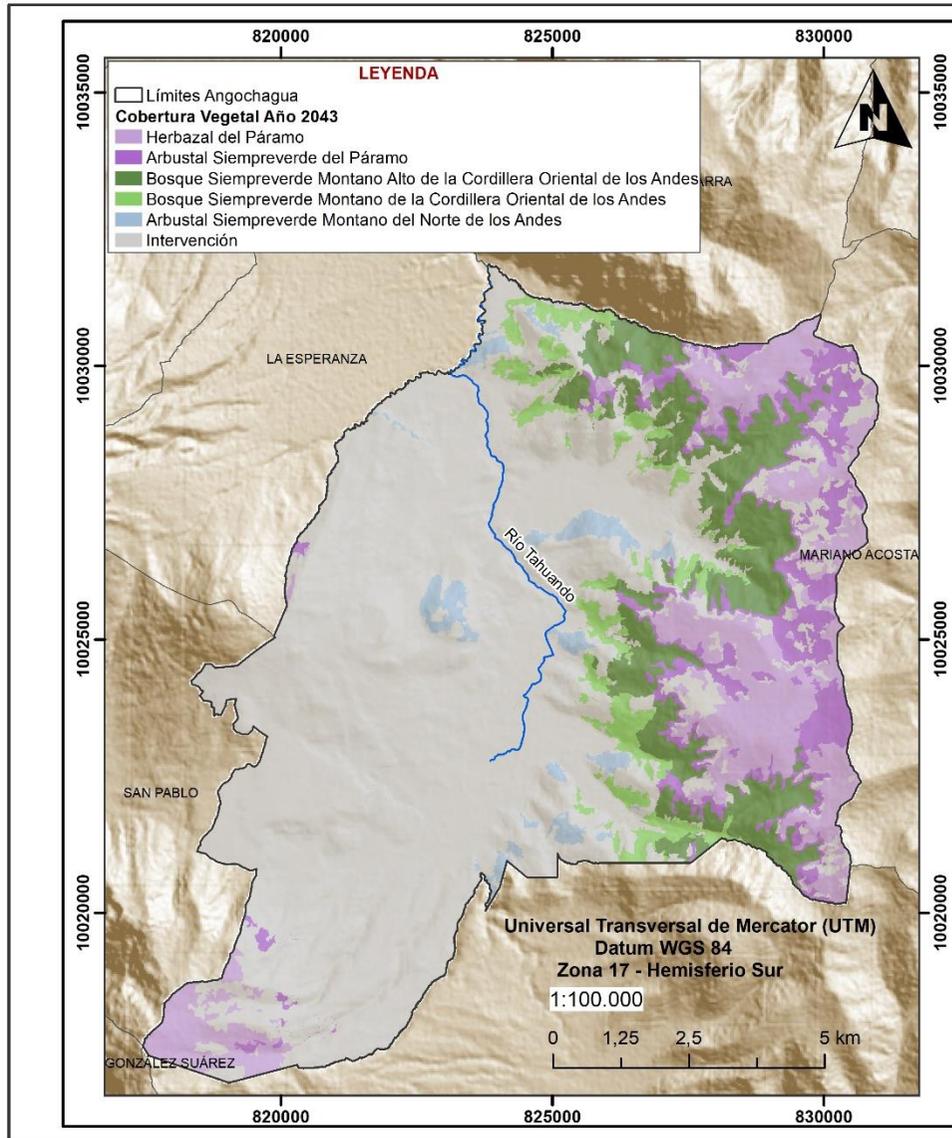
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
MAPA DE ECOSISTEMAS EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA	
ELABORADO POR: Jefferson Tulcán	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales
ESCALA: 1: 100.000	FECHA: 02/mayo/2023
FUENTE: IGM, 2018	Mapa 3 de 9



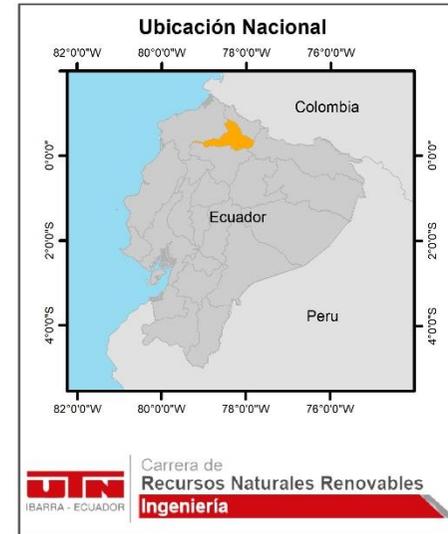
CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PERIODO 1999-2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES	
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES	
MAPA DE CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PERIODO 1999-2021	
ELABORADO POR: Jefferson Tulcán	DIRECTOR: Ing. Oscar Rosales
ESCALA: 1:100.000	FECHA: 03/mayo/2023
FUENTE: IGM, 2018	Mapa 4 de 9



PROSPECTIVA DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL AÑO 2043



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAPA DE CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL AÑO 2043

ELABORADO POR:
Jefferson Tulcán

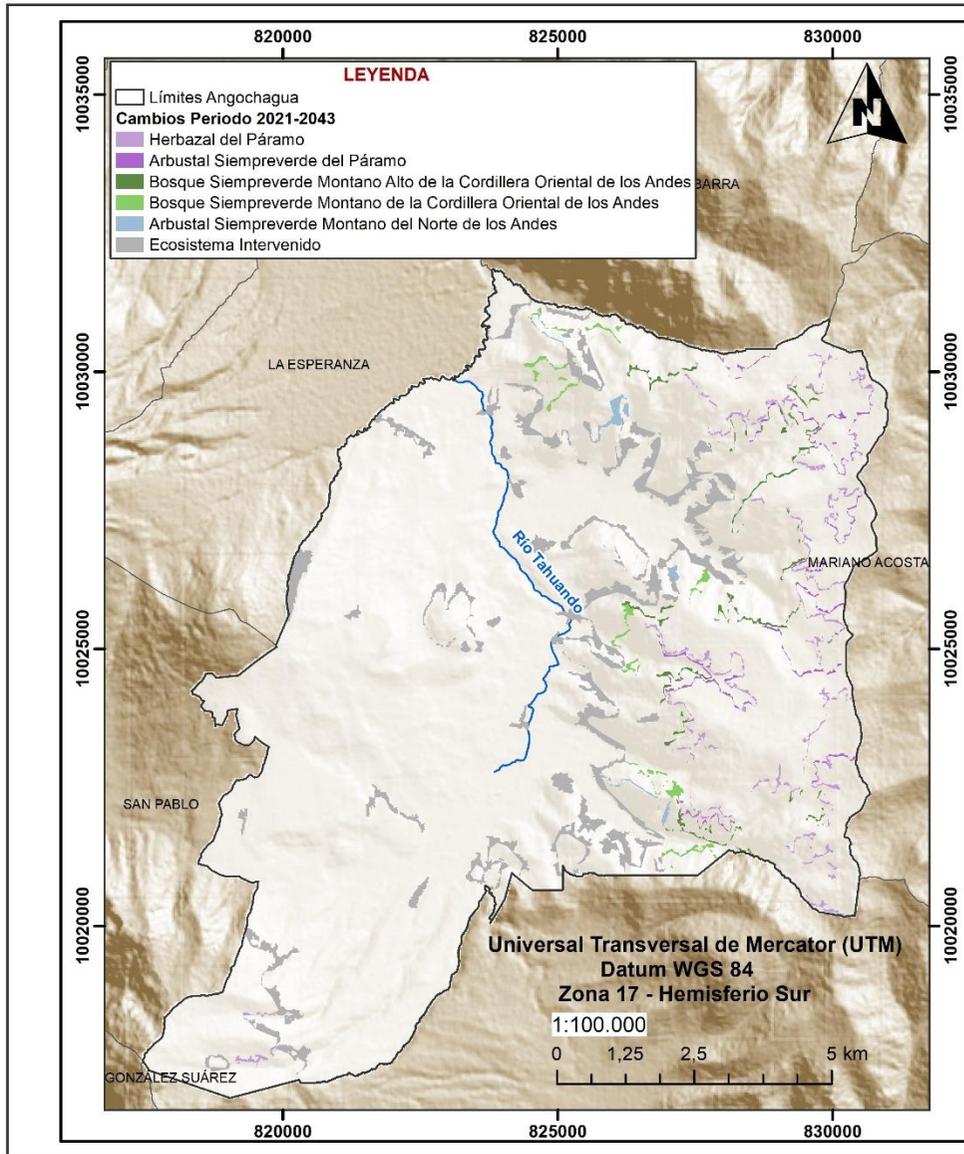
DIRECTOR:
Ing. Oscar Rosales

ESCALA:
1:100.000

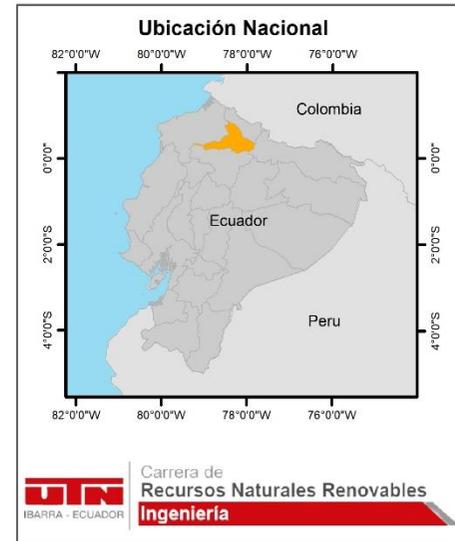
FECHA:
03/mayo/2023

FUENTE:
IGM, 2018

Mapa 5 de 9



CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL PERIODO 2021-2043



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAPA DE CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL PERIODO 2021-2043

ELABORADO POR:
Jefferson Tulcán

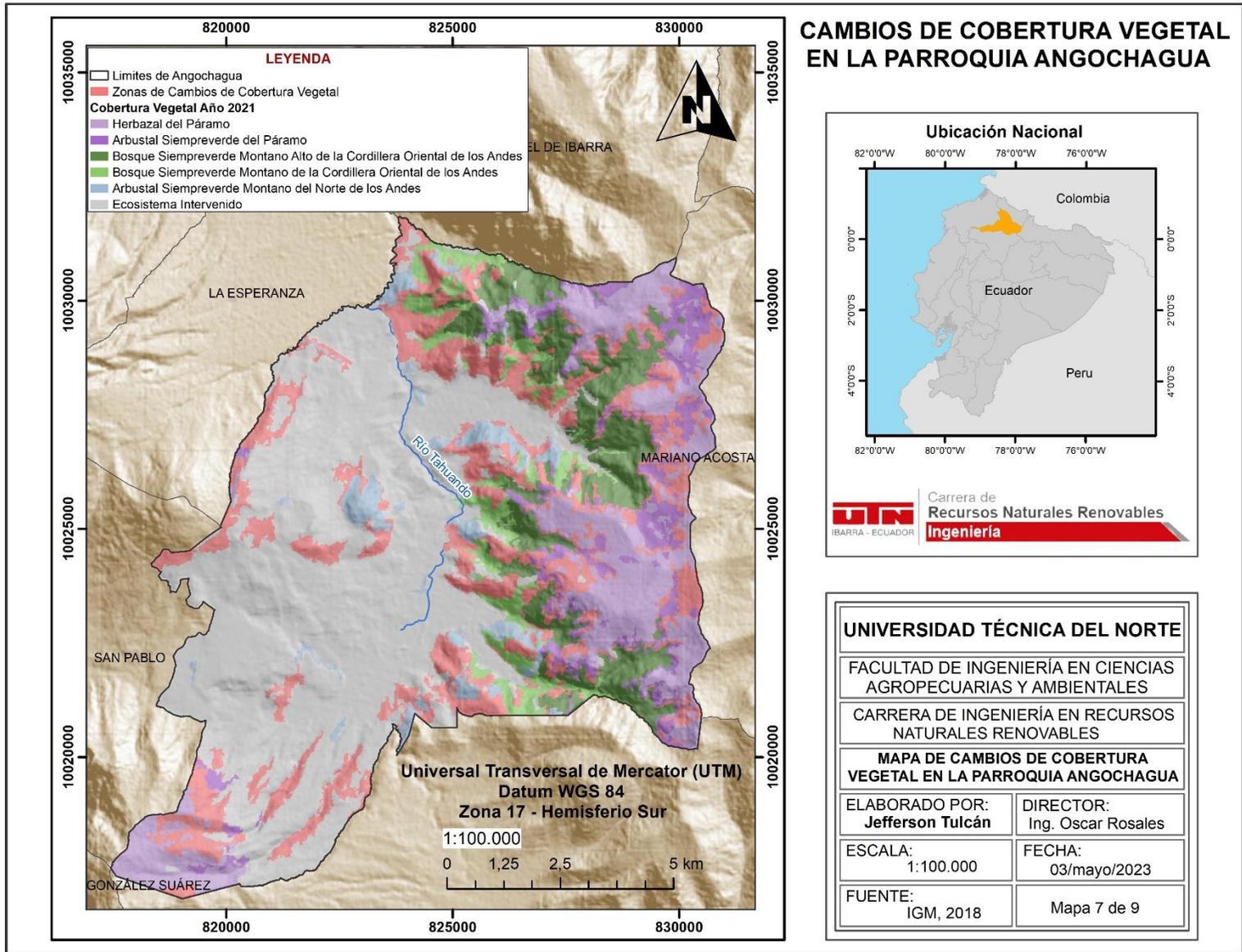
DIRECTOR:
Ing. Oscar Rosales

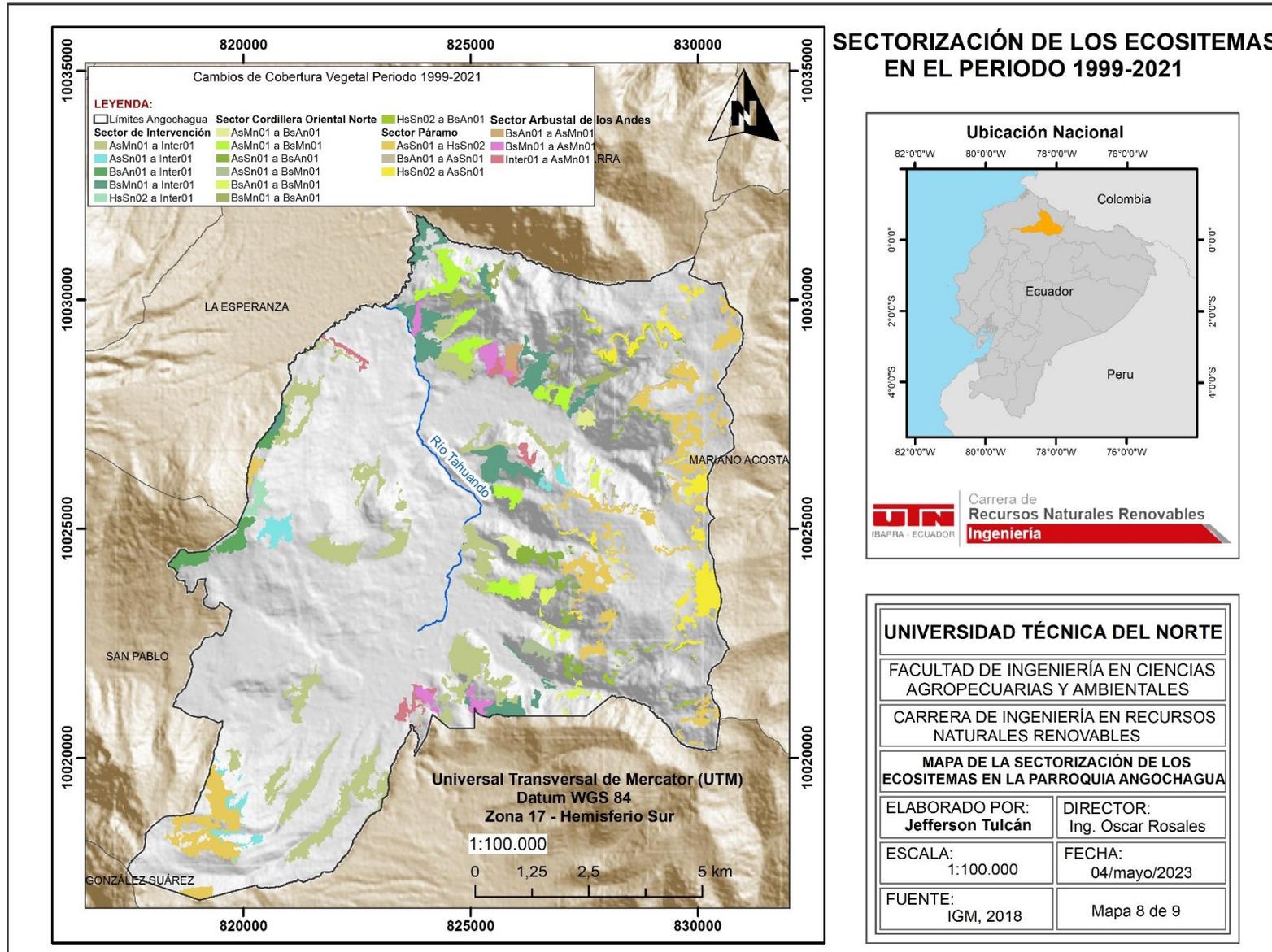
ESCALA:
1:100.000

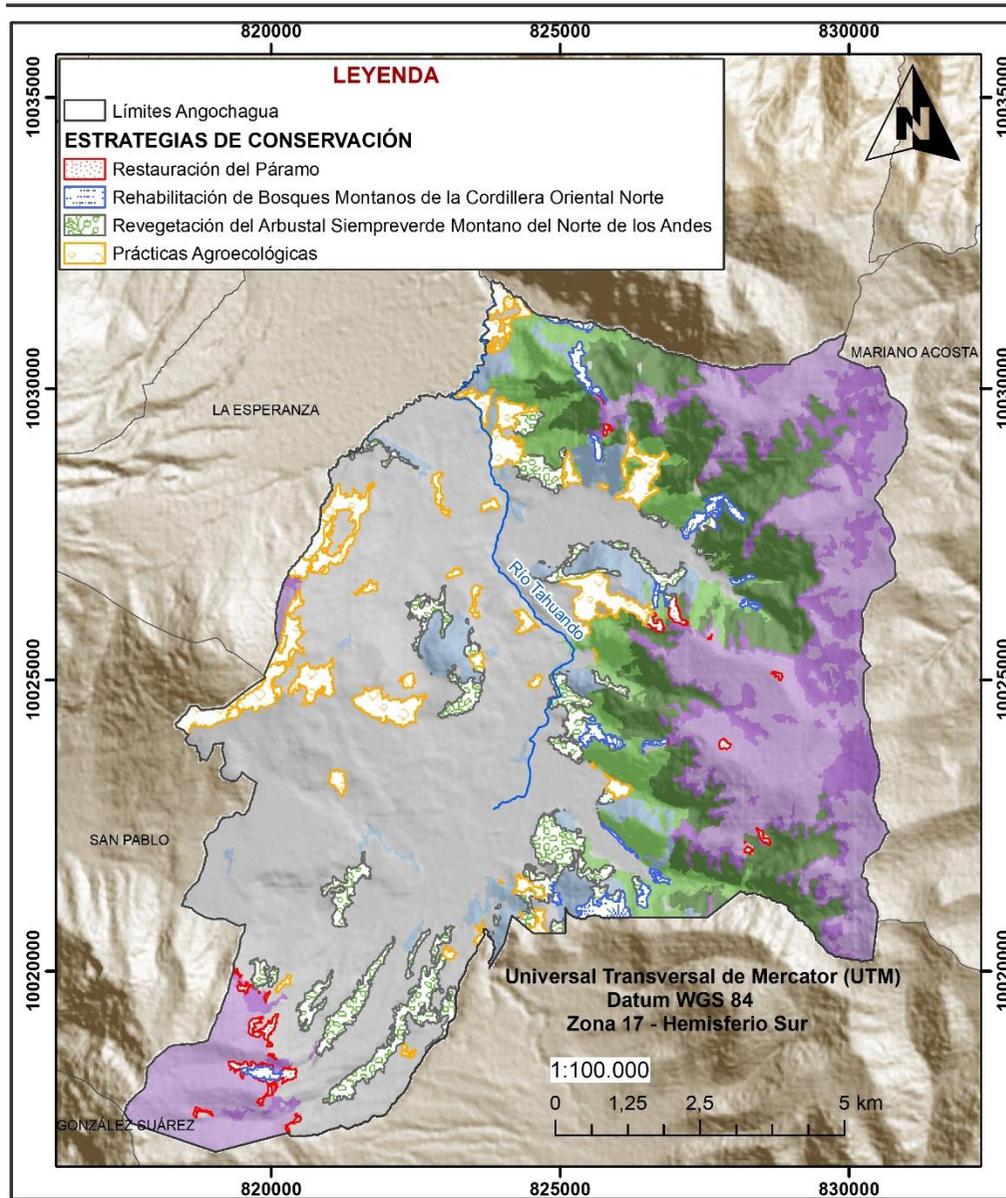
FECHA:
03/mayo/2023

FUENTE:
IGM, 2018

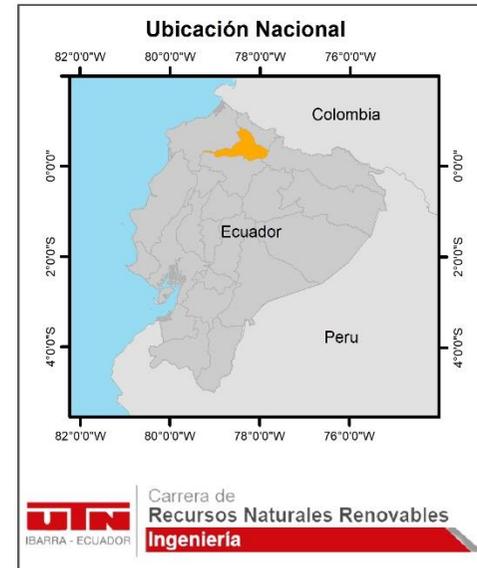
Mapa 6 de 9







ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PARA LOS ECOSISTEMAS EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

MAPA DE ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN PARA LOS ECOSISTEMAS EN LA PARROQUIA ANGOCHAGUA

ELABORADO POR:
Jefferson Tulcán

DIRECTOR:
Ing. Oscar Rosales

ESCALA:
1:100.000

FECHA:
04/mayo/2023

FUENTE:
IGM, 2018

Mapa 9 de 9