



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

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROYECCIÓN
FUTURA PARA EL CANTÓN OTAVALO

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIEROS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES:

Galiano Suárez Mariana Alejandra
Suárez Salazar Jonathan Daniel

DIRECTOR:

Ing. Oscar Armando Rosales Enríquez, MSc.

Ibarra, 2023



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:	1050078912		
APellidos y Nombres:	GALIANO SUÁREZ MARIANA ALEJANDRA		
DIRECCIÓN:	Otavalo		
EMAIL:	magalianos@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL:	0984153893

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROYECCIÓN FUTURA PARA EL CANTÓN OTAVALO
AUTOR (ES):	GALIANO SUÁREZ MARIANA ALEJANDRA SUÁREZ SALAZAR JONATHAN DANIEL
FECHA: DD/MM/AAAA	16/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales MSc.

2. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 16 días del mes de febrero de 2023

EL AUTOR:


.....
GALIANO SUÁREZ MARIANA ALEJANDRA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

3. 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:	1004791800		
APELLIDOS Y NOMBRES:	SUÁREZ SALAZAR JONATHAN DANIEL		
DIRECCIÓN:	Otavalo		
EMAIL:	jdsuarezs@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	-----	TELÉFONO MÓVIL:	0983976784

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROYECCIÓN FUTURA PARA EL CANTÓN OTAVALO
AUTOR (ES):	GALIANO SUÁREZ MARIANA ALEJANDRA SUÁREZ SALAZAR JONATHAN DANIEL
FECHA: DD/MM/AAAA	16/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Oscar Rosales MSc.

4. CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 16 días del mes de febrero de 2023

EL AUTOR:


.....
SUÁREZ SALAZAR JONATHAN DANIEL



**CERTIFICACIÓN TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ibarra, 09 febrero del 2023.

Para los fines consiguientes, una vez revisado el documento en formato digital el trabajo de titulación: "ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROYECCIÓN FUTURA PARA EL CANTÓN OTAVALO", de autoría de la señorita Galiano Suárez Mariana Alejandra y del señor Suárez Salazar Jonathan Daniel estudiantes de la Carrera de **INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**, el tribunal tutor **CERTIFICAMOS** que los autores han procedido a incorporar en su trabajo de titulación las observaciones y sugerencias realizadas por este tribunal.

Atentamente,

TRIBUNAL TUTOR

FIRMA

MSc. Oscar Rosales
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN

MSc. Gabriel Jácome
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

MSc. Tania Oña
MIEMBRO TRIBUNAL TUTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

En este apartado queremos agradecer a todas las personas que han formado parte en nuestras vidas siendo apoyo fundamental para poder culminar nuestra formación académica.

A Dios, por guiarnos y darnos la sabiduría y fortaleza durante todo este largo camino para seguir adelante y cumplir con nuestro objetivo

A nuestros padres por su incansable apoyo, por entregarnos toda su fortaleza y no escatimar ningún esfuerzo para ayudarnos a lograr todos nuestros sueños y metas que a lo largo de nuestra vida no hemos planteado.

A nuestro director Msc. Oscar Rosales por su apoyo y predisposición brindada desde el primer momento, gracias por toda la paciencia y dedicación entregada para ayudarnos a cumplir todas nuestras metas propuestas. De la misma manera queremos agradecer a nuestros asesores Msc. Gabriel Jácome y Msc. Tania Oña, por brindarnos todos sus consejos y acompañamiento para poder culminar nuestro trabajo y que este sea de calidad.

A todos los profesionales del Departamento de Gestión Ambiental de Otavalo, en especial al Ing. José Otálvaro por su predisposición, guía y ayuda brindada para el cumplimiento de nuestro trabajo.

A nuestros amigos y compañeros quienes han formado parte de esta hermosa carrera y fueron nuestro gran apoyo en todo momento, gracias por compartir con nosotros los momentos más difíciles, las alegrías, tristezas y siempre creer en nosotros.

Gracias de todo corazón Mariana y Daniel

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y darme la fuerza suficiente para poder cumplir todos mis sueños.

A mis padres Morayma y Richard, por guiarme durante toda mi vida y ser mi ejemplo de perseverancia, por inculcarme los mejores valores y principios para ser una mejor, por apoyarme en cada uno mis sueños mostrándome que todo lo puedo lograr porque el cielo es límite.

A mis amados hermanos Erika, Andrés y Karina por ser mi fortaleza y pilar durante toda mi vida, sepan que todo lo que hago siempre es pensando por y para ustedes, son mi impulso para querer ser mejor cada día.

A toda mi familia Suárez Galeano por siempre darme una palabra de aliento cuando sentía que no podía, gracias por nunca dejarme caer.

A mi mejor amiga y colega Karlita Vásquez por estos 16 años de amistad, por cada uno de los consejos y apoyo que siempre será mutuo y desinteresado, gracias por ser mi hermana del alma y compartir conmigo el amor por la vida y cuidado de la naturaleza.

A mis amigas Daya y Karencita por todo el apoyo y siempre brindarme una palabra de aliento en todo momento, gracias por compartir conmigo su amistad y cariño.

A mis grandes amigos que conocí en la universidad Jimmy, Vivi y Jazz por ser ese gran apoyo durante toda la carrera, por haber vivido conmigo las aventuras más bonitas y felices de mi vida que sin duda alguna me las llevo en el corazón, gracias por cada uno de sus consejos y sobre todo por compartir la pasión por esta hermosa carrera.

Mariana Alejandra Galiano Suárez

DEDICATORIA

A Dios, por estar siempre a mi lado en cada paso que doy, por darme la oportunidad de adquirir mayor sabiduría e iluminar mi mente y poner en mi camino aquellas personas que sirvieron como soporte, con sus enseñanzas y compañía durante toda la etapa de estudio.

A mis padres por su apoyo incondicional en todo momento, y por ayudarme con los recursos necesarios para culminar mis estudios. Me han brindado todo lo que soy como persona, con excelentes valores, principios y la sabiduría para cumplir con mis objetivos.

A mis hermanos y hermanas, que fueron un apoyo y ejemplo a seguir.

A mi hija Mailen, por ser mi razón de salir adelante y vea en mí un ejemplo de buena persona y un excelente padre, que cumple con sus objetivos.

Jonathan Daniel Suárez Salazar

Índice de Contenidos

RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
Capítulo I Introducción	1
1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte	1
1.2. Problemática de investigación y justificación.....	4
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 Marco Teórico	8
2.1. Marco teórico referencial	8
2.1.1. Cambio de uso de suelo.....	8
2.1.2 Ecosistema y efectos por el cambio de uso de suelo.....	10
2.1.3. Conservación de la diversidad biológica y herramientas para el análisis del cambio de uso de suelo	11
2.1.4. Clasificación supervisada y validación	13
2.1.5. Proyección a futuro	14
2.2. Marco legal.....	15
2.2.1. Constitución de la República del Ecuador	16
2.2.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD).....	17
2.2.3. Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP).....	18
2.2.4. Código Orgánico del Ambiente	18
2.2.5. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)	19
2.2.6. Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales.....	19
2.2.7. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).....	20

2.2.8. Ordenanzas Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo .	21
Capítulo III Metodología.....	22
3.1. Descripción del área de estudio.....	22
3.1.1. Ubicación	22
3.1.2. Tipos de suelo	23
3.1.3. Uso y cobertura del suelo.....	24
3.1.4. Tipos de clima.....	25
3.1.5. Geología y geomorfología.....	26
3.1.6. Zonas de vida	27
3.2. Métodos.....	28
3.2.1. Determinación del cambio histórico del uso de suelo.....	28
3.2.2. Identificación de los conflictos históricos del cambio de uso de suelo cantonal	32
3.2.3. Proyección futura de cambio de uso de suelo del cantón Otavalo	35
3.3. Materiales y equipos	37
Capítulo IV Resultados y Discusión	38
4.1. Cambio histórico del uso de suelo en el cantón Otavalo	38
4.2. Conflictos históricos del cambio de uso de suelo en el cantón Otavalo	48
4.3. Proyección futura de cambio de uso de suelo del cantón Otavalo	56
4.4. Acciones para mitigar los problemas detectados de cambio de uso del suelo	66
Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones.....	70
Referencias.....	71
ANEXOS	85

Índice de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de ubicación del cantón Otavalo	23
Tabla 2. Categorización de suelo Otavalo.....	23
Tabla 3. Uso actual del suelo	24
Tabla 4. Ocupación de suelos.....	25
Tabla 5. Zonas de vida Otavalo.....	28
Tabla 6. Cobertura y usos de suelo del área de estudio.....	30
Tabla 7. Valoración del coeficiente de Kappa	31
Tabla 8. Capacidad de uso de suelo	32
Tabla 9. Aptitud de uso de suelo de acuerdo con las clases agrológicas	33
Tabla 10. Categorías de conflicto de uso de suelo	34
Tabla 11. Matriz de decisión de conflictos	34
Tabla 12. Características de los ráster para ser usados en TerrSet.....	36
Tabla 13. Acciones para la protección del suelo de la Unión Europea.....	37
Tabla 14. Materiales, equipos y software.....	37
Tabla 15. Área en hectáreas del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1993-2012	38
Tabla 16. Aumento y disminución del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1993-2012 en hectáreas y porcentaje.....	45
Tabla 17. Validación de la clasificación de las categorías de cambio y uso de suelo del cantón Otavalo	47
Tabla 18. Área en hectáreas de los conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012	48
Tabla 19. Aumento y disminución de conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012 en hectáreas y porcentaje	55
Tabla 20. Acciones para evitar la pérdida de bosque nativo.....	66
Tabla 21. Acciones para evitar la pérdida de páramo	67
Tabla 22. Acciones para controlar la expansión de la frontera agrícola	68

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	22
Figura 2. Mosaico de ortofotos del cantón Otavalo año 1993	29
Figura 3. Cobertura y uso del suelo del cantón Otavalo	42
Figura 4. Conflictos de uso del suelo del año 1993	49
Figura 5. Conflictos de uso del suelo del año 2002	50
Figura 6. Conflictos de uso del suelo año 2012	51
Figura 7. Conflictos de uso del suelo del cantón Otavalo.....	52
Figura 8. Escenario de uso del suelo proyectado para el año 2031	56
Figura 9. Variación en la superficie de las coberturas durante los años 1993, 2012 y 2031.....	57

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

ANÁLISIS DEL CAMBIO DE USO DE SUELO Y PROYECCIÓN
FUTURA PARA EL CANTÓN OTAVALO

Galiano Suárez Mariana Alejandra

Suárez Salazar Jonathan Daniel

RESUMEN

El cambio de uso del suelo (CUS) se encuentra directamente relacionado a actividades antrópicas generando problemas que afectan a los ecosistemas, ocasionando pérdida y fragmentación de los hábitats. En el presente estudio se analizó el cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo. Para ello se realizó un análisis espacial mediante ortofotografías de los años 1993, 2002 y 2012, que fueron empleadas en un proceso de digitalización en pantalla, y, posteriormente, la clasificación supervisada mediante el método de máxima verosimilitud, obteniendo cartografía de uso del suelo, lo cual fue validado mediante el índice Kappa. Como resultado de la clasificación se obtuvieron 12 categorías de cobertura y usos del suelo, donde se evidenció una pérdida del 0,67% de bosque nativo y 0,20% de páramo en los 19 años analizados, mientras que las áreas de cultivo aumentaron en 2,39%. El valor del índice Kappa obtenido fue de 0,93 que indica una clasificación casi perfecta. En el análisis de conflictos históricos de cambio de uso de suelo se evidenció que el uso adecuado disminuyó en 0,49%, mientras que la sobreutilización aumentó en 0,64%; y la subutilización fue de 1,19%. En la proyección a futuro del cambio de uso del suelo al año 2031 se obtuvo una pérdida de 28,18% de bosque nativo y una disminución de páramo en 12,08%, mientras que las áreas intervenidas se encuentran en constante aumento, dicha tendencia de cambio se mantiene desde 1993. Finalmente, se establecieron acciones para mitigar los problemas detectados de cambio de uso del suelo orientados a: 1) Evitar la pérdida de bosque nativo, 2) Evitar la pérdida del ecosistema páramo, y 3) Controlar la expansión de la frontera agrícola, permitiendo la conservación de los ecosistemas más vulnerables con un criterio sostenible.

Palabras clave: cambio de uso de suelo, conflictos de uso, actividades antrópicas, acciones de mitigación, proyección a futuro.

ABSTRACT

Land use change (LUC) is directly related to anthropic activities, generating problems that affect ecosystems, causing habitat loss and fragmentation. This study analysed land use change in the canton of Otavalo. For this purpose, a spatial analysis was carried out using orthophotographs from 1993, 2002 and 2012, which were used in a digitisation process on screen, and subsequently, the classification was supervised using the maximum likelihood method, obtaining land use cartography, which was validated using the Kappa index. As a result of the classification, 12 land cover and land use categories were obtained, showing a loss of 0.67% of native forest and 0.20% of swamp in the 19 years analysed, while cultivated areas increased by 2.39%. The Kappa index value obtained was 0.93, indicating an almost perfect classification. The analysis of historical land use change conflicts showed that the appropriate use decreased by 0.49%, while overuse increased by 0.64% and underuse was 1.19%. In the future projection of land use change to the year 2031, there was a loss of 28.18% of native forest and a decrease of 12.08% of swamp, while the intervened areas are constantly increasing, a trend of change that has been maintained since 1993. Finally, actions were established to mitigate the detected problems of land use change aimed at: 1) Avoiding the loss of native forest, 2) Avoiding the loss of the swamp ecosystem, and 3) Controlling the expansion of the agricultural frontier, allowing the conservation of the most vulnerable ecosystems with a sustainable criterion.

Key words: land use change, land use conflicts, anthropic activities, mitigation actions, future projection.

Capítulo I

Introducción

1.1. Revisión de antecedentes o estado del arte

El paisaje es una entidad dinámica en técnicas de patrones espaciales, funcionales y estructurales; presenta un grupo de componentes directamente condicionados por la composición de factores biofísicos y socioeconómicos, por lo tanto, muestra características que lo diversifican de otras variables ambientales o territoriales que se toman en cuenta para la gestión de este recurso (Zubelzu y Allende, 2014).

Durante décadas el impacto en el uso del suelo ha sido generado por las actividades humanas o antrópicas y, por ende, existe una degradación de este recurso que modifica el ambiente, resultando en un proceso negativo y perjudicial al desarrollo de la población que ocasiona un bajo rendimiento de los cultivos mediante el avance de la degradación; esta área cultivable con el paso del tiempo se modifica y convierte en área para pastoreo, para luego cubrirse de maleza y finalmente se vuelve en un suelo árido (Encina e Ibarra, 2000).

El suelo presenta varios servicios ecosistémicos o ambientales y considerado como un recurso natural limitado renovable, entre ellos se encuentran los estrechamente relacionados con los ciclos biogeoquímicos de elementos sustanciales para la vida, en estas se encuentra el carbono, nitrógeno, fósforo que de forma continua y por resultado de la energía disponible van de los sistemas vivos a las unidades inertes que componen el planeta, además el suelo es una herramienta natural dependiente de la sociedad para la obtención de alimentos y materia prima (Silva y Correa, 2009; Montanarella, 2015; CONABIO, 2016; OBIO, 2016).

El centro de atención de la investigación ambiental actual son los estudios sobre los procesos de cambio en la cobertura y uso del suelo, debido que estos conllevan implicaciones en relación con la pérdida y disminución de hábitats, diversidad

biológica, servicios ambientales y a su vez la capacidad productiva de los ecosistemas. A nivel mundial, regional y local existen diversos factores que influyen el cambio de uso de suelo los mismos pueden ser ambientales, demográficos, económicos y socioculturales que conjuntamente llegan a generar un deterioro ambiental y una pérdida de biodiversidad biológica (Bocco et al., 2001).

Las actividades humanas y la creciente demanda por bienes como alimento, vivienda, agua potable y servicio ambientales generan constantemente y en amplias escalas geográficas una presión sobre los recursos naturales con grandes impactos que en su mayoría son negativos sobre la estructura, funcionamiento y distribución de los mismos (Challenger et., 2009). Las actividades que más consecuencias han traído sobre la vegetación natural son la ganadería, agricultura y el crecimiento de los asentamientos humanos y las zonas urbanas, las dos primeras han tenido un impacto significativo desde antes de la década de los 70 del siglo XX, la última ha registrado un incremento importante a partir de esa década, constituyéndose en la actualidad en el cambio de uso de suelo más importante de algunas regiones del mundo (Sánchez et al., 2009).

Actualmente, existen tres cambios globales que son bien documentados y de los cuales se ha obtenido información como son el incremento de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, alteraciones en la bioquímica del ciclo global del nitrógeno y los cambios que suceden en el uso del suelo. Los cambios en el uso del suelo tienen importantes implicaciones para los futuros cambios en el clima de la tierra y por consecuencia, grandes implicaciones para los futuros cambios subsecuentes en el uso del suelo (Agarwal et al., 2002).

En México el suelo soporta amenazas, al igual que todos los suelos del mundo, las pérdidas por erosión hídrica son del 56%, por erosión eólica el 28%, por degradación química 12% y por degradación física el 4%. De la misma manera, las actividades humanas que causan degradación en los suelos son la deforestación con 29% del daño, prácticas agrícolas inadecuadas son el 28%, sobrepastoreo el 35% extracción de leña el 7% e industria y urbanización el 1%. Con respecto a la

deforestación, en este país destacan los desmontes agropecuarios con el 82% del daño, tala ilegal el 8%, incendios forestales el 3%, plagas y enfermedades el 3% y cambios autorizados con 2% (Bolaños, 2016).

Muñoz et al. (2018) en su estudio de la agricultura migratoria como un conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas altoandinos en Colombia refiere que actualmente el Cambio de Uso de Suelo (CUS) en el país se ha ocasionado por el aumento de la densidad poblacional y la presión que ocupa la tierra desestabilizando los sistemas naturales convirtiendo a la agricultura migratoria en una causa directa que genera deforestación, pérdida de hábitat, biodiversidad, degradación de los ecosistemas y suelos acelerando de esta manera procesos erosivos en donde el suelo pierde nutrientes y su capacidad para retener agua. En la región andina de Colombia se ha reconocido que las actividades agropecuarias son los principales impulsores de esta dinámica, ya que se han establecido que está relacionado con la accesibilidad de los suelos.

En este país, como CUS, se ha reconocido a las regiones que están entre los 2800 a 3200 msnm de la cordillera central, donde la agricultura ha experimentado cambios enfocados en el uso de fertilizantes fosfatados que en sus componentes contienen cadmio que genera una desestabilización y toxicidad en los suelos y, por tanto, la contaminación en las aguas. En esta franja se ha detectado prácticas de agricultura campesina e indígena que han buscado brindar soluciones y han generado cambios positivos en las propiedades químicas del suelo mejorando la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes del suelo sobre todo en los de bajo de pastos naturales y cultivos forrajeros (Muñoz et al., 2018).

En Ecuador, existen diversos estudios, uno de ellos se enfoca en la Cuenca del río Guayllabamba en donde es notorio el CUS, en esta área es evidente la contaminación del cuerpo hídrico causando un deterioro en las unidades hidrográficas que se alimentan del mismo; en el territorio estos cambios se observan alrededor del área que comprende la cuenca. Este río recibe descargas directas de las aguas residuales que produce la ciudad de Quito en un alrededor del 76%, por

consiguiente, se ve afectada el agua, flora y fauna del sector (Reinoso, 2015). El crecimiento poblacional y varias actividades industriales no controladas también han afectado esta área, provocando la aparición de nuevos neoecosistemas entre ellos se encuentra el proceso de bosquización espontánea por la introducción de especies, una de ellas *Eucalyptus globulus* proveniente de Australia, siendo insertado en la zona andina (Quinga, 2017).

Según Guerrero et al. (2017) en su estudio en la microcuenca de El Sapanal en Ecuador menciona que este lugar posee gran importancia hídrica prestando dotación de agua alrededor de 2000 familias y 32 comunas así como también es refugio de especies del bosque tropical, ayuda en la regulación del microclima y ciclo hidrológico y es aprovechado para la recreación; este lugar pese a todas las actividades positivas que brinda, enfrenta grandes problemas como son la deforestación y la degradación del suelo forestal que causan: erosión, sedimentación, disminución de la captación de agua y sobre recarga de mantos acuíferos, reducción del potencial productivo por la pérdida paulatina de fertilidad de suelos e impacto negativos en la biodiversidad, a todo esto se suma el uso de agroquímicos como pesticidas y fertilizantes que causan daño a las personas, fauna y sistemas acuáticos.

1.2. Problemática de investigación y justificación

Las actividades humanas en la producción de alimentos están directamente relacionadas con el cambio del suelo y de sus propiedades. El desarrollo de la agricultura, la aplicación del riego, mecanización y quimización ha provocado el cambio de las propiedades del mismo, muchas veces estos cambios son silenciosos y son llevados a que el suelo se degrade y pierda su capacidad para producir alimentos. Después de la Segunda Guerra Mundial se incrementó el proceso de degradación de los suelos alrededor del mundo, demostrándose así que en el periodo de 1945-1990 los suelos de los diferentes sectores del planeta se han erosionado en un 17% contra un 6% en el periodo de 1900-1945 (Hernández et al., 2017).

Los cambios de uso de suelo por lo general están separados de los cambios en cobertura del terreno y tipos de vegetación a pesar de sus similitudes, métodos y enfoques (Weng, 2002). Según Brown et al. (2000) en su estudio alude que, en regiones de frontera en donde la economía se basa principalmente en industrias que se dedican a la extracción sobre todo en países en vías de desarrollo, el uso de suelo y la cobertura del terreno son siempre semánticamente equivalentes, por ejemplo, la actividad del uso del suelo asociada a la tala provoca una cobertura del terreno sin arbolado (Lambin et al., 2001). Todo lo contrario, en una economía postmoderna como la mayoría de los países de Europa contemporánea y los Estados Unidos, el uso de suelo y cobertura vegetal son menos equivalentes (Brown et al., 2000).

A medida que los asentamientos humanos crecen se hacen más notorios los cambios en el paisaje, así mismo, la escasa planificación elaborada la mayoría de veces en lugares que afectan directamente a los recursos naturales no son valorados adecuadamente desde una perspectiva ecológica (Ávila, 2009).

El cantón Otavalo, ubicado al sur de la provincia de Imbabura desde épocas pasadas, presenta problemas en cuanto al ordenamiento del territorio, en consecuencia, posee una alta densidad poblacional humana asentada en lugares estratégicos, que ocasionan deterioro y desgaste ambiental que degrada los ecosistemas reflejado en el deterioro de los recursos naturales existentes en el cantón; además, el uso inadecuado del suelo para actividades específicas como la ganadería ha generado diversos problemas como: deforestación, pérdida del suelo por el uso de fertilizantes, quema de páramos y bosques nativos, afectando también al recurso hídrico presente; por otro lado, la escasa conciencia ambiental por parte de los pobladores de estos sectores en su mayoría de la ruralidad es un inconveniente para la población del cantón Otavalo (Morales, 2013).

En el cantón Otavalo, se han identificado varias actividades que se desarrollan principalmente en el sector agrícola y ganadera, mismos que diariamente necesitan de disponibilidad del recurso hídrico, dentro del ecosistema se han identificado un

sin número de problemas ambientales siendo la deforestación y el cambio de uso de suelo como las principales detectadas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [Senplades], 2017).

La presente investigación se enfocó en identificar los cambios de uso de suelo en el cantón Otavalo entre los años 1993, 2002 y 2012, con ayuda de cartografía temática que permitió reconocer las áreas afectadas; con el objetivo de facilitar el planteamiento de acciones enfocadas en el uso futuro y beneficio de los actores del manejo de los suelos dentro del sector y aportar al desarrollo del cantón. Además, se espera lograr que los pobladores desarrollen conciencia ambiental y conozcan que las actividades antrópicas desmedidas afectan a los ecosistemas, ocasionando pérdida y fragmentación de los hábitats.

Así mismo, esta investigación se vincula de forma directa con el objetivo 11 del Plan de Creación de Oportunidades que establece “conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales” (Secretaría Nacional De Planificación, 2021, p. 85). Con relación entre los puntos 11.1, 11.2 y 11.3 de este objetivo, donde se muestra un estricto enlace de conservación, recuperación y regularización en el aprovechamiento de los recursos naturales; de esta forma, las políticas se enlazan al tema principal, orientado en asegurar el cuidado del ecosistema con un enfoque sostenible, que permite regular el comportamiento de las personas, en defensa al derecho de la naturaleza (uso del suelo), asegurando así los recursos naturales para las presentes y futuras generaciones, reduciendo en lo posible la expansión de la frontera agrícola, ganadera y urbana para evitar que los ecosistemas sean más vulnerables ante el cambio de uso de suelo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Analizar el cambio de uso de suelo del cantón Otavalo para la identificación de áreas afectadas con proyección a futuro.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar cartográficamente el cambio histórico del uso de suelo.
- Identificar los conflictos históricos del cambio de uso de suelo cantonal.
- Realizar una proyección futura del cambio de uso de suelo del cantón Otavalo.

1.4. Preguntas directrices de la investigación

¿Cuál es la variación histórica del cambio de uso de suelo en el cantón Otavalo?

¿Cuál es la estimación del cambio de uso de suelo proyectado del cantón Otavalo?

Capítulo II

Marco Teórico

2.1. Marco teórico referencial

2.1.1. *Cambio de uso de suelo*

Las investigaciones sobre el cambio de cobertura y uso de suelo proporcionan información base para conocer tendencias futuras en los procesos de deforestación, degradación, desertificación y pérdida de biodiversidad en un área determinada (Lambin et al., 2001). Las diferentes formas en que se emplea un terreno y su cubierta vegetal se conocen como usos del suelo (SEMARNAT, 2010). Desde un punto de vista geográfico, el uso de suelo y su grado de explotación influyen en las variedades del paisaje y cuando se modifican pueden ocasionar cambios en estos; estos cambios, se encuentran en el centro de la investigación ambiental actual debido a que esto trae consigo implicaciones que conllevan la pérdida del hábitat, biodiversidad, bienes y servicios y la capacidad productiva del ecosistema (Fernández y Prados, 2010).

Las actividades antropogénicas de los últimos años han alteran la estructura, función y composición de los ecosistemas teniendo como consecuencia que en los ecosistemas se presenten problemas de degradación, fragmentación y deforestación de los mismos (Amin et al., 2018; Rodríguez et al., 2018; Yang et al., 2019). La degradación es el deterioro del ambiente mediante el agotamiento de recursos, destrucción de ecosistema y extinción de la vida silvestre, a su vez es un equivalente del aumento en la vulnerabilidad de los ecosistemas operado sobre los componentes físico, ecológicos y sociales; la degradación del suelo afecta la calidad de la cobertura vegetal y la calidad del agua, además de comprometer el potencial biológico y el desarrollo sostenible de los geosistemas asociados (Díaz, 2011).

El estrés adicional que producen las perturbaciones del clima como las sequías reduce la humedad del ambiente provocando incendios que hacen que los ecosistemas sean más vulnerables a una mayor degradación (Dwomoh, 2019). Cortez y Rivera (2022) en su estudio en la Estación Biológica Guandera mencionan que los incendios son una de las principales causas de amenaza para ecosistemas sensibles como el páramo, en este sector se realizan quemas para poder obtener mejores pastos para el ganado en donde muchas veces el fuego se extiende sin control, además, existen factores que causan una acelerada degradación como es el crecimiento de población y urbanización, actividades agrícolas, ganadería, pesca, transporte, industria y tala inmoderada de bosques (Zurrita et al., 2015). Puede tener varios procesos como la erosión, considerado como un fenómeno relacionado a las condiciones climáticas específicas, generalmente en épocas secas y adicionalmente se asocian a cambios fisicoquímicos del suelo, incluidas actividades humanas inadecuadas. Es una forma severa de degradación física estimándose que cerca del 80% de la tierra agrícola en el mundo sufre de erosión moderada a severa y el 10% erosión ligera a moderada (Díaz, 2011).

La fragmentación del hábitat por el contrario es considerada como una de las causas principales de la crisis de biodiversidad, esto debido a la pérdida regional del hábitat, que es causada por la reducción y el aislamiento progresivo de los fragmentos de hábitat, efectos de borde, entre otros, Con la fragmentación y destrucción de un hábitat se produce un cambio progresivo en la configuración del paisaje que puede definirse adecuadamente mediante la tendencia de variables paisajísticas que cambian simultáneamente y que tienen una incidencia perniciosa sobre la supervivencia de las especies afectadas (Santos y Tellería, 2006).

La fragmentación ocasiona una extinción y pérdida de especies, muchas de ellas endémicas debido a la reducción progresiva de los tamaños de población en cada uno de los paisajes fragmentados, la reducción, fragmentación y deterioro del hábitat terminan por producir una atomización de las distribuciones originales de las subpoblaciones que son cada vez más pequeñas y aisladas y que son sometidas

a problemas crecientes de viabilidad genética y demografía (Fahrig, 2003). Existen diversas causas que ocasionan la fragmentación, como procesos geológicos, los cuales lentamente alteran la configuración del medio ambiente físico y sobre todo las actividades humanas, las cual puede alterar el ambiente de una forma rápida en la escala de tiempo. La afectación de la fragmentación se da a todas las especies degradándolas y se ha convertido en una preocupación importante en la biología de la conservación. Las poblaciones que se intenta conservar son cada vez más aisladas y dispersas entre ellas, lo que las hace más vulnerables a la extinción a través de la estocasticidad demográfica y algunas catástrofes (Navarro et al., 2015).

En el cambio de uso de suelo existe también el problema de la deforestación, en donde se destruye desde la superficie forestal, vegetal, arbustos, árboles hasta otras plantas, esto es provocado en su mayoría por la actividad humana ocasionado por talas o quemas realizadas por empresas madereras, así como para la obtención de suelo para usos no forestales como: agricultura, minería, pastizales para ganadería uso urbano entre otros (Sánchez y Reyes, 2015). Según Azqueta et al. (2007) los suelos han perdido su funcionalidad y estructura en las últimas décadas debido a la intensificación de la producción agrícola y el incremento de los niveles de contaminación de origen industrial. El proceso degenerativo se inicia cuando talan los árboles más altos, posterior un lento deterioro de plantas más bajas para finalmente que el suelo quede expuesto a los efectos erosivos del viento, lluvias, el clima se va modificando poco a poco.

2.1.2 Ecosistema y efectos por el cambio de uso de suelo

Según Tansley (1995) el ecosistema es el complejo de organismos en conjunto con los factores físicos de su medio ambiente en un lugar determinado, además es propuesto como una de las unidades básicas de la naturaleza. A partir de su concepción inicial, el ecosistema ha sido ampliamente utilizado como un marco de referencia para poder entender cómo funcionan los seres vivos y su medio ambiente (Armenteras et al., 2016).

Los ecosistemas considerados sistemas complejos incluyen los bosques, ríos, lagos y estos son formados por un conjunto de elementos físico químicos (biotipo) y biológicos (biocenosis o comunidad de organismos), además de las interacciones de los organismos entre sí y con el medio físico; es la unidad formada por factores bióticos que son los integrantes vivos como los vegetales, animales y abióticos siendo componentes carentes de vida. Por ejemplo; minerales y agua en donde se dan las interacciones vitales, fluye la energía y circula la materia, los mismos pueden ser terrestres y acuáticos (Tomas, 2018).

Uno de los efectos que se dan por el cambio de uso de suelo es la pérdida de los hábitats, en donde existe una modificación de las condiciones existentes de una región en un punto en el que no puede sostener las especies que habitan en el ecosistema. Estos cambios generan impactos severos en donde parcial o totalmente las especies resultan afectadas negativamente y el tiempo para su recuperación es extremadamente largo, los efectos de la pérdida de hábitat son mucho más severos que los de la fragmentación (Fahrig, 2001).

Generalmente, esto representa la extinción de las poblaciones tanto de flora como de fauna que habitan en la región, en caso de que la distribución de las especies involucradas en el proceso de pérdida de hábitat esté restringida a las áreas afectadas, la extinción no solo será de la población sino de la especie como tal, por esta razón, es que muchas especies endémicas que se encuentran en ecosistemas que sufren del efecto de pérdida de hábitat sean más vulnerables a la extinción (Fahrig, 2002).

2.1.3. Conservación de la diversidad biológica y herramientas para el análisis del cambio de uso de suelo

En el Ecuador la protección de los recursos naturales y la biodiversidad es débil, la constitución considera únicamente a un ambiente libre de contaminación como un derecho, y señala a la preservación de la naturaleza como un deber del Estado. Las áreas protegidas constituyen el primer medio de conservación *in situ*

de la diversidad biológica, ya que mantienen los ecosistemas frágiles y preservan hábitats que permiten viabilizar la continuidad de poblaciones de especies amenazadas de extinción y de recursos genéticos. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas actualmente ocupa aproximadamente el 19% del territorio nacional (Vásquez y Ulloa, 1997).

Una de las herramientas que pueden ser utilizadas para contrarrestar el CUS y planificar mejor los espacios en las ciudades es el ordenamiento territorial, el cual se encarga de buscar la disposición correcta, equilibrada y armónica de la interacción de los componentes del territorio. Entre ellos, la forma que adquiere el sistema de asentamientos humanos dado su carácter complementario e indisoluble en la formación del territorio, siendo la expresión espacial de los aspectos económico, social, cultural y ecológico en toda la sociedad, la estrategia del ordenamiento territorial implica prever con antelación los impactos en el ambiente que ocasionan las actividades humanas, algunas de las cuales pueden provocar serios deterioros y ser de carácter irreversible de manera que el ordenamiento puede tomar medidas de mitigación o evitarlos antes de que estos impactos o alteraciones ocurran (Gross, 1998).

Según Massiris (2002) se destaca que en América Latina el ordenamiento territorial ha evolucionado históricamente a la par de ciertas opciones de planificación, entre las cuales se destacan la planificación regional, la planificación urbana, planificación económica y la ambiental. Esta evolución se evidencia también en las propuestas de planificación que se han generado desde el Estado ecuatoriano. En este cambio, el ordenamiento territorial se incorpora solamente en los últimos quince años, primero como una política pública y ahora como una política de Estado.

El cambio de uso de suelo y la pérdida de cobertura vegetal es el principal centro de investigación ambiental (Bocco et al., 2001). Actualmente, con los avances de la tecnología existen diversas herramientas para obtener datos de calidad y uno de ellos es la utilización de los sistemas de información geográfica y

a su vez el trabajo de campo va a la par para así entender de mejor manera el cambio de uso de suelo y todos los efectos que estos cambios producen en el ecosistema.

Los Sistemas de Información Geográfica son herramientas actualmente muy utilizadas para determinar, reconocer y comprender cómo se generan fenómenos naturales como inundaciones, incendios, erupciones volcánicas, erosión y cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo para de esta manera evitar afectaciones en el futuro (Almaaitah et al., 2018); (Vijith et al., 2018). La teledetección a través de imágenes satelitales y sensores remotos es una herramienta muy útil para desarrollar sistemas de prevención, seguimiento y evaluación a diferentes escalas espaciales y temporales (Di Bella et al., 2008).

2.1.4. Clasificación supervisada y validación

La clasificación supervisada es usada para la obtención del uso del suelo y cobertura vegetal partiendo de un conjunto descriptivo hacia uno de características para conocer la clase a la que pertenece cada categoría, también se suele denominar como áreas de entrenamiento o aprendizaje. Este tipo de clasificación ha sido aplicada en numerosos ámbitos tanto en la salud como en el ambiente (Willington et al., 2013).

La investigación permite validar la información de cualquier modelo, y debe estar compuesto por tres componentes.

- Verificación de que el modelo esté correctamente construido
- Validación de la estructura del modelo representado adecuadamente el sistema que está siendo modelado.
- Aplicación de un análisis de sensibilidad para conocer la estabilidad del modelo examinando la variación que se producen en los resultados (Orán et al., 2010).

En este caso se utiliza el coeficiente Kappa en donde se calculan los porcentajes de los píxeles que son clasificados (Cerdeira y Villaroel, 2008).

2.1.5. Proyección a futuro

La proyección a futuro es importante en los análisis de cambio de uso de suelo, ya que esta herramienta se emplea para resolver y sobre todo anticipar desastres naturales que afectan al suelo (Yang et al., 2012). La proyección del cambio de uso de suelo de los ecosistemas es complicada, ya que está expuesta a factores humanos y a diferentes escalas (Lambin et al., 2001).

2.1.5.1. Modelo de simulación espacial

Dentro de los diversos métodos y modelos que pueden ser utilizados para conocer la proyección a futuro de los territorios está el modelo de simulación espacial, Henríquez y Azócar (2006) lo utilizan en su estudio para la región del Biobío en Chile, este modelo fue orientado a determinar los usos de suelo futuro, para esto se utilizó SIG Idrisi Kilimanjaro en donde se determinó las probabilidades de transición de las distintas coberturas de suelo para simular la situación a un año mediante el método de Cadena de Márkov, este método puede estimar la tendencia de cambio de un sistema a partir de los estados iniciales, en donde si se conoce el modo en el cual cambian de un uso de suelo a otro en el tiempo se puede conocer cómo podría estar estructurado el paisaje en el futuro (Martí et al., 2004).

2.1.5.2. Método de Evaluación Multicriterio (EMC)

Barredo (1996) y Eastman (2003) establecen este método con el objetivo de definir mediante mapas de aptitudes de uso de suelo para cada una de las categorías determinadas, este permite asignar usos posibles del suelo donde se considere una combinación de factores que sean ponderados sobre las bases de la importancia relativa que le otorgan los conocimientos acumulados. Los factores en base a los cuales se analizan corresponden a criterios que determinan la mayor o menor aptitud que tiene cada pixel para un uso de suelo definido que puede ser de 0 que es nula aptitud hasta 255 como máxima aptitud.

2.1.5.3. Método de Autómatas Celulares

El método de autómatas celulares utilizado por Henríquez y Azócar (2006) en su estudio en Chile menciona su importancia tras obtener resultados de los métodos mencionados anteriormente, este método desarrollo el MSSCUS y es orientado a la estimación del uso futuro para toda el área que se encuentre en estudio, este método y como ventaja sobre los demás es que es de carácter estocástico es decir que ilustra de mejor manera el proceso de urbanización en donde aparecen parches urbanos en el hinterland adyacente, además simula de manera simultánea todos los usos de suelo.

2.1.5.4. Dinámica EGO

La herramienta Dinámica EGO cuyas siglas en ingles se refieren a Environment for Geoprocessing Objects o Entorno para Objetos de Geoprocesamiento ha sido aplicado en estudios de modelado de procesos de deforestación tropical y crecimiento urbano, es flexible y permite el desarrollo sofisticado de CUS y desarrollo de escenarios futuros de cambio (Rodrigues et al., 2007) la dinámica EGO representa el paisaje como un arreglo regular de celdas que interactúan dentro de una cercanía en donde el estado de cada celda depende de los estados previos de las celdas dentro de un mismo vecindario, también se puede trabajar en análisis multicriteriales aplicando evaluaciones de impacto ambiental, planeamiento urbano o de la región con métricas del paisaje para evaluar también la calidad de los hábitats, conjuntamente se puede desarrollar modelos de proyección econométricos los cuales se encargan de predecir las tasas de deforestación basándose en el contexto socioeconómico de los municipios, así también como el desarrollo de modelos para monitoreo de emisiones de carbono (Soarez-Filho et al., 2009).

2.2. Marco legal

El sustento legal de la presente investigación referente a el Análisis del cambio de uso del suelo y proyección futura para el cantón Otavalo, se establece mediante

el análisis de los distintos puntos que conlleva la Pirámide de Kelsen acorde al contexto nacional, tomando como referente principal a la Constitución de la República del Ecuador en un ámbito legislativo, seguidas de normativas legales en vigencia que estén estrechamente relacionadas con el tema de estudio.

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

En el nivel de la Constitución de la República del Ecuador (2008) con base en los Artículos 409 y 410 que constan en el Título VII, Régimen del Buen Vivir, Capítulo II, Sección Quinta, en el tema de suelo, menciona el desarrollo de proyectos de conservación y restauración con respecto al suelo además propone la creación de políticas que sean de manejo público para garantizar una conservación y restauración del suelo sea cual sea su uso.

Además, el Art. 276 de la Constitución describe el objetivo de recuperar y conservar la naturaleza para mantener un ambiente sano y a su vez que sea sustentable, de esta manera se garantiza a la población un acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire, suelo y demás beneficios que brindan los recursos y del patrimonio natural, siendo el suelo el principal punto a tratar en la investigación (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 276).

Finalmente, el Art. 321 de la Constitución de la República del Ecuador detalla que garantiza y reconoce el derecho a la propiedad en todas sus formas debidamente avaladas por la ley, y a su vez dispone el deber de cumplir funciones sociales y ambientales (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 321) a lo que se enlaza lo establecido en el artículo 31 que instaura normas urbanísticas relacionadas a los principios de sustentabilidad, justicia social, respeto a las diferentes culturas urbanas y equilibrio entre lo urbano y lo rural.

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

De acuerdo con el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (2010), la presente investigación toma referencia el Art. 32 donde se establece que la cuenca hidrográfica debe ser competencia exclusiva de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) regionales, los mismos se encargaran de la creación de un consejo de cuenca para su gestión y poder así garantizar los derechos del recurso hídrico y suelo (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2010, Artículo 32).

Desde un punto de vista hídrico la investigación cita el Art. 132 que establece la regulación en el ejercicio y ejecución de la competencia de gestión de cuencas hidrográficas y dispone e indica que los GADs regionales propicien la creación y lideren, una vez constituidos, los consejos de cuenca hidrográfica, los mismos que tienen prohibida la adopción como modelo de gestión que suponga algún tipo de privatización del recurso hídrico, además, regula también el ordenamiento de cuencas hidrográficas mediante la articulación efectiva de los planes de ordenamiento territorial de los gobiernos autónomos descentralizados de la cuenca hidrográfica respectiva (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2010, Artículo 132).

De igual forma se concuerda con los Art. 54, 55, 133, 136, 186 y 294 del mismo modo referentes al suelo como un sujeto en donde se organizan las actividades humanas con el fin del desarrollo local, y esta entidad se encarga de su manejo es el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, 2010, Artículos 54, 55, 133, 136, 186 y 294).

2.2.3. Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPFP)

Por otro lado, el Código Orgánico De Planificación y Finanzas Públicas (2010) en los Art. 42 y 43 puntualizan los requisitos que debe contener la herramienta principal de planificación del desarrollo y ordenamiento territorial en los niveles descentralizados, que es el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) (Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, 2010, Artículos 42, 43).

2.2.4. Código Orgánico del Ambiente

La presente investigación se cita dentro del Código Orgánico del Ambiente (2017) dentro del Art. 5 en su inciso N° 5 menciona a la conservación y uso sostenible del suelo. Además, de los artículos 94 y 99 representan acerca de la conservación de la cobertura vegetal y también amparan a la conservación del uso de suelo de los patrimonios forestales nacionales, páramos, moretales y ecosistemas de manglar, y prohíbe su transformación a suelos agropecuarios (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Artículos 94, 99).

En base en el Art. 118 sobre la restauración ecológica se refiere al suelo degradado como prioridad para su restauración natural, cuya competencia la poseen los Gobiernos Autónomos Descentralizados (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Artículo 118).

Por otro lado, se incluye el Art. 197 sobre las actividades que afecten la calidad del suelo, mismas que serán reguladas y si es el caso, restringidas (Código Orgánico del Ambiente, 2017, Artículo 197). Finalmente, la transitoria sexta hace énfasis que el uso de suelo será evaluado por la Autoridad Ambiental Nacional de las áreas que conforman el Sistema Nacional de Área Protegidas y Patrimonio Forestal Nacional.

2.2.5. Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (LOOTUGS)

De acuerdo con la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo (2016) el proyecto de investigación se centra en el Art. 9 de esta ley define el ordenamiento territorial y destaca que es una obligación para todos los niveles de gobierno; esta ley menciona los instrumentos que deben utilizarse para el ordenamiento territorial local en su Capítulo II, Art. 12, y los clasifica en: instrumentos supranacionales, nacionales y regionales, provinciales, cantonales, parroquiales rurales y regímenes especiales.

Con base en el Art. 27 dispone que los Gobiernos Autónomos Descentralizados y Metropolitanos deberán presentar un plan de uso y gestión del suelo (PUGS) (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo, 2016, Artículo 27).

Seguidamente el Art. 41 regula los polígonos de intervención territorial, a su vez, indica que son las áreas urbanas o rurales definidas por los planes de uso y gestión de suelo, dadas desde la identificación de características ambientales, paisajísticas, urbanísticas, así como de la capacidad de soporte del territorio, o de grandes obras de infraestructura con alto impacto, sobre las cuales se deben aplicar los tratamientos correspondientes con la finalidad de aprovechar sus potencialidades de manera sustentable y sostenible (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión del Suelo, 2016, Artículo 41).

2.2.6. Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales

Como referente al Art. 6 de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales con su última reforma la investigación se relaciona con este punto debido que declara que la protección y uso del suelo rural de producción destinado a garantizar el derecho a la alimentación y a la soberanía alimentaria es de interés público, por lo tanto, se debe tomar las medidas para prevenir la degradación

provocada por el uso intensivo del mismo, es por eso que los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales y Metropolitanos tienen la competencia de declarar zonas industriales y de expansión urbana en suelos rurales que no tengan aptitudes para el desarrollo de actividades agropecuarias (Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2018, Artículo 6).

De igual forma, el Art. 13 regula de manera ambiental a la propiedad rural donde existan ecosistemas frágiles, y dispone que no se podrá ampliar la frontera agrícola o el aprovechamiento agrario existente de tales ecosistemas; sin embargo, existe la posibilidad de realizar este tipo de actividades mediante un instrumento de manejo que cumpla con los parámetros que da la Autoridad Ambiental Nacional (Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2018, Artículo 13).

2.2.7. Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)

En relación a la protección de áreas específicas la investigación posee un correlación con el Art. 16 del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente en su reforma vigente define a los bosques y vegetación protectores como las formaciones vegetales, naturales o cultivadas, arbóreas, arbustivas o herbáceas, de dominio público o privado, que estén localizadas en áreas de topografía accidentada, en cabeceras de cuencas hidrográficas o en zonas que por sus condiciones climáticas, edáficas e hídricas no son aptas para la agricultura o la ganadería e indica que tienen como funciones son las de conservar el agua, el suelo, la flora y la fauna silvestre (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2019, Artículo 16).

Además, el Art. 23 se refiere a que la declaratoria de bosques y vegetación protectora, será de oficio o a petición de parte, y establece la guía interna para la declaratoria, tomando en como habilitantes los datos generales del área a ser declarada, las características ambientales, los aspectos físicos, el uso del suelo y su tipo de cobertura, documentos que acrediten la tenencia del área y el plan de

manejo integral elaborado conforme a las normas vigentes (Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente, 2019, Artículo 23).

2.2.8. Ordenanzas Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo

De acuerdo a las ordenanzas aprobadas por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo, menciona en el Art. 299 del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización establece la coordinación entre los GADs para la formulación de las directrices que orienten la formulación de los planes de desarrollo; y, planes de ordenamiento territorial, a su vez, los Art. 300 y 301, del mismo cuerpo legal regulan la participación en la formulación, seguimiento y evaluación de sus planes; y, la convocatoria a sesiones de los Consejos de Planificación (Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, 2012, Artículo 299).

El uso actual de suelo en el Cantón Otavalo está establecido de la siguiente manera agrícola: 17,91%, pecuaria: 21,97, forestal: 9,05%, erosión del suelo 0,31%, urbano: 7,89% y para conservación alrededor del 42,86%, el mayor porcentaje de uso se destaca para las áreas dedicadas a la conservación además de actividades agrícolas y pecuarias las cuales poseen un gran potencial para la acogida del territorio (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo [PDOT], 2015).

Además, tomando en cuenta la afectación que ha traído los procesos de cambio de uso de suelo, es importante mencionar la ordenanza de declaración del área de conservación municipal "Taita Imbabura" de acuerdo al "Estudio de Alternativas de Manejo". Por ello es fundamental la conservación y proyección futura del cambio de uso del suelo (Ordenanza para declaratoria del Área Ecológica de Conservación del Taita Imbabura, 2012).

Capítulo III

Metodología

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El cantón Otavalo está ubicado al norte del Ecuador y al sur de la provincia de Imbabura (Figura 1). La ciudad forma parte del callejón interandino norte, localizada alrededor de 110 km de la capital del país (Quito) y a aproximadamente a 20 km de la ciudad de Ibarra, posee un rango altitudinal de 960 a 4.440 msnm (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo [GADMO], 2012).

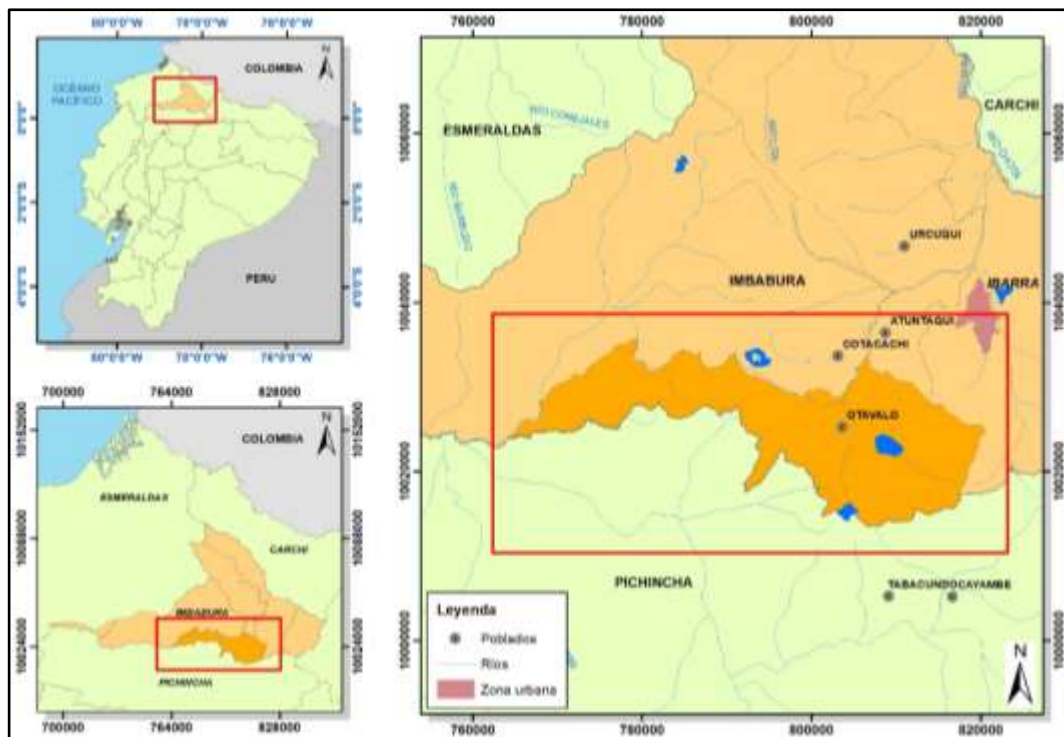


Figura 1. Ubicación del área de estudio

Otavalo limita al norte con los cantones Cotacachi, Antonio Ante e Ibarra; al sur el cantón Pedro Moncayo y el Distrito Metropolitano de Quito; al este con los cantones Ibarra y Cayambe (Pichincha) y al oeste con el Cotacachi, con las

siguientes coordenadas (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Otavalo [GADMO], 2015).

Tabla 1. Coordenadas de ubicación del cantón Otavalo

Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
Norte	783315	10037045	2200
Sur	808351	10013402	3960
Este	819894	10025027	3640
Oeste	764355	10024121	960

Fuente: GADMO (2022)

Con base en la información conferida por el Gobierno Municipal de Otavalo, se detalla que la extensión del cantón es de 53110,9 hectáreas, distribuidas en 11 parroquias, 9 rurales: Eugenio Espejo, González Suárez, Miguel Egas Cabezas, Quichinche, San Juan de Ilumán, San Rafael, San Pablo del Lago, San Pedro de Pataquí y Selva Alegre; y 2 urbanas: San Luis y el Jordán (Secretaría Técnica del Comité Nacional de Límites Internos [CONALI], 2014).

3.1.2. Tipos de suelo

De acuerdo con un estudio realizado por GADMO (2015), el cantón Otavalo presenta distintos tipos de suelo clasificados en tres principales órdenes (Tabla 2), donde los dos primeros y más antiguos provienen de las cenizas volcánicas son Inceptisoles y Mollisoles mientras que, el tercero presenta escasa meteorización perteneciente a los suelos Entisoles. De estos tres tipos de suelos en la superficie cantonal prevalece el Inceptisol, ya que cubre alrededor del 85% de la cobertura total.

Tabla 2. Categorización de suelo Otavalo

Orden	Área (ha)	%
Inceptisoles	49007,60	84,80
Inceptisoles – Mollisoles	92,30	0,16
Mollisoles	4344,60	7,52
Mollisoles – Inceptisoles	109,40	0,19
Entisoles – Mollisoles	387,40	0,67
Entisoles	2666,70	4,61

Sin Suelo (Urbanos, Cuerpos de agua)	1187,10	2,05
Total	57795,10	100

Fuente: GADMO (2015)

Observando la Tabla 2, el tipo de suelo con mayor extensión ocupacional con respecto a la superficie total del cantón es el Inceptisol con una extensión de 49007,6 hectáreas; mientras que, el de menor superficie corresponde a la asociación de suelos Inceptisol- Mollisol con 92,3 hectáreas, con una diferencia de 48914,3 hectáreas.

Además, dentro del cantón existen grandes grupos de suelos como en la parroquia de Quichinche donde se evidencia un grupo de Vitrandepts, en Selva Alegre Dystrandeps, en las zonas altas o frías como Mojanda y el volcán Imbabura Cryandeps, en las partes planas del contorno de la ciudad y laguna de San Pablo se localizan a los Eutrandeps y la zona oriente del cantón los Entisoles (Morales, 2013; GADMO, 2015).

3.1.3. Uso y cobertura del suelo

En el trabajo publicado por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Otavalo (GADMO, 2015) se muestra que los suelos con mayor porcentaje son territorios destinados a la conservación y productividad agrícola y pecuaria, poniendo énfasis en la potencialidad de producción alimentaria y la generación de servicios ambientales (Tabla 3).

Tabla 3. Uso actual del suelo

Uso general	Porcentaje (%)	Categorías de Uso	Superficie (Ha)	Porcentaje (%)
Agrícola	17,91	50% Pasto Cultivado-50% Cultivos de Ciclo Corto	293,83	0,59
		Cultivo Bajo Invernadero	79,45	0,16
		Cultivo Ciclo Corto	5.882,11	11,81
		Cultivo de Caña	131,41	0,26
		70% Cultivo Ciclo Corto/ 30% Pasto Cultivado	754,39	1,51
		70% Arboicultura Tropical/ 30% Vegetación Arbustiva	1.779,06	3,57
		Pasto Cultivado	8.941,86	17,96

Pecuaria	21,97	70% Pasto Cultivado/30% Arboricultura Tropical	368,17	0,74
		70% Pasto Cultivado/30% Cultivos de Ciclo Corto	637,77	1,28
		70% Pasto Cultivado/30% Vegetación Arbustiva	759,67	1,53
		50% Pasto Cultivado-50% Vegetación Arbustiva	190,42	0,38
Forestal	9,05	70% Pasto Cultivado-30% Área Erosionada	42,84	0,09
		Arboricultura Tropical	95,14	0,19
Erosión	0,31	Bosque Intervenido	4.413,19	8,86
Urbano	7,89	Área Erosionada	155,29	0,31
		Área Urbana	3.930,30	7,89
Conservación	42,86	Bosque Nativo	5.293,01	10,63
		Bosque Plantado	107,78	0,22
		Cuerpo de Agua	761,94	1,53
		Erial	43,74	0,09
		Humedal	66,44	0,13
		Páramo	5.658,81	11,36
		Vegetación Arbustiva	6.797,30	13,65
		70% Vegetación Arbustiva/ 30% Pasto Cultivado	2.613,05	5,25
		Total	49796,97	100

Fuente: GADMO (2015)

En el cantón existen estribaciones donde no se evidencia la ocupación o utilización de áreas territoriales superficiales de manera óptima (Tabla 4), y en su lugar es incuestionable el subuso y sobreuso de zonas importantes como: el volcán Imbabura, los alrededores de la parroquia Selva Alegre y el páramo de Mojanda.

Tabla 4. Ocupación de suelos

Suelo	Porcentaje %
Suelo subutilizado	28,84
Suelo sobre utilizado	31,34
Total	60,58

Fuente: GADMO (2015)

3.1.4. Tipos de clima

El cantón Otavalo se encuentra dentro del callejón interandino, por esta razón posee una orografía variada que establece y determina distintos tipos de pisos altitudinales: en las partes más altas se ubican los pisos montanos y subalpinos y en las partes más bajas los pisos montano bajo y premontano. La altitud es un factor determinante de la precipitación y evapotranspiración, ya que la temperatura está

relacionada de manera inversamente proporcional a la altitud (GADMO, 2015; Santamaría, 2011). En este sentido, según la clasificación climática propuesta por Pourrut (1995) los tipos de clima del cantón Otavalo son: Semihúmedo Mesotérmico, Ecuatorial Frío de Alta Montaña y Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo a Húmedo.

3.1.5. Geología y geomorfología

El cantón Otavalo se encuentra en zonas de rocas cretácicas volcano-sedimentarias y metamórficas, además con algunos depósitos de sedimentos de formaciones silante, estudiadas a una edad que varían desde el periodo Cretáceo Superior hasta el Paleoceno, que recubren áreas donde se observan restos volcánicos plio-cuaternarios (Morales, 2013).

El sector está dominado por una topografía de forma irregular y pendientes pronunciadas con una variedad de relieves montañosos que facilitan la erosión; al mismo tiempo, el cantón presenta terrenos característicos formados por valles en forma de V que se distribuyen uniformemente a lo largo de la dirección noroeste a sureste con depósitos de la época cuaternaria con una extensión de 100 km² superficial (GADMO, 2015; Salcedo, 2018). Teniendo en cuenta a Morales (2013), existen 6 tipos de pendientes que predominan el total de la superficie del cantón: el relieve plano, ondulado, ligeramente ondulado, montañoso, muy montañoso y escarpado, de los cuales el relieve montañoso presenta mayor porcentaje respecto a la superficie total del cantón Otavalo, seguida del relieve plano.

En cuanto a la geología la primera formación volcánica es el complejo Cotacachi – Cuicocha que se encuentra formado de tobas dacíticas de finales del Plioceno que llega desde el occidente del cantón y cubre gran parte de las parroquias Quichinche y Selva Alegre, al noroeste se identifica el complejo volcánico Imbabura - Cubilche considerado como potencialmente activo conformado por tres edificios volcánicos conocidos como Taita Imbabura, Loma Artezón y Huarmi Imbabura, formados principalmente por flujos de lava andesíticas, dacíticas,

bloques y ceniza de un período similar; el mayor aporte en extensión y forma representativa es el complejo volcánico Mojanda – Fuya Fuya mismo que forma parte del nudo Mojanda – Cajas que separa las hoyas del Chota y Guayllabamba, tiene forma de caldera y en su interior se encuentran las lagunas Caricocha, Huarmicocha y Yanacocha este complejo está formado por lavas andesíticas y dacíticas las cuales tienen dirección predominante del flujo hacia el centro del cantón que va de sur a norte, influenciado por los depósitos riódacíticos de Mojanda (Jácome et al., 2020).

3.1.6. Zonas de vida

Ecuador posee 32 zonas de vida y formaciones vegetales, desde glaciares volcánicos hasta bosques tropicales (Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE], 2012). Puntualmente, las zonas de vida que componen el cantón Otavalo según la Tabla 5 presentada por Morales (2013), corresponden a nueve zonas con un total de superficie del 100 % correspondiente a 50248,01 hectáreas, de las cuales la forma principal es la asociación del bosque muy húmedo montano- bosque húmedo montano bajo con 34,39 %, de donde se obtiene que estas formaciones son muy frecuentes en las zonas de las partes altas de la parroquia de Selva Alegre, Mojanda y Cusín análogamente, el bosque húmedo montano bajo con un 17,74 % que con frecuencia se localiza en partes de la ciudad y principalmente en la cuenca del Lago San Pablo.

En sectores de la parroquia Selva Alegre, el bosque el Quinde y cubriendo casi en su totalidad la parroquia de Pataquí se encuentran el Bosque Húmedo Montano Bajo - Bosque Húmedo Premontano que abarcan un porcentaje del 16,53 % y equivalente al mismo valor se identifica el bosque Húmedo Montano en las zonas situadas en Cajas, Cerro Blanco y en fundamentalmente a las lagunas de Mojanda.

Tabla 5. Zonas de vida Otavalo

Id	Zonas de vida	Simbología	SUP (ha)	SUP (%)
1	Bosque muy húmedo Montano - Bosque húmedo Montano Bajo	bmhM - bhMB	17 284,46	34,39
2	Bosque húmedo Montano Bajo	bhMB	8 611,62	17,14
3	Bosque húmedo Montano Bajo - Bosque húmedo Premontano	bhMB - bhPM	8 304,76	16,53
4	Bosque muy húmedo Montano	bmhM	8 117,91	16,16
5	Bosque húmedo Montano - Bosque seco Montano Bajo	bhM - bsMB	2 460,18	4,9
6	Paramo Subalpino - Bosque húmedo Montano	pSA - bhM	2 185,31	4,35
7	Bosque húmedo Premontano	bhPM	1 756,55	3,5
8	Páramo pluvial Subalpino - Bosque muy húmedo Montano	ppSA - bmhM	1 464,47	2,91
9	Bosque húmedo Montano	bhM	62,75	0,12
	Total		49,022,5	100

Fuente: Morales (2013)

3.2. Métodos

En base a investigaciones de diferentes autores se plantearon los siguientes métodos con el fin de desarrollar los objetivos descritos.

3.2.1. Determinación del cambio histórico del uso de suelo

Para determinar el cambio histórico del uso de suelo a nivel cantonal, se realizaron las siguientes actividades.

3.2.1.1. Obtención de ortofotos

Para la determinación del cambio de uso de suelo se elaboró cartografía temática, empleando las ortofotos digitales de los años 1993, 2002 y 2012 que fueron adquiridas en Instituto Geográfico Militar (Instituto Geográfico Militar [IGM], 2021).

3.2.1.2. Procesamiento de ortofotos

En el procesamiento de imágenes se utilizó las ortofotos del cantón Otavalo proyectadas en el sistema WGS 1984 UTM 17N, las cuales fueron empleadas para

digitalizar en pantalla las categorías del uso del suelo, mediante el uso de las herramientas *Georeferencing e Image Analysis*, que permitieron georeferenciar mediante puntos de control cada una de las fotografías aéreas, considerando como referencia geográfica la toponimia constituida por ríos, lagunas, lagos, infraestructuras, poblados y vías presentes tanto en las fotografías como en los archivos shapefile del IGM (2017), posteriormente se realizó la proyección al sistema de coordenadas WGS 1984 UTM zona 17S.

Posteriormente, con las ortofotos corregidas y georeferenciadas se procedió a la unión de las ortofotos mediante la generación de un mosaico (Figura 2) en el cual se verificó la compatibilidad de las fotografías, visualizando la representación espectral de las mismas. Finalmente, las imágenes fueron recortadas con el límite del cantón Otavalo por medio de la herramienta *Extract by mask* del software ArcMap 10.8.

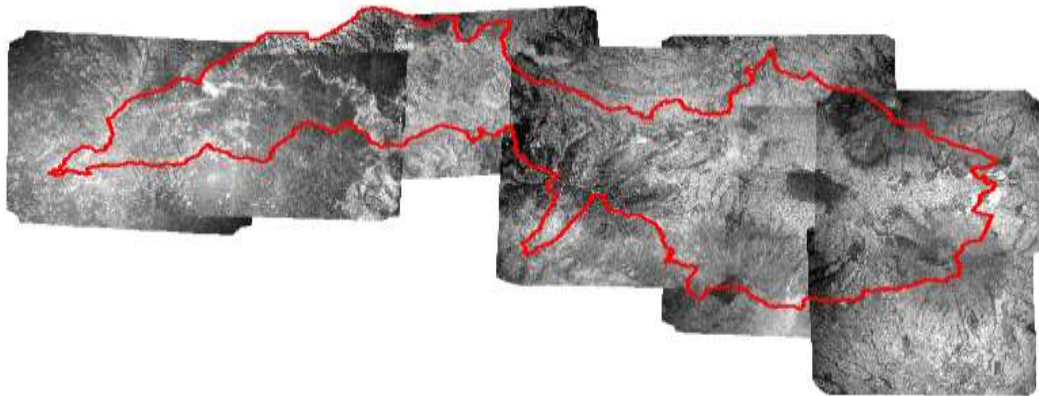


Figura 2. Mosaico de ortofotos del cantón Otavalo año 1993

3.2.1.3. Clasificación supervisada

Se obtuvieron los diferentes tipos de uso del suelo y cobertura vegetal de los años de estudio (Tabla 6), aplicando la técnica de clasificación supervisada mediante el Método de Máxima Verosimilitud con el software ArcGIS 10.8 @, en el cual se consideraron 1.400 áreas de entrenamiento, las cuales permitieron la edición de polígonos de cada una de las categorías de uso de suelo para elaborar cartografía de cobertura vegetal y cambio de uso de los años 1993, 2002 y 2012 (Vijith et al., 2018).

Tabla 6. Cobertura y usos de suelo del área de estudio

Código	Coberturas
1	Bosque Nativo
2	Plantación forestal
3	Vegetación arbustiva
4	Vegetación herbácea
5	Páramo
6	Mosaico Agropecuario
7	Pastizal
8	Cultivo
9	Superficie cubierta de agua
10	Poblados
11	Infraestructura
12	Áreas sin vegetación

Finalmente, a los polígonos de las categorías de uso de suelo se aplicó un filtro de reducción de superficie con el objetivo de eliminar áreas menores a 2.5 hectáreas considerando el área mínima cartográfica a escala 1:25000; usando la herramienta *Eliminate* del software ArcGIS 10.8 ® (Morales et al., 2016).

- Tamaño de la muestra para validar la clasificación

Para el establecimiento de puntos aleatorios, se aplicó la fórmula del tamaño muestral para obtener una muestra representativa del área de estudio, con un nivel de confianza del 85% (Gallego, 2004).

$$n = \frac{\frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 * p(1 - p)}{e^2 N}}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra buscado

N: Tamaño de la población

e: Es el margen de error

Z: Es el nivel de confianza

p: probabilidad a que el evento ocurra (éxito)

1-p: probabilidad de que el evento no ocurra (fracaso)

3.2.1.4. Validación de la clasificación supervisada

Después de realizar la clasificación de las imágenes se crearon 114 puntos aleatorios con la herramienta *Create random points* en el software ArcGIS 10.8®, los cuales fueron exportados a la aplicación Google Earth para realizar una comparación entre los puntos predichos en la clasificación y los puntos reales. Posteriormente, se realizó el cálculo de la matriz de contingencia; esta matriz de error o contingencia según Hernández et al. (2016) permite resumir datos y evaluar la exactitud de una clasificación para obtener como resultado una mayor confiabilidad de la clasificación supervisada. Finalmente, se aplicó el índice de Kappa (Tabla 7) el cual permitió evaluar la concordancia de la clasificación, es decir, si la clasificación se acerca o aleja del valor esperado que varían entre cero y uno (Cerde y Villarroel, 2008), si el valor está cercano a 1 la concordancia será mayor y mientras más lejano a 1 la discordancia aumenta.

Tabla 7. Valoración del coeficiente de Kappa

Coeficiente de Kappa	Fuerza de concordancia
0.00	Pobre
0.01-0.20	Leve
0.21-0.40	Aceptable
0.41-0.60	Moderada
0.61-0.80	Considerable
0.81-1.00	Casi perfecta

Fuente: Landis y Koch (1997)

Finalmente, se verificó el grado de concordancia de las clasificaciones mediante el uso de la calculadora online *Confusion matrix* (Vanetti, 2007) (<https://www.marcovanetti.com/pages/cfmatrix/?noc=5>).

3.2.1.5. Determinación del cambio de uso de suelo

El cambio de cobertura y uso del suelo se determinó calculando las superficies de los tipos de coberturas y uso del suelo que existieron en los años 1993, 2002 y

2012. Además, se procedió a cartografiar las categorías del uso de suelo de los años mencionados con la finalidad de representar geográficamente los cambios de uso de suelo en el cantón.

3.2.2. Identificación de los conflictos históricos del cambio de uso de suelo cantonal

Para identificar los conflictos históricos del uso de suelo a nivel cantonal, se realizaron las siguientes actividades.

3.2.2.1. Determinación de la capacidad de uso de suelo

Para determinar la capacidad de uso de suelo se utilizó archivos en formato *shapefile* referente a las variables de pendientes del suelo, profundidad, salinidad, drenaje y fertilidad, obtenidas del Sistema Nacional de Información (SNI, 2017) para la reclasificación de las pendientes utilizando como base la Tabla 8, el software ArcGIS 10.8®, en especial la herramienta *Slope* (Unión de Estudios Ambientales Río Guarínó, 2018).

Para calcular este parámetro, la metodología estuvo determinada por las clases agrológicas, debido a que es el método más usado a nivel global y es preferido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), ya que permite determinar la capacidad de uso de suelo a través de 8 clases detalladas en la Tabla 8.

Tabla 8. Capacidad de uso de suelo

Clase Agrológica	Pendiente %	Profundidad	Fertilidad	Drenaje	Salinidad
I	0 – 2	Muy profundo	Muy buena	Bueno	Nula
II	2 – 5	Profundo a moderado	Buena	Bueno a corregible	Nula a ligera
III	5 – 9	Profundo a moderado	Buena a moderada	Moderado a imperfecto	Nula a moderada
IV	9 – 20	Profundo a delgado	Moderada a baja	Imperfecto	Nula a severa
V	Menor a 5	Moderado a delgado	Baja	Imperfecto a muy pobre	Nula a severa

VI	5 – 30	Profundo a delgado	Variable	Bueno a muy pobre	Nula a severa
VII	30 – 60	Profundo a delgado	Variable	Bueno a muy pobre	Nula a severa
VIII	60 o más	Moderado a delgado	-	-	Nula a severa

Fuente: Servicio Agrícola y Ganadero Chile (2011)

3.2.2.2. Determinación del uso potencial

Para determinar el uso potencial de suelo se consideraron las clases agrológicas propuestas en la Tabla 9, que permitieron clasificar la aptitud del uso del suelo de acuerdo con las clases descritas a continuación:

Tabla 9. Aptitud de uso de suelo de acuerdo con las clases agrológicas

Clases de capacidad de uso de suelo	Aptitud de uso preferente
I II	Suelo con potencial agrícola
III IV	Suelo con potencial agrícola con limitaciones
V VI VII	Suelo con potencial ganadero forestal
VIII	Suelo con potencial para la vida silvestre

Fuente: Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo de Chile (2012)

3.2.2.3. Conflictos de uso

Se utilizó el aporte metodológico propuesto por SENPLADES (2011), que permitió establecer los conflictos de uso de suelo del cantón; este método consistió en utilizar la información del mapa de capacidad de uso de suelo con sus respectivas clases agrológicas, además del aporte de la clasificación de conflictos de uso de suelo detallado en la siguiente tabla:

Tabla 10. Categorías de conflicto de uso de suelo

Categoría de conflicto	Descripción
Uso Adecuado o sin conflicto	Este punto sucede cuando el uso actual tiene correlación con la aptitud de uso de suelo, permitiendo que no exista cambios en el deterioro del recurso, manteniendo una garantía en la sustentabilidad de los recursos.
Conflicto por subutilización	Este aspecto se produce cuando el uso actual tiene actividades a nivel inferior a la aptitud de uso de suelo. Especialmente en estas áreas en comparación con la mayor capacidad productiva de las tierras el uso actual es menos intenso.
Conflicto por sobreutilización	<p>Baja: cuando se provoca una degradación mínima y el uso se acerca al uso principal.</p> <p>Media: cuando se causa degradaciones medias y bajas, especialmente porque el uso actual está por superior a dos niveles que el de aptitud.</p> <p>Alta: esto es produce alta degradación y baja productividad, en donde el uso actual supera en tres niveles en adelante a la aptitud del suelo.</p>

Fuente: Sánchez (2016)

3.2.2.4. Clasificación de conflictos de uso

Para clasificar los conflictos de uso de suelo, se elaboró la matriz propuesta por SENPLADES (2011) (Tabla 11), que permitió evaluar de acuerdo con los caracteres de compatibilidad o discrepancia entre el uso actual y la capacidad de uso.

Tabla 11. Matriz de decisión de conflictos

CLASES DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL	CLASES DE CAPACIDAD DE USO DE SUELO							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Bosque Nativo	A	A	A	A	A	A	A	A
Plantación Forestal	S	S	S	A	A	A	O1	O2
Vegetación Arbustiva	S	S	S	S	S	S	A	A
Vegetación Herbácea	S	S	S	S	A	O1	O2	O3
Páramo	A	A	A	A	A	A	A	A
Mosaico Agropecuario	A	A	A	A	O1	O2	O2	O3
Pastizal	S	S	S	A	A	O2	O3	O3
Cultivo	A	A	A	O1	O1	O2	O3	O3

Superficie Cubierta de Agua	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Área poblada	S	S	S	S	A	A	A	A
Infraestructura Antrópica	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Área sin Vegetación	A	A	A	A	O1	O2	O3	O3

Fuente: SENPLADES (2011); Sánchez (2016); CLIRSEN Y MAGAP (2011)

Donde:

A = Sin conflicto o uso adecuado

S= Subutilización

O1= Sobreutilización baja

O2= Sobreutilización media

O3= Sobreutilización alta

3.2.2.5. Cartografía

Se elaboraron mapas que permitieron identificar los conflictos de uso de suelo del cantón Otavalo, empleando el software ArcGIS 10.8 ® que facilitó la comparación de superficies en hectáreas y el establecimiento del aumento y pérdidas de cada categoría.

3.2.3. Proyección futura de cambio de uso de suelo del cantón Otavalo

Para la proyectar a futuro el cambio histórico del uso de suelo del cantón Otavalo, se realizaron las siguientes actividades.

3.2.3.1. Preparación de insumos

Las variables asignadas para realizar la proyección al año 2031 fueron estáticas como el Modelo de Elevación Digital (DEM) y vías asumiendo que estas variables no presentarán cambios a través del tiempo. Para la correcta estimación de escenarios futuros con respecto al cambio de cobertura y uso del suelo se procedió a realizar la estandarización de características de los rasters como se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12. Características de los ráster para ser usados en TerrSet

Información del ráster	Características
Columnas y filas	3394 y 3927
Número de bandas	1
Tamaño del píxel	30 m x 30 m
Formato	TIFF
Tipo de píxel	Unsigned Integer
Fondo del píxel	4 bit, 16 bit

3.2.3.2. Aplicación del modelo de simulación del cambio de cobertura y uso del suelo y validación de la proyección

Para realizar la determinación futura del cambio de cobertura y uso del suelo se usaron los mapas temáticos de los años 1993 y 2012, La proyección futura fue realizada mediante el módulo *Land Change Modeler* (LCM) del software TerrSet, en el cual se analizaron la pérdida y aumento del uso de suelo. Finalmente, se empleó el algoritmo de cadenas de *Markov* el cual calcula probabilísticamente la transición de cambio de estado actual considerando el estado anterior (Rosati, 2011).

El proceso de validación consistió en la proyección del mapa de uso de suelo del año 2012 para realizar una comparación con el mapa real, lo que permitió la verificación del modelo que será empleado para cada una de las clases de cobertura y uso de suelo.

Finalmente, se plantearon acciones para mitigar los problemas detectados de cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo mediante la aplicación de la metodología de la Unión Europea, la misma que consiste en el planteamiento de la Estrategias para la protección del suelo para 2030, que consiste en el aprovechamiento de los beneficios del suelo para la población y los servicios ecosistémicos. La metodología planteada por la Unión Europea para la protección del suelo establece una normativa con medidas concretas para proteger y restaurar los suelos y garantizar que se utilicen de forma sostenible; además establece una visión y objetivos para manejar sustentablemente el recurso suelo con proyección

al año 2050, con medidas y prácticas de conservación de suelos y acciones de forestación y reforestación (Tabla 13) (Unión Europea, 2023).

Tabla 13. Acciones para la protección del suelo de la Unión Europea

Acciones para la protección del suelo con proyección al año 2050	<ol style="list-style-type: none"> 1. Propuesta legislativa específica sobre el manejo y conservación del suelo para alcanzar los objetivos de la estrategia propuesta por la Unión Europea proyectado al año 2050. 2. Gestión sostenible del recurso suelo proponiendo un plan de manejo con participación de los pequeños y grandes propietarios de tierras, promoviendo la gestión sostenible de los suelos aplicando técnicas de conservación y protección adecuadas. 3. Control del drenaje de humedales y suelos orgánicos para restauración de humedales con fines de mitigación y adaptación al cambio climático. 4. Restauración de suelos degradados y recuperación de sitios contaminados. 5. Prevención de la desertificación mediante el desarrollo de una metodología común que permita evaluar la desertificación y la degradación del suelo.
---	---

Fuente: Unión Europea (2023)

3.3. Materiales y equipos

A continuación, se detallan los materiales, equipos y software que se utilizaron para la investigación:

Tabla 14. Materiales, equipos y software

Materiales	Equipos	Software
Libreta de campo	Computador Portátil	ArcGIS 10.8 ® Suscripción UTN 4481287488
Lápiz y esfero	Cámara fotográfica	TerrSet 18.21
Ortofotos	Vehículo	
Mochila	Navegador GPS	
Mascarilla y alcohol	Impresora	

Capítulo IV

Resultados y Discusión

4.1. Cambio histórico del uso de suelo en el cantón Otavalo

Según las clasificaciones supervisadas realizadas a las ortofotos de los años 1993, 2002 y 2012, se observó que existen cambios en la extensión de las superficies de las categorías de coberturas y usos del suelo en el área de estudio. El bosque disminuyó 0,67% en los 19 años analizados, mientras que los cultivos aumentaron 2,39% y el pastizal disminuyó 2,33% siendo los valores más significativos (Tabla 14).

Tabla 15. Área en hectáreas del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1993-2012

Cobertura y Uso del Suelo	1993		2002		2012		%Total
	ha	%	Ha	%	ha	%	
Bosque Nativo	15703,20	29,57	15555,30	29,29	15349,70	28,90	-0,67
Plantación Forestal	2613,94	4,92	2733,74	5,15	3026,14	5,70	0,78
Vegetación Arbustiva	5551,48	10,45	5445,03	10,25	5229,79	9,85	-0,61
Vegetación Herbácea	718,21	1,35	675,21	1,27	666,34	1,25	-0,10
Páramo	6703,96	12,62	6681,40	12,58	6596,53	12,42	-0,20
Mosaico	980,11	1,85	1051,80	1,98	1125,41	2,12	0,27
Agropecuario							
Pastizal	10964,30	20,64	10126,10	19,07	9725,53	18,31	-2,33
Cultivo	7012,26	13,20	7854,90	14,79	8279,54	15,59	2,39
Superficie Cubierta de Agua	963,51	1,81	960,74	1,81	956,34	1,80	-0,01
Área Poblada	1630,58	3,07	1703,26	3,21	1725,79	3,25	0,18
Infraestructura Antrópica	180,23	0,34	219,87	0,41	304,47	0,57	0,23
Área sin Vegetación	89,20	0,17	103,62	0,20	125,40	0,24	0,07
Total	53110,967	100	53110,967	100	53110,967	100	-

El área sin vegetación durante el periodo 1993-2012 ha ido en aumento, en el año 2012 se registró 125,40 hectáreas, siete quintos superiores al resultado registrado en el año inicial. De igual manera, las infraestructuras antrópicas en el periodo estudiado aumentaron de 180,23 hectáreas en 1993 a 304,47 hectáreas en 2012, obteniendo 0,23% de cambio total (Tabla 14).

El aumento de las áreas pobladas es lento en el periodo estudiado, pasó de 1630,58 hectáreas en el año 1993 a 1725,79 hectáreas para el 2012, es decir de un porcentaje de 3,07% a un 3,25 % respectivamente. Esto debido a que la población no aumentó hacia otras categorías, sino que hubo un aumento de la tasa poblacional dentro de su misma área y en la comparación porcentual respecto al total de la superficie del cantón no superó el 1% (Tabla 14). En un estudio reciente realizado para el periodo 1996-2018 en la cuenca del río Mira; se obtuvo resultados similares, donde menciona que el aumento de la población urbana es lento y que no supera el 1 % de la superficie de la cuenca (Guevara, 2020).

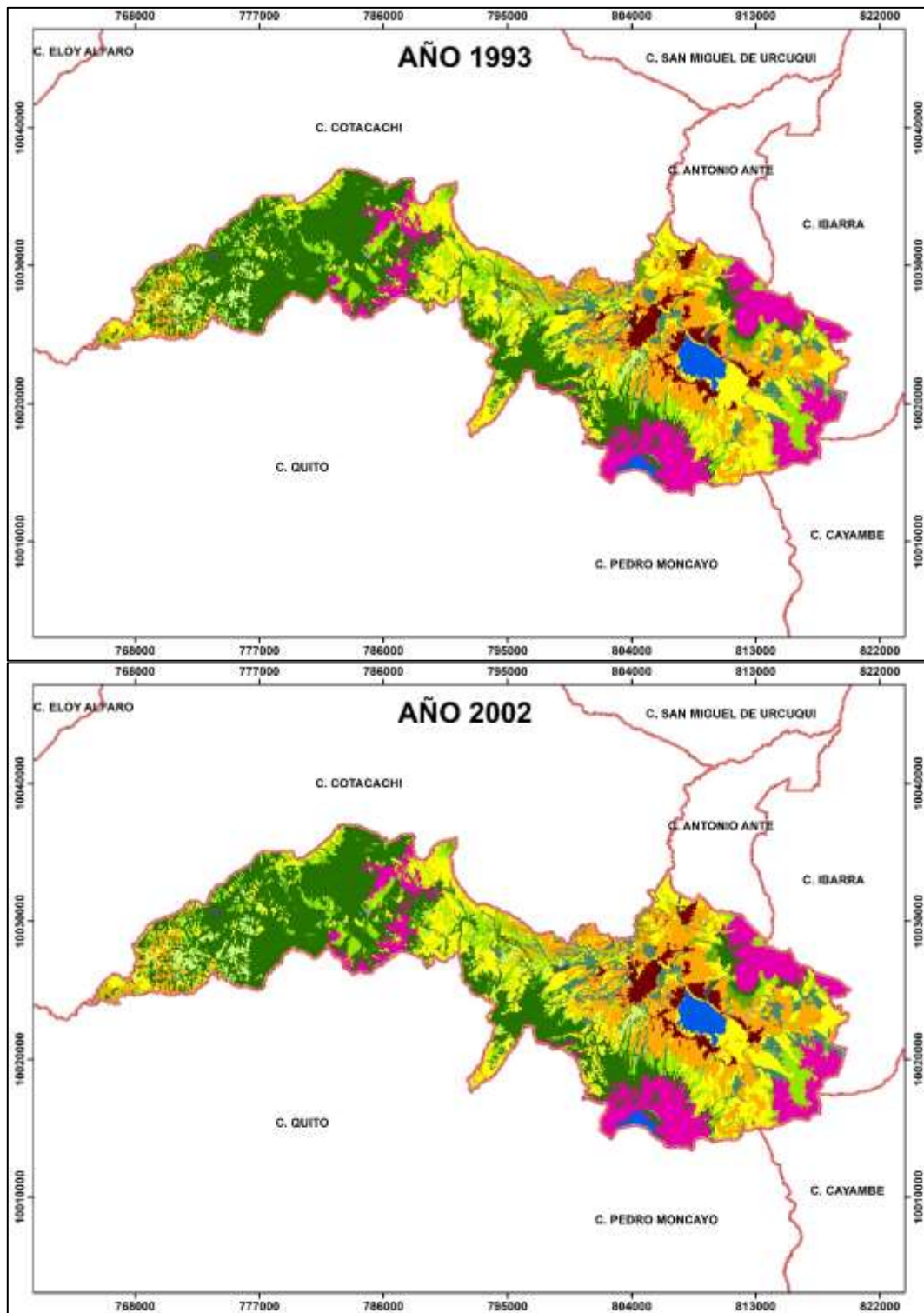
Por otra parte, la disminución de la vegetación herbácea y arbustiva es evidente en el cantón, estas categorías obtuvieron una disminución total con respecto al tamaño de sus superficies del -0,61% y -0,10% respectivamente. Mientras que el páramo al ser considerado como ecosistema frágil neotropical de alta montaña y de gran importancia social, ambiental y cultural (Chuncho y Morocho, 2019). Esta categoría presentó una disminución en el tamaño de su superficie con un valor total del -0,20% en todo el periodo estudiado, pasando de 6703,96 hectáreas en el año 1993 a 6596,53 hectáreas para el 2012.

4.1.1. Análisis cartográfico de la cobertura y uso del suelo para el periodo 1993-2012

El análisis cartográfico de la cobertura y uso del suelo para los años 1993, 2002 y 2012 a una escala 1:25000, mostró que la categoría de cultivos es la que mayor aumento presenta, especialmente en las parroquias aledañas al Lago San Pablo hacia las partes altas, esto debido a la expansión agrícola, mientras que la disminución del bosque es más evidente en la parte Este del cantón, específicamente por las partes cercanas a Selva Alegre (Figura 3). En un estudio realizado en Filipinas durante el periodo 1993-2008, se obtuvieron resultados similares, donde menciona que, debido a la implementación de cultivos y plantaciones forestales, se registró una pérdida de 9% de bosque nativo (Combalicer et al., 2011).

El aumento de plantaciones forestales dentro del cantón, son más representativos los cambios en las parroquias de San José de Quichinche y San Pablo de Lago en los 19 años de estudio. Por otra parte, en la zona alta de las parroquias de Selva Alegre y San Pablo de Lago, el páramo es el más afectado por la pérdida de su superficie en todo el periodo de estudio, esto por el avance de la frontera agrícola en Selva Alegre y por el aumento de bosque en las zonas altas de San Pablo de Lago, es decir que desde año 1993 al 2012 existió una reforestación de bosque nativo (Figura 3).

El mosaico agropecuario al obtener un cambio total de aumento de 0,27% (Tabla 14), equivalentes a 154.30 hectáreas desde 1993 al 2012, siendo los cambios más representativos en la zona de la parroquia de Selva Alegre y seguida la parroquia San José de Quichinche (Figura 3). Esto debido a que Selva Alegre es considerada como una parroquia con vocación eminentemente agropecuaria, con una mezcla de producción agrícola (fréjol, caña de azúcar, yuca, frutales, pastizales, entre otros.) con la producción pecuaria (ganadería), básicamente en las zonas cercanas a los asentamientos humanos (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Selva Alegre [PDOT], 2011).



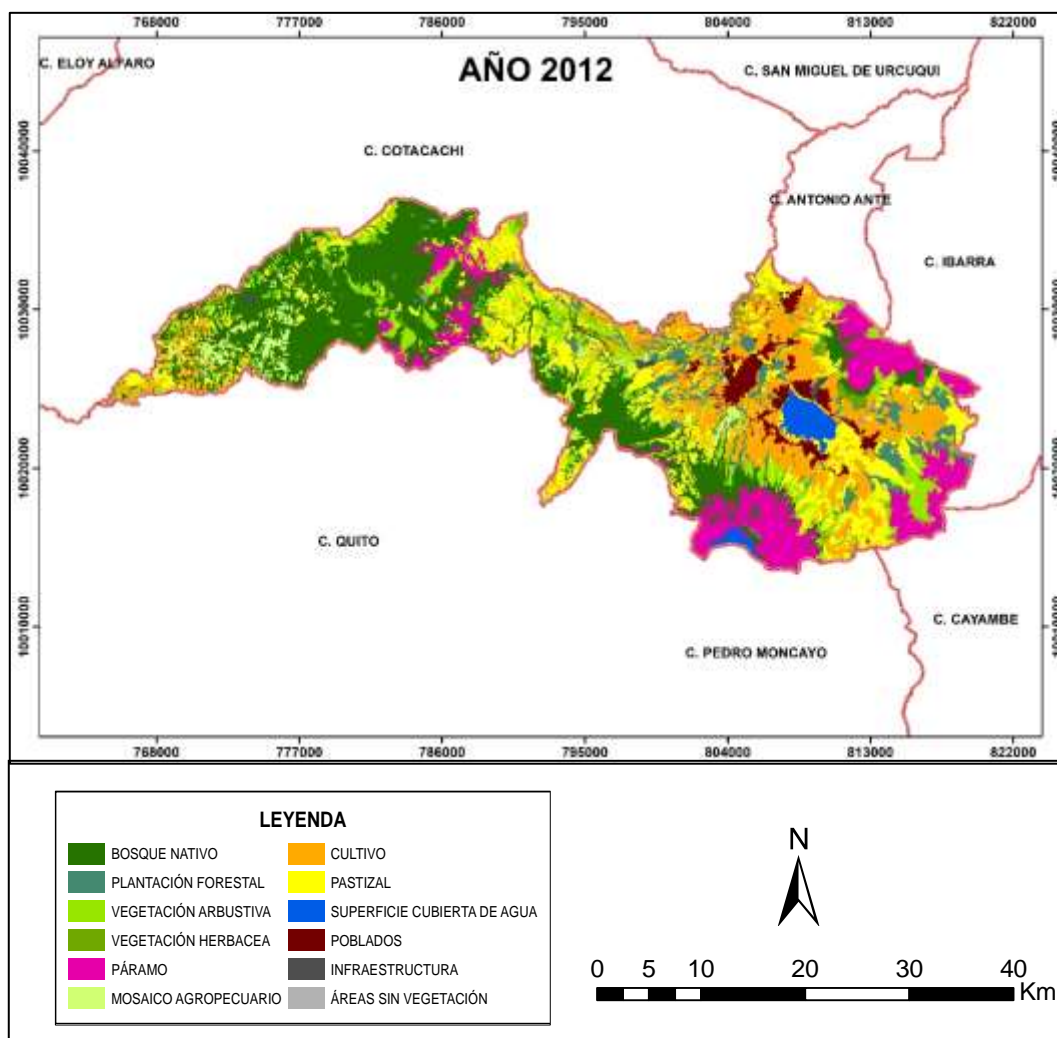


Figura 3. Cobertura y uso del suelo del cantón Otavalo

Según Arévalo-Morocho et al. (2023) el uso intensivo del suelo ocasiona cambios en el paisaje. Además, la fragmentación del bosque nativo debido al avance del uso de suelo agrícola y la deforestación genera alteraciones en la distribución de especies, especialmente en *Dipsas elegans* en la cuenca media del río Mira.

4.1.2. Matriz de transición de cobertura y uso de suelo para el periodo 1993-2012

De acuerdo con el análisis de la matriz de transición para el periodo 1993-2012 el cambio más significativo es la categoría de pastizal, que a pesar de obtener una ganancia total de 530,61 hectáreas equivalente al 16,23% (Tabla 15), siendo 220,31 hectáreas (Anexo 1) el valor más representativo de ganancia con respecto al bosque

nativo, pero posee una pérdida total de 1753,62 hectáreas equivalente 53,64%. Es decir, que el pastizal a pesar de haber ganado superficie con respecto al bosque nativo, posee una pérdida de más de la mitad de su superficie en todo el periodo estudiado, debido a actividades antrópicas y el aumento de cultivos, obteniendo un cambio total neto de -37,41%.

El bosque nativo obtiene una pérdida de 15,01% equivalente a 490,65 hectáreas, con un cambio neto total de -10,7% (Tabla 15), basado en la matriz de transición de todo el periodo de estudio, se identifica que el valor más significativo en la pérdida de bosque es de 87,01 hectáreas correspondientes a la categoría de mosaico agropecuario y el valor más representativo en la ganancia es de 71,23 hectáreas correspondientes al páramo.

Del mismo modo, el páramo registró disminución del -3,26% de cambio neto, teniendo una pérdida de 124,69 hectáreas equivalente al 3,81% (Tabla 15), obteniendo el bosque nativo el valor más representativo de cambio y pérdida del páramo, con un valor de 71,23 hectáreas (Anexo 1), evidenciando que existió una reforestación del bosque nativo en las partes altas de la parroquia San Pablo de Lago (Figura 3). Este resultado se afirma con un estudio realizado por Rivadeneira (2015), donde menciona que por medio de la mancomunidad se realizó proyectos de forestación y reforestación del páramo de la cuenca del lago San pablo para conservación de los páramos.

La vegetación arbustiva y vegetación herbácea registraron una disminución de su superficie de -8,81% y -1,13% respectivamente de cambio neto. La categoría de cultivo registró un aumento notable de 38,72 % de cambio neto, esto debido a la expansión que tiene la agricultura con respecto a las demás categorías, siendo el valor de 1203,30 hectáreas el mayor, correspondiente al cambio de pastizal a cultivos agrícolas (Anexo 1).

Los cuerpos de agua si registraron variación de -0,22 % de cambio neto (Tabla 15), debido a que esta categoría abarca los humedales del lago San Pablo y parte de

la laguna de Mojanda. Por lo contrario, el mosaico agropecuario obtuvo una ganancia total de 144,95 hectáreas equivalente a 4,43%, siendo el cambio total neto 3,92% (Tabla 15), del total de ganancia el valor más significativo en la matriz de transición es de 87,01 hectáreas (Anexo 1), resultado de la pérdida de bosque nativo y aumento del mosaico agropecuario en las zonas de Selva Alegre.

Tabla 16. Aumento y disminución del cambio de cobertura y uso del suelo para el periodo 1993-2012 en hectáreas y porcentaje

1993/2012	Pérdida ha	%	Ganancia ha	%	Cambio total ha	%	Swat ha	%	Cambio neto ha	%
Bosque Nativo	490,65	15,01	137,76	4,21	628,41	9,61	981,30	20,41	-352,89	-10,79
Plantación Forestal	193,67	5,92	559,09	17,10	752,76	11,51	387,35	0,34	365,41	11,18
Vegetación Arbustiva	418,92	12,81	131,05	4,01	549,98	8,41	837,84	17,22	-287,87	-8,81
Vegetación Herbácea	77,87	2,38	40,95	1,25	118,82	1,82	155,74	2,95	-36,93	-1,13
Páramo	124,69	3,81	18,25	0,56	142,95	2,19	249,39	5,44	-106,44	-3,26
Mosaico Agropecuario	16,88	0,52	144,95	4,43	161,82	2,48	33,75	-1,44	128,07	3,92
Pastizal	1753,62	53,64	530,61	16,23	2284,23	34,94	3507,25	72,35	-1223,02	-37,41
Cultivo	171,23	5,24	1436,88	43,95	1608,11	24,60	342,46	-14,12	1265,65	38,72
Superficie Cubierta de Agua	7,24	0,22	0,07	0,00	7,31	0,11	14,48	0,33	-7,17	-0,22
Área poblada	0,72	0,02	95,51	2,92	96,23	1,47	1,44	-1,43	94,79	2,90
Infraestructura Antrópica	2,70	0,08	126,93	3,88	129,63	1,98	5,39	-1,82	124,24	3,80
Área sin Vegetación	10,87	0,33	47,03	1,44	57,90	0,89	21,74	-0,22	36,15	1,11
Total	3269,08	100	3269,08	100	6538	100	6538,15	100	-	-

Según los polígonos de control registrados en la clasificación supervisada de las coberturas y usos del suelo para el periodo 1993 - 2012, el coeficiente de Kappa fue de 0,92 equivalentes al 93,86% de precisión (Tabla 16), obteniendo una clasificación casi perfecta (Tabla 7). Estos datos concuerdan con un estudio realizado por Landis y Koch (1997), donde mencionan que los valores superiores a 0,81 se establecen una clasificación casi perfecta, debido a estar más próximos al valor 1.

Tabla 17. Validación de la clasificación de las categorías de cambio y uso de suelo del cantón Otavalo

Truth data/Classifier results	Bosque Nativo	Plantación Forestal	Vegetación Arbustiva	Vegetación Herbácea	Páramo	Mosaico Agropecuario	Pastizal	Cultivo	Superficie Cubierta de Agua	Área poblada	Classification overall	User's accuracy (Precision)
Bosque Nativo	26						2				20	92,59%
Plantación Forestal		10									10	100%
Vegetación Arbustiva			16					1			17	94,12%
Vegetación Herbácea				1							1	100%
Páramo					12						12	100%
Mosaico Agropecuario											0	No data
Pastizal			1				21				22	95,46%
Cultivo							2	12			14	85,71%
Superficie Cubierta de Agua									5		5	100%
Área poblada								1		4	5	80%
Truth Overall	26	10	17	1	12	0	25	14	5	4	114	
Producer's accuracy (Recall)	100%	100%	94,118%	100%	100%	No data	84%	85,71%	100%	100%		
Overall accuracy (OA):	93,86%											
Kappa¹:	0,927											

4.2. Conflictos históricos del cambio de uso de suelo en el cantón Otavalo

Según la clasificación de conflictos realizada a los polígonos finales de los años 1993, 2002 y 2012, se observó que existen cambios en la extensión de las superficies de las categorías de conflictos de uso de suelo en el área de estudio. El uso adecuado disminuyó -0,49% en los 19 años analizados, mientras que la sobreutilización baja y alta aumentaron 0,62% y 0,64% respectivamente. Siendo el valor más significativo en la disminución en porcentaje de extensión, se encuentra la subutilización con -1,19% en todo el periodo de estudio (Tabla 17).

Tabla 18. Área en hectáreas de los conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012

Conflictos de uso de suelo	1993		2002		2012		%Total
	Ha	%	ha	%	ha	%	
Uso adecuado	31454,21	59,22	31421,66	59,16	31194,60	58,73	-0,49
Subutilización	3591,51	6,76	3202,44	6,03	3052,89	5,57	-1,19
Sobreutilización baja	2438,91	4,59	2703,45	5,09	2769,48	5,21	0,62
Sobreutilización media	3261,55	6,14	3270,42	6,16	3271,76	6,16	0,02
Sobreutilización alta	9048,13	17,04	9160,66	17,25	9389,68	17,68	0,64
No aplicable	3316,62	6,24	3352,30	6,31	3432,52	6,46	0,22
Total	53110,93	100	53110,93	100	53110,93	100	-

Para el año 1993 se determinó que el uso adecuado del suelo es del 59,22% equivalente a 31454,51 hectáreas siendo el valor más alto, la subutilización del suelo tiene una extensión de 3591,51 hectáreas con un porcentaje de 6,76%. Resultados similares se encontraron en un estudio realizado en Salinas-Imbabura durante el periodo 1993-2015, donde la categoría de uso adecuado representa el valor más elevado con 34% (Guerrero, 2021). El conflicto por sobreutilización baja representa el 4,59% equivalente a 2438,91 hectáreas, este siendo el valor más bajo. Por otra parte, el conflicto por sobreutilización media cuenta con 3261,55 hectáreas representando el 6,14%, el conflicto por sobreutilización alta es de 17,04% equivalente a 9048,13 hectáreas. Finalmente, la categoría no aplicable está presente

con 3316,62 hectáreas con el 6,24 % (Figura 4); estos valores abarcan las categorías de superficies cubiertas de agua e infraestructura antrópica.

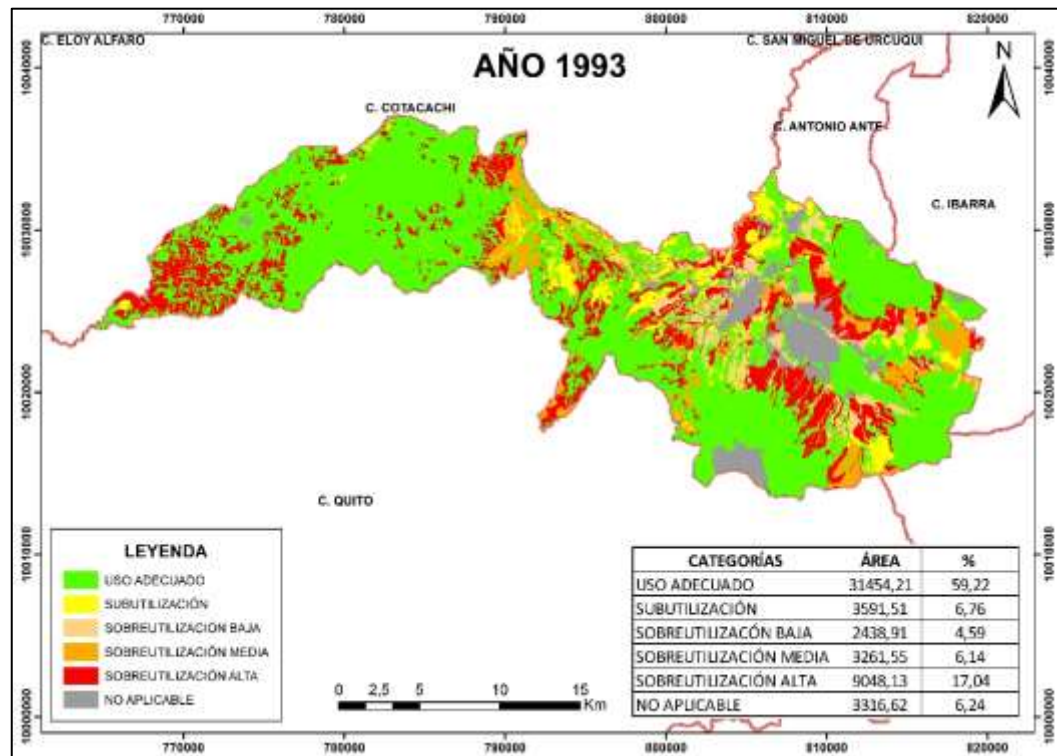


Figura 4. Conflictos de uso del suelo del año 1993

Para el año 2002 el uso adecuado del suelo es del 59,16% equivalente a 31421,66 hectáreas, siendo el valor más alto, la subutilización tiene una extensión de 3202,44 hectáreas con un porcentaje de 6,03%. Además, el conflicto por sobreutilización baja representa el 5,09% de la superficie equivalente a 2703,45 ha, al igual que el año 1993 representa el valor más bajo para este año, el conflicto por sobreutilización media cuenta con 3270,42 hectáreas representado el 6,16% de la superficie total y para el conflicto de sobreutilización alta es de 17,25 equivalente a 9160,66 hectáreas. Por último, la categoría no aplicable está presente con 3352,30 hectáreas con el 6,31% (Figura 5); estos valores abarcan las categorías de superficies cubiertas de agua e infraestructura antrópica.

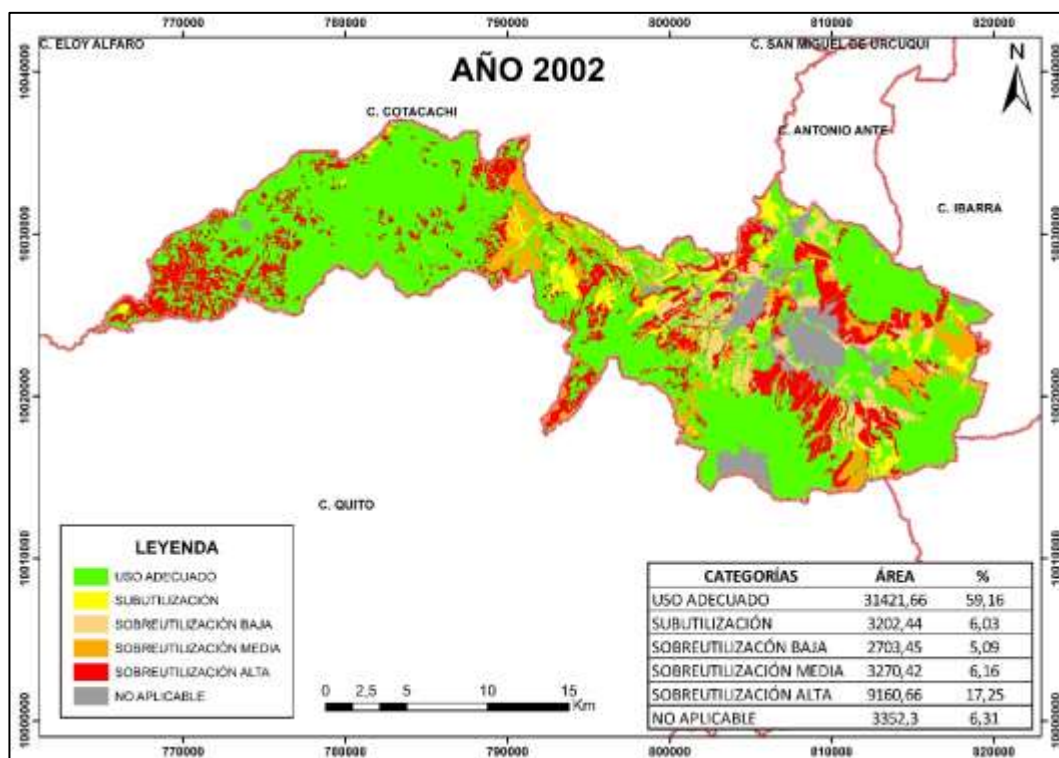


Figura 5. Conflictos de uso del suelo del año 2002

Finalmente, para el año 2012 el uso adecuado del suelo es 58,73% equivalente a 31194,60 hectáreas que al igual que el año 1993 sigue siendo el valor más alto, la subutilización tiene una extensión territorial de 3052,89 hectáreas con un 5,57%, el conflicto por sobreutilización baja representa el 5,21% de la superficie equivalente a 2769,48 hectáreas al igual que los años 1993 y 2002 representa el valor más bajo para este año. Por otra parte, el conflicto por sobreutilización media cuenta con 3271,76 hectáreas representado el 6,16%. Además, el conflicto por sobreutilización alta es de 17,68% equivalente a 9389,68 hectáreas. Por último, la categoría no aplicable está presente con 3432,52 hectáreas con el 6,46% (Figura 6); estos valores abarcan las categorías de superficies cubiertas de agua e infraestructura antrópica.

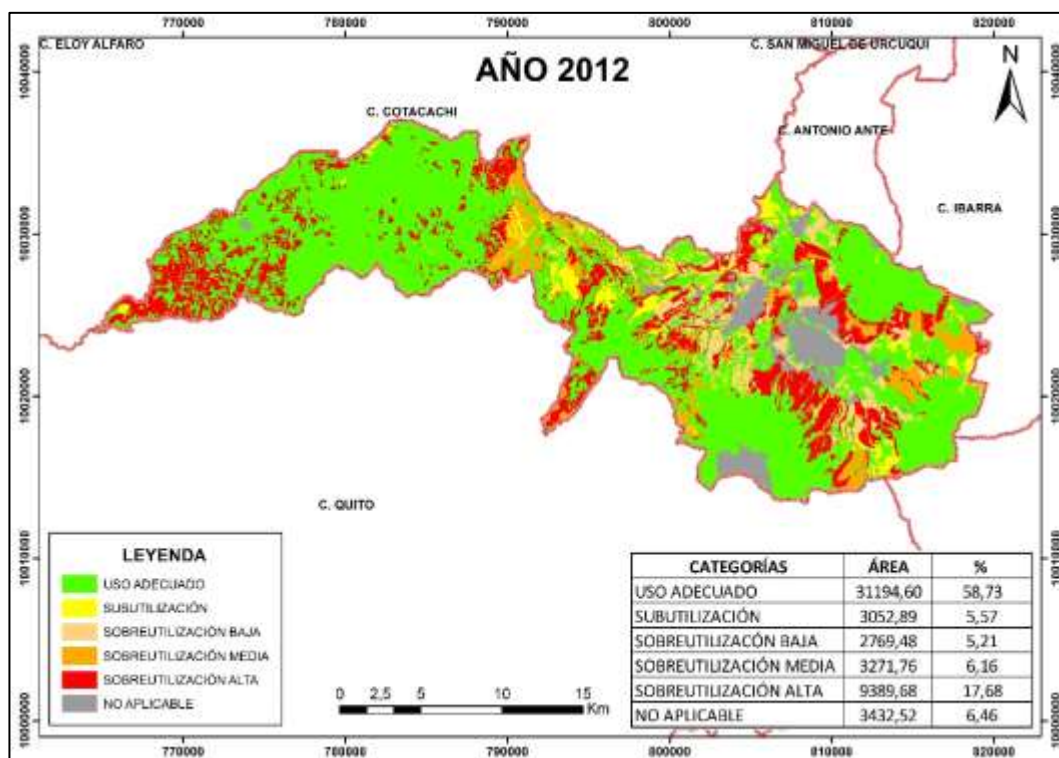


Figura 6. Conflictos de uso del suelo año 2012

4.2.2. Análisis cartográfico de conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012

El análisis cartográfico de conflictos de uso suelo para los años 1993, 2002 y 2012 a una escala 1:25000, mostró que la categoría de uso adecuado para los 3 años es la que mayor extensión presenta, especialmente en la parroquia de Selva Alegre y las zonas altas de Eugenio Espejo, San Rafael, Gonzales Suárez, San Pablo de Lago y San Juan de Ilumán, esto debido a que estos sectores presentan mayor extensión de bosque nativo y paramos a nivel cantonal, la disminución de esta categoría en todo el periodo de estudio es más evidente en la parte este del cantón, específicamente por las partes cercanas a Selva Alegre, presentando un valor total de -0,49% (Figura 7).

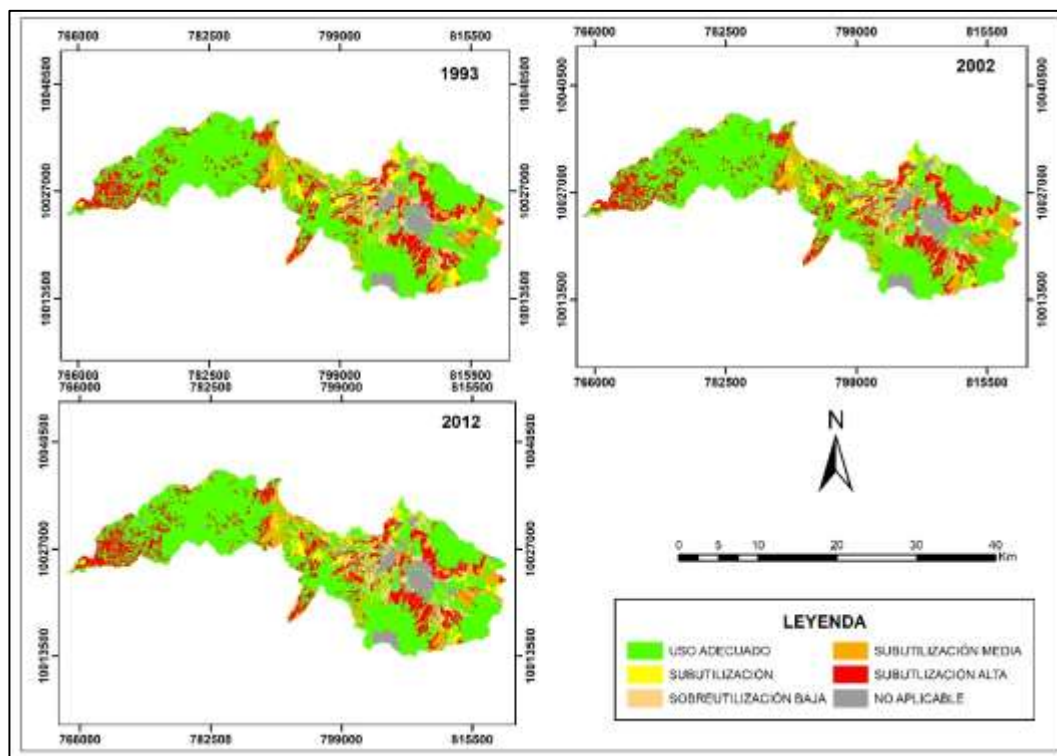


Figura 7. Conflictos de uso del suelo del cantón Otavalo

Por otra parte, en las parroquias San José de Quichinche y especialmente en San Pablo de Lago, con los sectores con mayor responsabilidad en la dimensión de la categoría de subutilización, con una total de -1,19% desde el año 1993 al 2012, pasando de 6,76% a un 5,57% respectivamente (Tabla 17). Debido a que esta categoría se da en tierras que presente con aptitud para la explotación de agricultura y ganadería, que en la actualidad se encuentran cubiertas de vegetación arbustiva y herbácea.

El aumento de la sobreutilización baja, media y alta dentro del cantón, son más representativos los cambios en las parroquias Selva Alegre, San José de Quichinche y partes aledañas a al lago San Pablo en los 19 años de estudio (Figura 7). La sobreutilización baja aumento de 2438,91 hectáreas a 2769,48 hectáreas, es decir, de 4,59% a 5,21% con un total de aumento del 0,62%, mientras que la sobreutilización media pasó de 3261,55 hectáreas a 3271,76 hectáreas siendo 0,02% el total de aumento y por último la sobre utilización alta es la que mayor aumento presenta, con respecto a las categorías de sobreutilización, presentando un total de 0,64% pasando de 17,04% en el año 1993 a 16,68% para el año 2012 (Tabla 17).

Finalmente, la categoría no aplicable para el año 1993 presenta una extensión de 3316,62 hectáreas y para el año 2012 una extensión de 3432,52 hectáreas, obteniendo un aumento de 0,22%, es decir en los 19 años de estudio de 6,24% a 6,46% (Tabla 17). Esta categoría es más evidente en las zonas urbanas de la parroquia Otavalo, zonas aledañas al Lago San Pablo y Laguna de Mojanda (Figura 7), esto debido a que abarca cuerpos de agua e infraestructuras antrópicas (Tabla 17).

4.2.3. Matriz de transición de conflictos de uso de suelo para el periodo 1993-2012

Según el análisis de la matriz de transición para el período 1993-2012 el cambio más significativo es la categoría subutilización que, a pesar de obtener una ganancia total de 112,01 hectáreas equivalente al 4,89% (Tabla 18), siendo 101,64 hectáreas (Anexo 2) el valor más representativo de ganancia con respecto al uso adecuado, pero posee una pérdida total de 634,31 hectáreas equivalente 21,68%. Es decir, que la subutilización a pesar de haber ganado superficie con respecto al uso adecuado, posee una pérdida de más un cuarto de superficie en todo el periodo estudiado, debido a que las ofertas productivas del suelo son menores que las demandas de uso actual existente, obteniendo un cambio total neto de -22,79%. Este resultado concuerda con un estudio realizado en Guayaquil por CLIRSEN, SINAGAP y MAGAP (2011), donde menciona que la subutilización se da en tierra para explotación agrícola y ganadera, obteniendo un resultado del 19,33% de la superficie del cantón.

Del mismo modo, el uso adecuado obtiene una pérdida de 46,79% equivalente a 797,30 hectáreas, con un cambio neto total de -12,00% (Tabla 18), basado en la matriz de transición de todo el periodo de estudio, se identifica que el valor más significativo en la pérdida de uso adecuado es de 515,31 hectáreas correspondientes a la categoría de sobreutilización alta y el valor más representativo en la ganancia es de 528,27 hectáreas correspondiente a la subutilización (Anexo 2). Esto quiere decir que, desde 1993 al 2012, el cantón Otavalo obtuvo un 12% de mal manejo del

suelo, con respecto a la extensión total del uso adecuado, generando así problemas ambientales. De acuerdo con Sánchez (2016), esto sucede cuando el uso actual no tiene correlación con la aptitud de uso del suelo.

Por lo contrario, la sobreutilización baja registró un 14,42% de cambio neto, teniendo una ganancia de 417,13 hectáreas equivalente al 18,20% (Tabla 18), obteniendo el uso adecuado el valor más representativo de cambio y ganancia de la sobreutilización baja, con un valor de 289,61 hectáreas (Anexo 2), la pérdida de esta categoría es de 86,59 hectáreas equivalentes a 3,78%, siendo la sobreutilización alta con un valor de 58,18 hectáreas, el mayor responsable en la disminución de su extensión. Esto quiere decir, que a nivel cantonal en los 19 años de estudio presentó aumento de degradación mínima.

Al igual, la sobreutilización media registró un aumento de su superficie de 0,44% de cambio neto, su mayor ganancia de extensión es de 119,99 hectáreas con respecto a la categoría de uso adecuado. La categoría sobre utilización alta registró un aumento notable de 14,88% de cambio neto, debido a que en el cantón produce una alta degradación y una baja productividad, siendo 223,27 hectáreas el valor total de ganancia en todo el periodo de estudio (Tabla 18), ganando una extensión de 515,31 hectáreas con respecto al uso adecuado, este valor el más representativo en su aumento. Donde el uso actual posee superioridad en tres niveles en adelante a la aptitud del suelo del cantón (Sánchez, 2016).

La categoría de conflictos no aplicable, si registró una variación de 5,04 % de cambio neto, obtuvo una ganancia total de 124,85 hectáreas equivalente a 5,45% (Tabla 18), del total de ganancia el valor más significativo en la matriz de transición es 48,62 hectáreas (Anexo 1), resultado de la pérdida de subutilización. Esta ganancia es evidenciada por el aumento de las actividades antrópicas en el cantón Otavalo, ya que esta categoría abarca a los polígonos de cuerpos de agua e infraestructuras antrópicas y a su vez los centros poblados y tierra miscelánea.

Tabla 19. Aumento y disminución de conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012 en hectáreas y porcentaje

1993/2012	Pérdida Ha	%	Ganancia ha	%	Cambio total ha	%	Swat ha	%	Cambio neto ha	%
Uso adecuado	1072,20	46,79	797,30	34,79	1869,49	40,79	2144,39	52,79	-274,90	-12,00
Subutilización	634,31	27,68	112,01	4,89	746,32	16,28	1268,62	39,08	-522,30	-22,79
Sobreutilización baja	86,59	3,78	417,13	18,20	503,72	10,99	173,19	-3,43	330,54	14,42
Sobreutilización media	213,15	9,30	223,27	9,74	436,42	9,52	426,30	9,08	10,12	0,44
Sobreutilización alta	276,00	12,04	617,06	26,93	893,06	19,49	552,00	4,60	341,06	14,88
No aplicable	9,37	0,41	124,85	5,45	134,23	2,93	18,74	-2,11	115,48	5,04
Total	2291,62	100	2291,62	100	4583	100	4583,24	100	-	-

4.3. Proyección futura de cambio de uso de suelo del cantón Otavalo

De acuerdo con la proyección realizada al año 2031, se obtiene un índice de precisión del 81,56%, dicha predicción se realiza en un periodo de estudio de 19 años (Figura 8). Pérez et al., 2011 y Roy et al., 2014 mencionan que los estudios de las proyecciones futuras consideran realizarlos en periodos cortos de tiempo, para la aplicación del modelo de simulación siendo este el factor limitante.

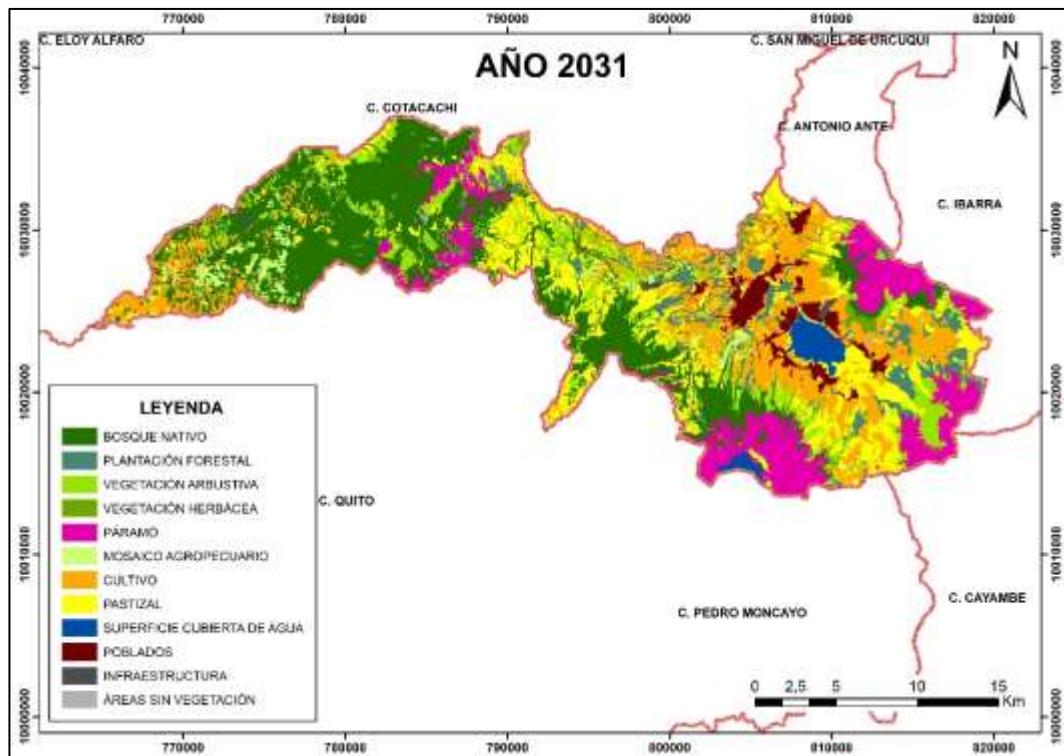


Figura 8. Escenario de uso del suelo proyectado para el año 2031

En el periodo de estudio de 19 años desde 1993 hasta 2012 se ha evidenciado un cambio en la cobertura vegetal y uso de suelo debido a actividades antrópicas, las cuales han afectado la vegetación presente en el cantón, esta tendencia de cambio continua para el año 2031, es decir, un periodo de estudio de 19 años a partir del 2012 (Figura 9).

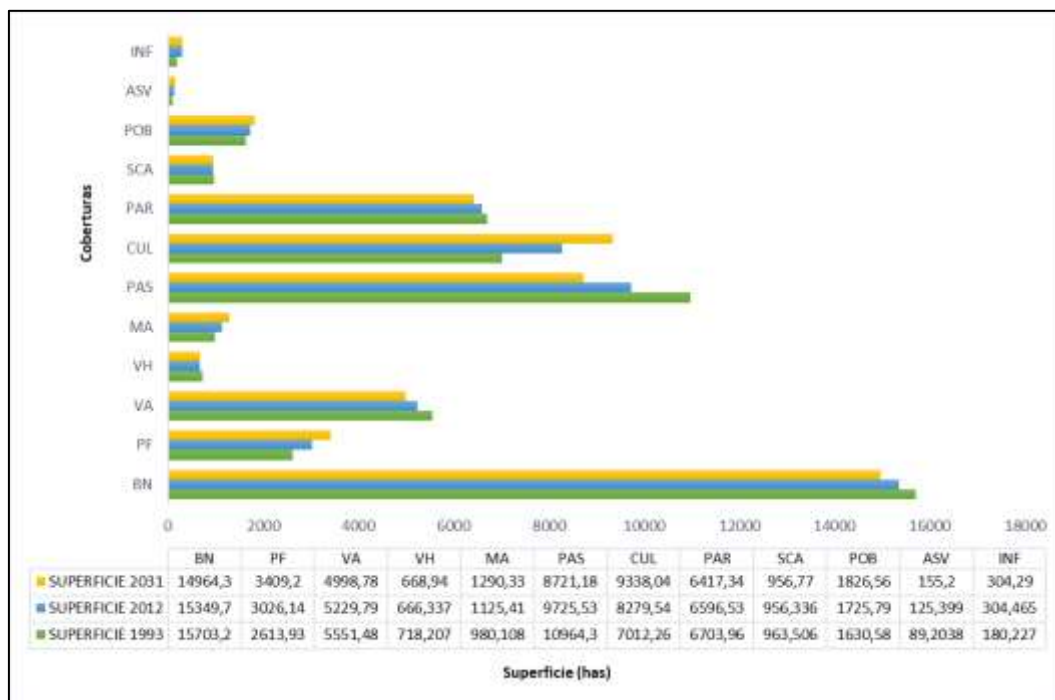


Figura 9. Variación en la superficie de las coberturas durante los años 1993, 2012 y 2031

Nota: Bosque Nativo (BN), Plantación Forestal (PF), Vegetación Arbustiva (VA), Vegetación Herbácea (VH), Mosaico Agropecuario (MA), Pastizal (PAS), Cultivos (CUL), Páramo (PAR), Superficie Cubierta de Agua (SCU), Poblados (POB), Área Sin Vegetación (ASV) e Infraestructura (INF).

4.3.1. Bosque nativo

La superficie de bosque nativo que se evidencia para los años 1993 y 2012 se mantiene relativamente estable, con una diferencia de pérdida de bosque nativo de alrededor de 353,5 hectáreas, no obstante, en la proyección obtenida para el año 2031 se evidencia que la pérdida de bosque nativo supera las 738,9 hectáreas comparado con el año 1993 y de 385,4 hectáreas de pérdida para el año 2012. La FAO (2010) menciona que, aunque la tasa de deforestación mundial ha disminuido, la pérdida por bosque nativo ha sido alarmante en algunos países, la deforestación se redujo alrededor de 16 millones de hectáreas a 13 millones de hectáreas anuales a nivel mundial.

Es así que de acuerdo a un estudio de la FAO (2011) menciona que la conversión de bosques naturales a terrenos de uso para la agricultura y expansión

es la principal causa para que este ecosistema disminuya considerablemente. En Chile, la FAO (2010) menciona que existe un aumento de la superficie total del bosque de 188,00 hectáreas entre los años 2005 y 2010; sin embargo, y lamentablemente la superficie de bosque nativo sigue disminuyendo con una reducción de 133,00 hectáreas de bosque primario propiciando la regeneración natural en el mismo período, por otro lado, además se produce un aumento de 321,00 hectáreas de plantaciones correspondientes en su gran mayoría a especies introducidas (FAO, 2010).

4.3.2. Plantación forestal

La plantación forestal para el periodo 1993-2012 aumentó un total de 412,21 ha, efectuando una comparación entre el valor proyectado para el año 2031 donde se obtiene un valor de plantación estimado de 3409,20 hectáreas se evidencia que existe un aumento de 383,06 hectáreas para el año 2012 y de 795,27 hectáreas para el año de 1993. En la actualidad las plantaciones forestales en el mundo alcanzan alrededor de 120 y 140 millones de hectáreas y esto se ha dado tanto en países templados como en los tropicales, en los trópicos las tasas anuales de plantación son de 2 a 3 millones de hectáreas y es el doble de la registrada entre los años 60 y 70 (FAO, 1993), estas plantaciones cuentan con una sola finalidad para la producción industrial o para uso doméstico como construcción, leña y forraje.

Es así que, en la situación actual, pocos países con plantaciones de eucaliptos destinarán más del 10% del volumen de la madera producida en estas plantaciones y el aumento de este tipo de plantación dependerá mucho del tipo de construcción y casas individuales que se den durante el paso del tiempo (Martínez et al., 2006). En la provincia de Imbabura se ha identificado que la superficie aprovechada está directamente relacionada con el aumento del volumen de la madera, sobre todo en la provincia las plantaciones forestales están destinadas a asegurar la provisión de la materia prima para las diferentes industrias forestales (Armas y Paredes, 2019).

4.3.3. Vegetación arbustiva

Con respecto a la vegetación arbustiva, para el periodo entre 1993 y 2012 se evidencia una reducción de 321,69 hectáreas, el mismo siendo comparado con la proyección realizada para el año 2031, la vegetación será de 4998,78 hectáreas identificado una reducción de 321,69 hectáreas para el año 2012 y 552,70 hectáreas para el año 1993 respectivamente. El estudio realizado para la cuenca del río El Ángel determinó que las actividades productivas de la población contribuyen a la deforestación de la vegetación arbustiva y de los pocos remanentes que todavía quedan (Paladines,1999).

El estudio que analizó el cambio multitemporal de la cobertura y la fragmentación de la reserva Mache-Chindul identificó que para la vegetación arbustiva en el año 2002 se registró un 47,26 hectáreas de vegetación arbustiva que representó un 39,39% del área total de la reserva, en el año 2005 17,19 hectáreas que es un 14,33% de la reserva y para el año 2010 un 17,02 hectáreas que es 14,18% (Muñoz et al., 2016), donde comparando con los resultados de la proyección realizada para el cantón Otavalo se puede ratificar que existe un descenso de esta vegetación debido a las actividades antrópicas de la población.

4.3.4. Vegetación herbácea

La vegetación herbácea en el periodo de los años 1993 y 2012 disminuyó en 51,87 hectáreas, con el valor obtenido de la proyección para el año 2031 el cual es de 668,94 hectáreas, y el mismo al ser comparado con el año 1993 se registra que esta vegetación se reducirá en 49,27 hectáreas. Para el año 2012, la vegetación herbácea no decrecerá sino al contrario aumentará alrededor de 2,60 hectáreas. Las acciones antrópicas son las que ocasionan que existan grandes transformaciones en los factores biofísicos que son los causantes de la fragmentación de los paisajes, pues varios de los procesos de planificación son los que debilitan la diversidad biológica y propician un deterioro en este tipo de vegetaciones (Abad, 2020).

Para poder entender por qué en algunos casos la vegetación arbustiva puede llegar a restablecerse, Heras e Infante (2016) en su estudio mencionan que se debe a que en algunos casos el ganado ya no está presente en los ecosistemas y llega a ser excluido, en zonas donde anteriormente han sido gravemente perturbados el hecho de que el ganado ya no esté presente se visualiza que el crecimiento de herbáceas puede llegar a reintegrarse, de acuerdo a la proyección para el 2031 del cantón se estima que este tipo de vegetación no decrezca sino todo lo contrario se estima que pueda volver a aumentar.

4.3.5. Mosaico agropecuario

La categoría agropecuaria en el periodo 1993-2012 aumentó 145,30 hectáreas, la estimación para el año 2031 es de 1290,33 hectáreas, comparando para el año 1993 el aumento será de 310,22 hectáreas y para el año 2012 será de 164,92 hectáreas. En Imbabura la expansión de la frontera agropecuaria se muestra como el cambio más evidente en cuatro localidades en donde se verifica su constante avance altitudinal, por ejemplo, en las zonas de Mojanda y Zuleta las fronteras agropecuarias están por sobre los 3.100 msnm a diferencia de la Esperanza y del volcán Imbabura donde la frontera no sobrepasa los 2600 msnm, este identificado avance fue más intenso entre los años 90 y 2000 (Martínez, 2009).

Esta variación evidencia una continua pérdida de vegetación natural en estas localidades de la provincia, sobre todo ha sido más evidente durante los años 90 presentando una tendencia más acelerada en cuanto a la pérdida de remanencia, los principales factores que han motivado a los cambios son las dinámicas demográficas, condiciones del mercado y acceso a tierras, es por eso que la estimación para el año 2031 será mucho más elevada (Martínez, 2009).

4.3.6. Pastizal

Los pastizales para el periodo de tiempo entre 1993 y 2012 han disminuido en 1238,77 hectáreas, el valor de la proyección para el año 2031 es de 8721,18

hectáreas esto comparado con el año 1993 se estima que la pérdida será de 1238,77 hectáreas y para el año 2012 será de 2243,12 hectáreas. A nivel mundial existe una pérdida creciente de biodiversidad debido a los desastres naturales y actividades antropogénicas, uno de estos determinantes son los incendios forestales que son mucho más fuertes en épocas secas y de verano, por dichas actividades se han visto pérdidas varios hábitats sobre todo los pastizales (Zhiminaicela et al., 2021).

Las modificaciones humanas son las más determinantes en la fragmentación de los ecosistemas los cuales aceleran la pérdida de hábitat y la reducción de la diversidad biológica, la existencia de un paso de bosque nativo a áreas de pastizales hace que el paisaje se fragmente y el efecto de borde sea mucho más abrupto (Ruiz et al., 2013). Dichos resultados se confirman con el estudio de la microcuenca del Río Blanco en Cayambe donde confirma que alrededor del 19% de bosque ha sido convertido en pastizal, todo esto provocado por el crecimiento de la actividad agropecuaria existente (Lozano et al., 2003).

4.3.7. Cultivos

Los cultivos en esta área entre el periodo de 1993 y 2012 se evidencia que existe un aumento de los mismos en 1267,14 hectáreas, con la proyección realizada para el año 2031 estos cultivos se estima que aumentan en alrededor de 2325,78 en comparación con el año 1993 y de 1058,5 hectáreas para el año 2012. La influencia agrícola, las cuales modifican las propiedades de los suelos debe ser considerado como una de las causas principales de su transformación, en la actualidad se han evidenciado cambios en las propiedades morfológicas del suelo por cultivos en muchos de los casos intensivos y son mucho más marcados en relieves inestables debido al proceso erosivo (Hernández et al., 2017).

De acuerdo al estudio de Muñoz et al. (2008) sobre el análisis temporal de cambio de uso de suelo y coberturas de la microcuenca Las Minas, Municipio de Pasto en el periodo 1989 a 2008 se menciona que se ha tenido alrededor de 7,41 hectáreas de cultivos y en un periodo de 6 años aumentaron a 9,94 hectáreas, para

el año 2005 los cultivos incrementaron a 11,02 hectáreas y el aumento más considerable fue en el año 2008, ya que se evidenció que las áreas cubiertas por cultivo fueron de 28,13 hectáreas que corresponden al 7,41% del total de la microcuenca. Esto confirma la proyección que se ha realizado para el cantón para el 2031 donde se evidencia que los cultivos aumentarán en la zona de estudio.

4.3.8. Páramo

El páramo para el periodo comprendido entre 1993 y 2012 se ha reducido alrededor de 107,43 hectáreas, con la proyección realizada se estima que las pérdidas del páramo serán de 286,62 hectáreas en comparación con el año 1993 y de 179,19 hectáreas en relación con el año 2012. Los cambios de uso del suelo que se presentan en áreas que poseen páramos son consecuencia de que las comunidades indígenas han cambiado su economía y realizan actividades como la ganadería, cultivo de varias especies y la exportación de madera mediante prácticas que son inadecuadas, deteriorando los recursos naturales y el medio ambiente del interior y de la zona de amortiguamiento (Vistin, 2017).

En el estudio de Barrero et al. (2022) donde estudia la dinámica de uso del suelo del sector de Guangreas en el Parque Nacional Sangay en Ecuador se muestran los cambios de uso de suelo en donde en el año 1991 el páramo contaba con una superficie de 4146,06 hectáreas la misma fue reducida para el 2016 en 715 hectáreas en donde se identificó que la pérdida fue de 0,76% en esta área disminuyeron la superficie de páramo, pero aumentó las áreas de cultivo y pastizales que fueron atribuidas a un aumento de la producción ganadera y agrícola de la zona, ya que estas dos actividades son las de subsistencia en esta parte de la microcuenca, comparado con el estudio y la proyección para el 2031 la reducción del páramo será mucho más elevada para la zona de estudio.

4.3.9. Superficie cubierta de agua

La superficie cubierta de agua en la zona de estudio entre los periodos de 1993 a 2012 disminuyó en 7,17 hectáreas comparado con la proyección realizada para el año 2031 el valor de 6417,34 hectáreas para el año 1993 se estima que la pérdida de los cuerpos de agua sea de 107,43 hectáreas y para el año 2012 la pérdida aumente a 179,19 hectáreas, de acuerdo al estudio de López et al. (2015) donde se evaluó el cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano en esta zona los cuerpos de agua existentes hasta el año 2000 ocupaban una superficie de 7923,06 hectáreas y para el año 2010 se notó una disminución de 6250,14 hectáreas dado como resultado una pérdida de 1989 hectáreas en esta zona lo cual indica su uso inadecuado además porque se ha identificado mayor demanda del recurso, sobre todo la disminución del volumen de agua disponible impacta mayoritariamente en los sectores económicos considerando que cualquier proceso productivo hace uso de la misma.

4.3.10. Poblados

La superficie donde están asentados los poblados entre el año 1993 y 2012 aumentaron alrededor de 97,21 hectáreas, para la proyección realizada para el año 2031 se tiene que el valor en hectáreas que la población ocuparía es de 1826,56 hectáreas esto comparado con el valor de 1993 se tiene que el valor que ocuparía la población sería de 195,98 hectáreas y con el valor de 2012 la población ocuparía 195,28 hectáreas. El grado de intervención del área da lugar a una fragmentación excesiva de los ecosistemas y puede reducir la aptitud y área de un hábitat para ciertas especies, al no existir fragmentos que sean suficientemente grandes para poder mantener las especies, esto debido al crecimiento demográfico de la población (Usher, 1987).

Las modificaciones humanas son las más determinantes en la fragmentación de ecosistemas, reduciendo además la pérdida biológica de los mismos (Usher, 1987), es así que podemos evidenciar que con las proyecciones realizadas para el

año 2031 el aumento de la población en el área de estudio será evidentemente elevado, el mismo ocasionará en algunos casos fragmentación de los hábitats además de pérdidas en la biodiversidad.

4.3.11. Áreas sin vegetación

Las tierras improductivas del periodo 1993 al 2012 se evidencia que han tenido un aumento de 36,19 hectáreas, el valor proyectado para el año 2031 es de 155,20 hectáreas el cual comparado con el año 1993 las tierras improductivas han aumentado 66,99 hectáreas y para el año 2012 estas tierras aumentaron 28,80 hectáreas, evidenciando que en el paso de los años el aumento es mayor. La presión urbana disminuye la disponibilidad de la tierra a la producción y cada vez más es mucho más fácil fraccionarla, las actividades urbanas son las que van desplazando a la agricultura y la supervivencia de las mismas se dificulta al ser afectada por problemas como aumento del tránsito, contaminación e inseguridad y es el motivo por el cual aparecen tierras abandonadas que pueden llegar a ser objeto de fraccionamientos ilegales y ocupación por parte de la población segregada (Fossatti, 2018).

A medida que la población aumenta y la agricultura deja de ser la función principal, estos territorios se transforman en espacios multifuncionales y es el lugar destinado para todo lo que la ciudad no puede albergar en su interior, es así que mientras más sea la expansión demográfica, el crecimiento será simultáneo de las tierras improductivas, en la proyección para el año 2031 este tipo de tierras aumentarán en 66,99 hectáreas.

4.3.12. Infraestructura

La infraestructura entre el año 1993 y 2012 ha aumentado en 124,24 hectáreas, la proyección para el año 2031 se estima que estará en declive con una ocupación de 304,29 hectáreas, en comparación con el año 1993 el total de la infraestructura para el año proyectado será de 124,06 hectáreas mientras que para el año 2012 la

infraestructura tendrá una disminución de 0,18 hectáreas. Los motores directos que causan el cambio de cobertura de la tierra de bosque a otro uso del suelo específico tienen que ver con el desarrollo de nuevas infraestructuras como carreteras, además de nuevos asentamientos como expansión de centros urbanos, y se habla de una acción que es precursora o propulsora que favorece la deforestación (Cardozo et al., 2013).

La disminución que se proyecta para el año 2031 estaría totalmente relacionada a la toma de conciencia por parte de la población sobre el ambiente con ello la creación de varios programas sociales que serán financiados por parte de la disminución de la inversión pública, en donde en lugar de aumentar los impuestos estos se disminuirán y el crecimiento de la infraestructura se verá limitado, los programas sociales que se desarrollaran para la época disminuirán de manera progresiva estos factores, es así que la proyección que se tiene para el cantón en donde si bien es cierto la disminución será poca serán los primeros pasos para la toma de conciencia por parte de la población (Levy, 2007).

4.4. Acciones para mitigar los problemas detectados de cambio de uso del suelo

A continuación, se muestran las acciones propuestas para la mitigación del cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo.

Las tablas 19, 20 y 21 muestran las acciones para evitar la pérdida de bosque nativo y páramo además de controlar la expansión de la frontera agrícola, mediante la reforestación de áreas susceptibles con plantas nativas, así mismo la implementación de sistemas agroforestales y técnicas de manejo de uso del suelo.

Tabla 20. Acciones para evitar la pérdida de bosque nativo

Acciones	Presupuesto estimado	Tiempo estimado	Responsables
a) Reforestación con plantas nativas en una superficie de 385 has. <ul style="list-style-type: none"> • Aliso (<i>Alnus acuminata</i>) • Pumamaqui (<i>Oreopanax ecuadorensis</i>) • Cedro (<i>Cedrela montana</i>) • Arrayán (<i>Luma apiculata</i>) 	USD 115.620,00	1 año	Prefectura de Imbabura Municipio de Otavalo (Departamento de Gestión Ambiental) Juntas parroquiales Instituciones educativas
b) Creación de áreas de protección hídrica.			
c) Creación de áreas de conservación.			

Tabla 21. Acciones para evitar la pérdida de páramo

Acciones	Presupuesto estimado	Tiempo estimado	Responsables
a) Reforestación con plantas nativas en una superficie de 180 has. <ul style="list-style-type: none"> • Polylepis (<i>Polylepis pauta</i>) • Chuquiragua (<i>Chuquiraga jussieui</i>) • Romerillo (<i>Hypericum laricifolium</i>) 	USD 53.757,00	9 meses	Prefectura de Imbabura Municipio de Otavalo (Departamento de Gestión Ambiental) Bomberos
b) Acciones para la prevención de incendios. <ul style="list-style-type: none"> • Campañas de educación ambiental • Creación de brigadas antiincendios con la comunidad. 			Juntas parroquiales Instituciones educativas
c) Acciones para la prevención de uso de pajonal del páramo. <ul style="list-style-type: none"> • Campañas de educación ambiental 			

Tabla 22. Acciones para controlar la expansión de la frontera agrícola

Acciones	Presupuesto estimado	Tiempo estimado	Responsables
a) Implementación de sistemas agroforestales.	USD 25.000,00	1 año	Prefectura de Imbabura Municipio de Otavalo (Departamento de Gestión Ambiental)
b) Construcción de cortinas rompevientos.			
c) Construcción de barreras/cercas vivas o muertas.			
d) Construcción de viveros comunitarios para la producción de especies nativas que ayuden en la reforestación.			
e) Implementación de técnicas para el correcto manejo del suelo.			
Juntas parroquiales Instituciones educativas			

El presupuesto total para ejecutar las acciones de reforestación de bosque nativo, páramo y control de la expansión de la frontera agrícola es de USD 194.377,00.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El estudio indicó que la variación histórica de cobertura y uso del suelo en el periodo 1993-2012 está fuertemente vinculado a las actividades antrópicas afectando a ecosistemas vulnerables como: bosque nativo y páramo, la transición más alarmante es el aumento del cultivo que pasó de 13,20% a 15,59%, es decir un incremento total de 2,39% en 19 años, mientras que el bosque nativo y páramo disminuyeron en 0,67% y 0,20% respectivamente lo que influiría a futuro en la pérdida de estos ecosistemas.

De acuerdo con el análisis de los conflictos históricos de uso del suelo para el periodo 1993-2012, la subutilización tuvo una pérdida total del 1,19% esto debido a que el suelo de esta categoría es apto para actividades agrícolas y ganaderas, mientras que la sobreutilización de categoría baja y alta tuvieron un aumento del 0,62% y 0,64% respectivamente, demostrando de esta manera que en el cantón se produce una alta degradación y baja productividad del suelo.

La estimación del cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo indicó que la proyección realizada al año 2031 mostró una pérdida del 28,18% del bosque nativo y un 12,08% del páramo, además se identificó un aumento en el mosaico agropecuario y cultivos, dichas tendencias de cambio se mantienen desde el año 1993. Siendo el crecimiento demográfico una de las principales causas en el cambio de uso del suelo del cantón, este aumento contribuye de manera directa a la expansión de la frontera agrícola y ganadera, debido a las necesidades de la población, ocasionando que los hábitats se fragmenten y exista pérdida en la biodiversidad.

Las acciones de reforestación e implementación de sistemas agroforestales y técnicas de manejo de uso del suelo son las más óptimas para evitar la pérdida de

bosque nativo y páramo, de tal manera que permiten mitigar los problemas detectados de cambio de uso del suelo en el cantón Otavalo, controlando la expansión de la frontera agrícola para la conservación de los ecosistemas vulnerables.

5.2. Recomendaciones

Continuar con estudios de proyección futura sobre el cambio de uso del suelo y cobertura vegetal del cantón que permitan plantear acciones de mitigación oportunas para evitar la pérdida de ecosistemas vulnerables.

Proponer la aplicación de las acciones de mitigación mediante la participación comunitaria con los GAD's parroquiales, para evitar la ampliación de la frontera agrícola en territorios parroquiales fuertemente intervenidos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio deben ser considerados dentro del PDOT del cantón Otavalo para fortalecer el correcto ordenamiento del territorio, contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Referencias

- Abad-Auquilla, K. (2020). El cambio de uso del suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54 (2), 68-91. <https://dx.doi.org/10.15359/rca.54-2.4>
- Agarwal, C., Green, J., Morgan, G., Evans, T. y Schweik, C. (2002). A review and assessment of land use change models: dynamics of space, time, and human choice. *General Technical Report NE-297, USDA, Forest Service*, 61
- Almaaitah, R., Azhari, A. y Asri, R. (2018). Spatial Distribution Of Soil Erosion Risk Using Rusle, Rs And Gis Techniques. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(10), 681–697.
- Amin, A., Choumert, J., Combes, J., Combes, M., Kéré, P., Ongono, E. y Schwartz, S. (2018). Neighborhood effects in the Brazilian Amazonia: Protected areas and deforestation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 93(272), 288. [10.1016/j.jeem.2018.11.006](https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.11.006)
- Arévalo-Morocho, C., Jácome-Aguirre, G., Ortega-Andrade, S., Rosales-Enríquez, O., y Rodríguez-Echeverry, J. (2023). Evaluación del cambio del paisaje boscoso y su impacto en la distribución de *Dipsas elegans* en el norte de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79), 231-250. <https://doi.org/10.14198/INGEO.23541>
- Armas, M. L. T., y Paredes, L. U. N. (2019). Aprovechamiento de plantaciones forestales en Imbabura, Ecuador. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 8(2), 98-106.
- Armenteras, D., González, T., Vergara, L., Luque, F., Rodríguez, N. y Bonilla, M. (2016). Revisión del concepto de ecosistema como “Unidad de la Naturaleza” 80 años después de su formulación. *Ecosistemas*, 25 (1), 83-89. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1110>
- Ávila, H. (2009). Periurbanización y espacios rurales en la periferia de las ciudades. *Estudios Agrarios*, 15(41), 93-123.

http://www.pa.gob.mx/publica/rev_41/ANALISIS/7%20HECTOR%20AVILA.pdf

- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L. y Ryan, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*. Mc Graw Hill.
- Barredo, J. (1996). *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio*. Madrid: RA-MA Editorial.
- Barrero-Medel, H., Vistín Guamantaqui, D., Bastidas Pacheco, H., Muñoz Jácome, E., Zárate Procel, Y. y Guerra Castellón, D. (2022). Dinámica de cambio de uso de suelo del sector Guangras en el Parque Nacional Sangay, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 10(1), 44-58. Epub 04 de abril de 2022.
- Bocco, G., Masera, O. y Mendoza, M. (2001). La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas*, 44, 18- 38.
- Bolaños, M. (2016). Mapa de erosión de suelos de México y posibles implicaciones en el almacenamiento de carbono orgánico del suelo. *Terra Latinoamericana*, 3(34), 271- 288. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57346617003>
- Brown, D., Pijanowski, B. y Duh, J. (2000). Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest. *Journal of Environmental Management*, 59(4), 247-263. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112001000100003
- Cardozo, R., Caballero, J., Ortiz, E., Bazán, D., Palacios, F. y Rodas, O. (2013). Análisis multitemporal: infraestructura vial y cambio de uso de la tierra en el Chaco Paraguayo. *Asunción, Paraguay: Informe técnico presentado al BID por Guyra Paraguay*.
- Cerda, J. y Villarroel, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena Pediatría*, 79(1), 54–58. <http://dx.doi.org/10.4067/S0370-41062008000100008>

- Challenger, A., Dirzo, R., López, J. C., Mendoza, E., Lira-Noriega, A. y Cruz, I. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. *Capital natural de México*, 2, 37-73.
- Chuncho, G., y Morocho, C. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. 9. 71-83.
- CLIRSEN., SINAGAP Y MAGAP. (2019) *Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional Escala 1:25 000* [Archivo PDF]. http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/GUAYAQUIL/MEMORIA_TECNICA/mt_conflictos_uso_de_la_tierra.pdf
- Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización [COOTAD]. Ley 0 de 2010. 19 de octubre del 2010 (Ecuador).
- Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas [COPFP]. 20 de octubre del 2010.
- Código Orgánico del Ambiente. Ley 0 de 2017. 12 de abril del 2017 (Ecuador).
- Combalicer, M., Kim, D., Lee, D., Combalicer, E., Cruz, R. y Im, S. (2011). Changes in the forest landscape of Mt. Makiling Forest Reserve, Philippines. *Forest Science and Technology*, 7(2), 60-67.
- CONABIO. (2016). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la biodiversidad (Conabio)*. Biodiversidad Mexicana.
- Constitución de la República del Ecuador [Const]. Art. 321, 409, 410, 425. 20 de octubre del 2008 (Ecuador).
- Cortez, G. y Rivera, J. (2022). *Determinación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal en la estación biológica Guandera* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Di Bella, C., Posse, G., Beget, M., Fischer, M., Mari, N. y Veron, S. (2008). La teledetección como herramienta para la prevención, seguimiento y

- evaluación de incendios e inundaciones. *Ecosistemas*, 17(3), 39- 52.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.85>
- Díaz, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*, 31(3), 80-90.
- Dwomoh, F., Wimberly, C., Cochrane, M. y Numata, I. (2019). Forest degradation promotes fire during drought in moist tropical forests of Ghana. *Forest Ecology and Management*, 440, 158-168.
<https://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.014>
- Eastman, J. (2003). IDRISI Kilimanjaro. Guide to GIS and Image Processing. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University.
- Encina R. e Ibarra, J. (2000). Modificaciones del Medio Ambiente y su Impacto en la Población. *Revista Población y Desarrollo. Facultad de Ciencias Económicas*, 1(19), 13- 26.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5654390.pdf>
- Fahrig, L. (2001). How much habitat is enough?. *Biological Conservation*, 100(1), 65-74. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00208-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00208-1)
- Fahrig, L. (2002). Effect of habitat fragmentation on the extinction threshold: a synthesis. *Ecological Applications*, 12(2), 346-353.
[https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[0346:EOHFOT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[0346:EOHFOT]2.0.CO;2)
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 34 (1), 487-515.
<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- FAO. (1993). Montes: estadísticas ahora para mañana. Roma, Italia. 52 p.
- FAO. (2010). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2010. Informe Nacional. Chile. FRA2010/041. Roma (Italia). 68 p.
- FAO. (2011). Situación de los bosques del mundo 2011. Roma (Italia) (disponible también en www.fao.org/docrep/013/I2000s/I2000s.pdf). 176 p.

- Fernández, M. y Prados, M. (2010). Cambios en las coberturas y usos del suelo en la cuenca del río Guadalfeo (1975- 1999). *GeoFocus*. 10, 158- 184. <http://www.geofocus.org/index.php/geofocus/article/view/196>
- Fossatti, M. (2018). Territorio y poder: los conflictos por el uso del suelo rural en el nordeste de Montevideo. Investigadora de la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de la República, Uruguay. Maestranda en Sociedad y Desarrollo. Especialista en Desarrollo Rural de IICA Uruguay.
- Gallego, C. F. (2004). Cálculo del tamaño de la muestra. *Matronas profesión*, 5(18), 5-13.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo [GADMO] (2012). *Actualización del Plan de Desarrollo y Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo*. Dirección de Planeación Estratégica y Participación Ciudadana, Unidad Técnica de Coordinación del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial, <http://docshare01.docshare.tips/files/26840/268406901.pdf>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo [GADMO] (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Otavalo - Provincia de Imbabura*. Equipo Municipal GADMO, Centro Latinoamericano de Estudios Políticos, <https://www.imbabura.gob.ec/index.php/componente-territorial/instrumentos-de-planificacion/pdot-cantonal/file/505-pdot-otavalo>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo [GADMO] (2022).
- Gross, P. (1998). Ordenamiento Territorial: El manejo de los espacios rurales. *Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales*, 24(73), 116-118. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=19607306>
- Guerrero, N., Días, M., Urdanigo, J., Tayhing, C., Guerrero, R. y Yépez, A. (2017). Uso de suelo y su influencia en la calidad del agua de la microcuenca El Sapanal, Ecuador. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 5 (2), 1-11.

- Guerrero, S. (2021). *Análisis de cambio de uso de suelo en el geositio Salinas-Imbabura y estrategias de Ordenamiento Territorial* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Guevara, E. (2020). *Proyección del cambio de uso del suelo de la cuenca del río Mira: una visión a los años 2027 y 2100* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte].
- Henríquez, Cristián, y Azócar, Gerardo. (2006). Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (36), 61-74. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022006000200004>
- Heras, P. e Infante, M. (2016). Proyecto LIFE Tremedal. Conservación de turberas y medios hidroturbosos en Guipúzcoa. *Conservación Vegetal*, (20). Recuperado a partir de <https://revistas.uam.es/conservacionvegetal/article/view/6558>
- Hernández, A., Vera, L., Naveda, C., Guzmán, A., Vivar, M., Zambrano, R., Teódulo, M., Ormanza, F., Aguilar, K., Venancio, R. y López, G. (2017). Variaciones en algunas propiedades del suelo por el cambio de uso de la tierra, en las partes media y baja de la microcuenca Membrillo, Manabí, Ecuador. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 50-56. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n1/ctr06117.pdf>
- Hernández, J., González, C., Farfán, L. y López, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(1), 7-16. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77645907002.pdf>
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2017). <http://www.geograficomilitar.gob.ec/>
- Instituto Geográfico Militar [IGM]. (2021). <http://www.geograficomilitar.gob.ec/>
- 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.

- Lambin, E. Turner, B. Geist, H. Agbola, S. Angelsen, A. Bruce, J. y Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11 (4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Landis, J. R. y Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Levy, S. (2007). ¿Pueden los programas sociales disminuir la productividad y el crecimiento económico? Una hipótesis para México. *El trimestre económico*, 74(295), 491-540.
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo [LOOTUGS]. 30 de junio del 2016.
- Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales Reformado. 21 de agosto de 2018.
- López, V., Balderas, M., Chávez, M., Pérez, J. y Gutiérrez, J. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano.
- Lozano, P., Delgado, T. y Aguirre, Z., (2003). *Estado actual de la flora endémica exclusiva y su distribución en el occidente del Parque Nacional Podocarpus* [en línea]. Loja: Fundación ecuatoriana para la Investigación y Desarrollo de la Botánica. ISBN 978-9978-09-027-5. Disponible en: <http://biblioteca.udet.ed>
- Martí, C., Peña, J. y Pintó, J. (2004). Metodología de análisis de la transformación del paisaje de la Costa Brava: Evolución, diagnosis y prognosis. En: CONESA, C. y MARTÍNEZ, J. Territorio y Medio Ambiente: Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica. Murcia: Grupo de Métodos Cuantitativos, SIG y Teledetección de la Asociación de Geógrafos Españoles y Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, p. 317-328.
- Martínez, C. (2009). ZHI Dinámica de cambios de uso del suelo en zonas alto andinas del Ecuador. *Recuperado de <https://www.academia>*.

Almiza de cambios de uso del suelo en zonas altoandinas del Ecuador.

Martínez-Ruiz, R., Azpíroz-Rivero, H. S., Cetina-Alcalá, V. M. y Gutiérrez-Espinoza, M. A. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de Eucalyptus. *Ra Ximhai*, 2(3), 815-846.

Massiris, A. (2002). Ordenación del territorio en América Latina. *Scripta Nova. Revista electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 6 (125).
<https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/457>

Ministerio de Ambiente del Ecuador [MAE] (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Ministerio de Ambiente del Ecuador, https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf

Montanerella, L. (2015). Agricultural policy govern our soils. *Nature*, 528, 32 - 33.

Morales, J., Carillo, F., Fárfan, L. y Cornejo, V. (2016). Cambio de cobertura vegetal en la región de Bahía de Banderas, México Vegetation. *Revista Colombiana Biotecnología*, 18(1),7-16.
<https://www.redalyc.org/pdf/776/77645907002.pdf>

Morales, S. (2013). *Zonificación ecológica-ambiental del cantón Otavalo, provincia de Imbabura* [Tesis de Pregrado, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/2133>

Muñoz, D., Rodríguez, M. y Romero, M (2008). Análisis Multitemporal de cambios de uso del suelo y coberturas en la microcuenca las minas, corregimiento de la laguna, municipio de pasto, departamento de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Programa de Ingeniería Agroforestal. Universidad de Nariño.

Muñoz, F., Galicia, L. y Pérez, H. (2018). Agricultura migratoria conductor del cambio de uso del suelo de ecosistemas alto andinos de Colombia. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 16 (1),

15-25. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v16n1/1692-3561-bsaa-16-01-00015.pdf>

Muñoz, J., Andrade, M. y González, B. (2016). Cambio Multitemporal de la Cobertura Vegetal y Fragmentación en la Reserva Ecológica “Mache Chindul” Ecuador. *European Scientific Journal* October. vol.12, No.30 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431

Navarro, M., González, L., Flores, R. y Amparán, R. (2015). *Fragmentación y sus Implicaciones Análisis y Reflexión Documental*. Universidad de Guadalajara.

OBIO. (2016). *Observatorio Nacional de Biodiversidad*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. Suelos: Buenos Aires.

Orán Cáceres, J. P., Gómez Delgado, M., y Bosque Sendra, J. (2010). Una propuesta complementaria de análisis de sensibilidad de un modelo basado en técnicas SIG y evaluación multicriterio. In *Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica (14. 2010. Sevilla) (2010)*, p 971-987. Universidad de Sevilla.

Ordenanza para declaratoria del Área Ecológica de Conservación del Taita Imbabura [Municipalidad de Ibarra]. (2012). Decretar el área de conservación municipal “Taita Imbabura”.

Paladines, O. (1999). “Informe Final de Actividades del Proyecto Manejo de Recursos, Carchi”, Fundagro-Manrecur, 1998, Quito

Pérez, R., Valdez, R., Moreno, F., Gonzáles, A. y Valdez, J. (2011). Predicción espacial de los cambios del uso de suelo en Texcoco, Estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2 (5).

Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Otavalo [PDOT]. (2015). <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Cantonal/PDOT%20OTAVALO.pdf>

- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Selva Alegre [PDOT]. (2011). <https://www.imbabura.gob.ec/phocadownloadpap/K-Planes-programas/PDOT/Parroquial/PDOT%20SELVA%20ALEGRE.pdf>
- Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador: clima, precipitaciones, escorrentía. *ORSTOM*. Quito. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf
- Quinga, M. (2017). *Contaminación del río Machángara y el derecho al buen vivir de los habitantes del barrio de Guápulo del DMQ en el 2015* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/8341>
- Reinoso, I. (2015). *Evaluación ambiental del río Machángara* [Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10479/1/CD-6199.pdf>
- Rivadeneira, G. (2015). Sistematización del proceso de participación ciudadana y política de la mancomunidad de la cuenca del Lago San Pablo, período 2011-2013 [Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9053/1/UPS-QT06741.pdf>
- Rodrigues, H., Soares-Filho, B. y Costa, W. (2007). Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto 13*: 3089-3096.
- Rodríguez, J., Oyarzún, C. y Morales, L. (2018). Impact of land use change on biodiversity and ecosystem services in the Chilean temperate forests. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/150483/Impact-of-land-use-change-on-biodiversity.pdf?sequence=1>
- Rosati, G. (2011). Consideraciones sobre algunas metodologías habituales para el análisis de tablas de movilidad social. Ventajas y limitaciones de una alternativa basada en cadenas de Markov. España; *Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*, 22, 67-90. <https://www.redalyc.org/pdf/2971/297124014003.pdf>

- Roy, H. G., Fox, D. M. y Emsellem, K. (2014). Predicting Land Cover Change in a Mediterranean Catchment at Different Time Scales. In B. et al Murgante (Ed.), 67 Computational Science and Its Applications - ICCSA 2014. Lecture Notes in Computer Science (ICCSA). Springer, 315-330.
- Ruiz, V., Savé, R. y Herrera, A. (2013). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo, en el Paisaje Terrestre Protegido Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011. En: Accepted: 2014-01-10T11:07:50Z, *Revista Científica de FAREM-Estelí. Medio ambiente, tecnología y desarrollo humano* [en línea], vol. 11, no. 3. [Consulta: 03/ 02/2022]. ISSN 1697-2473. DOI 10.7818/ECOS.2013.22-3.16. Disponible en: Disponible en: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/34856> .
- Salcedo, C. (2018) *Caracterización geológica semi-detallada 1:20000 de la concesión minera "Selva Alegre", Provincia de Imbabura, cantón Otavalo* [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16351>
- Sánchez, D. (2016). Los conflictos de uso de las tierras en Ecuador. En *SIGTIERRAS, Ministerio de Agricultura*.
- Sánchez, M. y Reyes, C. (2015). Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 2(1), 42-54
- Sánchez-Cordero, V. Figueroa, F., Illoldi-Rangel, P. y Linaje, M. (2009). Evaluación de la efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente? *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(3), 951-963.
- Santamaría, E. (2011). *Levantamiento de atractivos turísticos en la comunidad de Pijal, cantón Otavalo, provincia de Imbabura y propuesta de desarrollo sostenible* [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13357/1/44926_1.pdf
- Santos, T. y Tellería, J. (2006). Pérdida y fragmentación del hábitat: efecto sobre la conservación de las especies. *Ecosistemas*, 15 (2), 3-12.

- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2017). *Plan Toda una Vida*. Ecuador.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES]. (2011). *Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional 1:25000*.
- Secretaria Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025* (p. 85).
- Secretaría Técnica del Comité Nacional de Límites Internos [CONALI]. (2014).
- SEMARNAT. (2010). Vegetación y uso de suelo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Servicio Agrícola y Ganadero Chile. (2011). *Pauta para estudio de suelos*. [Archivo PDF]. <http://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-para-estudio-de-suelos--mod-2016.pdf>
- Silva, S. y Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12 (23), 13-34. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-63462009000100002&script=sci_abstract&tlng=es
- Sistema Nacional de Información [SNI] (2017). Variables de uso de suelo. <https://sni.gob.ec/inicio>
- Soares-Filho, B.; Rodrigues, H. y Costa, W. (2009). Modelamiento de dinámica ambiental con Dinamica EGO. Giudice, R. trad. Belo Horizonte, Brazil, Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais. 119 p.
- Tansley, A. (1995). The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 8(2), 84–106. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07038992.1982.10855028?tab=permissions&scroll=top>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente [TULSMA]. 12 de abril de 2019.

- Tomas, E. (2018). *Los Ecosistemas*. Universidad Guadalajara.
- Unión de Estudios Ambientales Rio Guarinó. (2018). Metodología de Pendientes. *En Entrevistas*. <https://doi.org/10.31819/9783964564405-toc>
- Unión Europea. (08 de febrero de 2023). Estrategia para la protección del suelo para 2030. https://environment.ec.europa.eu/topics/soil-and-land/soil-strategy_es#:~:text=La%20Estrategia%20de%20la%20UE,con%20acciones%20concretas%20para%202030.
- Usher, M.B. (1987). Effects of fragmentation on communities and populations: a review with applications to wildlife conservation. En: Saunders, D.A., G.W. Arnold, A.A. Burbidge, Hopkins, A.J.M. (eds). *Nature conservation: the role of remnants of native vegetation*, pp 103-121. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, Australia.
- Vanetti, M. (2007). Calculadora en línea de matriz de confusión. <https://marcovanetti.com/pages/cfmatrix/?noc=5>
- Vásquez, M. y Ulloa, R. (1997). *Estrategia para la Conservación de la Diversidad Biológica en el Sector Forestal del Ecuador*. Ecociencia: Quito.
- Vijith, H., Hurmain, A. y Dodge, D. (2018). Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.003>
- Vistin, D. (2017). Estudio florístico del bosque siempre verde montano de la comunidad de Guangras, Ecuador Pág. 218-226.
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling. *Journal of Environmental Management*, 64(3), 273-284. <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0509>
- Willington, E. A., Nolasco, M. y Bocco, M. (2013). Clasificación supervisada de suelos de uso agrícola en la zona central de Córdoba (Argentina):

- comparación de distintos algoritmos sobre imágenes Landsat. In *V Congreso Argentino de AgroInformática (CAI)-JAIIO 42 (2013)*.
- Yang, X. Zheng, X. y Li, L. (2012). A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling, 233*, 11-19.
- Yang, Y., Wang, K., DIA Liu, D., Zhao, X. y Fan, J. (2019). Effects of land use conversions on the ecosystem services in the agro pastoral ecotone of northern China. *Journal of Cleaner Production*.
- Zhiminaicela Cabrera, J. B., Lima Morales, K. A., Quevedo Guerrero, J. N., García Batista, R. M. y Rogel Jarrín, B. A. (2021). Incendios forestales un factor influyente en la degradación de la biodiversidad del cantón Chilla, Ecuador. *Revista Científica Del Amazonas, 4(7)*, 5-12. <https://doi.org/10.34069/RA/2021.7.01>
- Zubelzu, S. y Allende, F. (2014). El concepto de paisaje y sus elementos constituyentes: requisitos para la adecuada gestión del recurso y adaptación de los instrumentos legales en España. *Revista Colombiana de Geografía, 1* (24), 29-42. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281832840003>
- Zurrita, B., Guillen, M., Lugo, A. y Aguilar, J. (2015). Factors Causing Environmental Degradation. *International Journal of Good Conscience, 10* (3), 1-9. [http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10\(3\)](http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10(3))

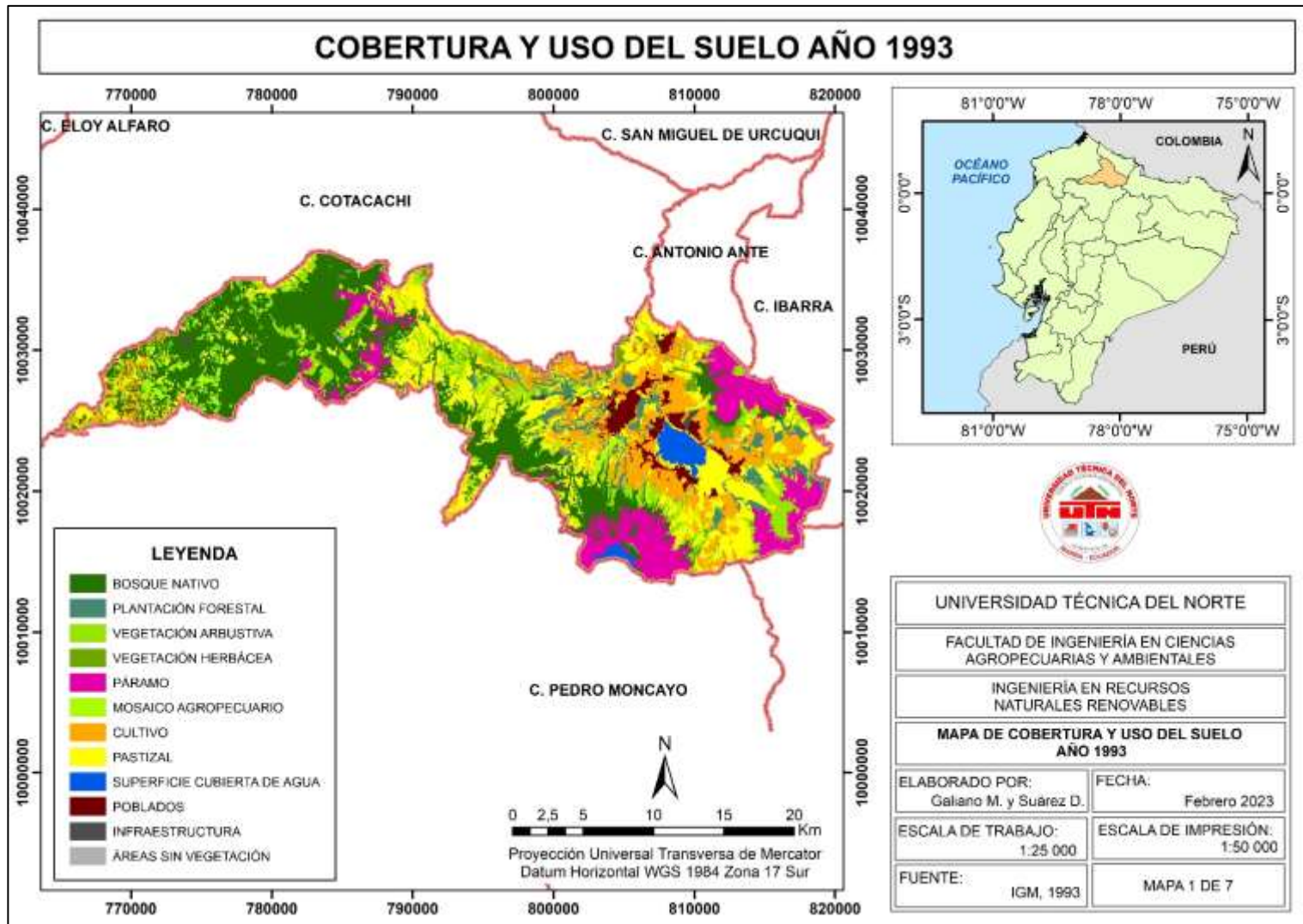
ANEXOS

Matriz de cambio de uso de suelo		Año 2012												Total 1993	Pérdida
		Bosque Nativo	Plantación Forestal	Vegetación Arbustiva	Vegetación Herbácea	Páramo	Mosaico Agropecuario	Pastizal	Cultivo	Superficie Cubierta de Agua	Área poblada	Infraestructura Antrópica	Tierras Improductivas		
Año 1993	Bosque Nativo	15212,5	21,7203	53,9913	11,0169	12,5506	87,0077	220,306	49,8988	0,04298		14,1886	19,929	15703,2	490,65
	Plantación Forestal		2420,02	20,8196	0,110729	0,012642	14,0845	75,3464	51,5011		3,68252	18,845	9,27132	2613,69	193,67
	Vegetación Arbustiva	10,6398	104,736	5132,51	12,5451	0,27772	42,9505	147,848	81,8103		0,137276	12,9293	5,04748	5551,43	418,92
	Vegetación Herbácea	11,6028	16,6089	4,69489	640,332			9,0433	31,5294		1,32162	0,974519	2,09605	718,203	77,87
	Páramo	71,2345	34,3351	2,62706	0,757748	6579,26		1,33145	13,2057	0,026294			1,17682	6703,95	124,69
	Mosaico Agropecuario	3,69123	0,850578	3,44804			963,232	1,05992	5,60523		2,03839	0,182739		980,108	16,88
	Pastizal	40,2615	324,066	42,5871	14,9663			9204,05	1203,3		51,3625	67,5765	9,5046	10957,7	1753,62
	Cultivo	0,330583	53,9347	2,37583	0,880888		0,903125	69,0199	6840,93		36,4903	7,29619		7012,16	171,23
	Superficie Cubierta de Agua	0,001736				0,078826		6,65225	0,028904	956,266	0,478619			963,506	7,24
	Área poblada							0,000007	0,00029		1629,86	0,720802		1630,58	0,72
	Infraestructura Antrópica		2,69672									177,53		180,227	2,70
	Área sin Vegetación		0,140366	0,511004	0,668123	5,33153						4,22101	83,6359	94,5079	10,87
Total 2012	15350,262	2979,11	5263,56	681,28	6597,51	1108,18	9734,66	8277,81	956,34	1725,37	304,46	130,66			
Ganancia	137,76	559,09	131,05	40,95	18,25	144,95	530,61	1436,88	0,07	95,51	126,93	47,03			

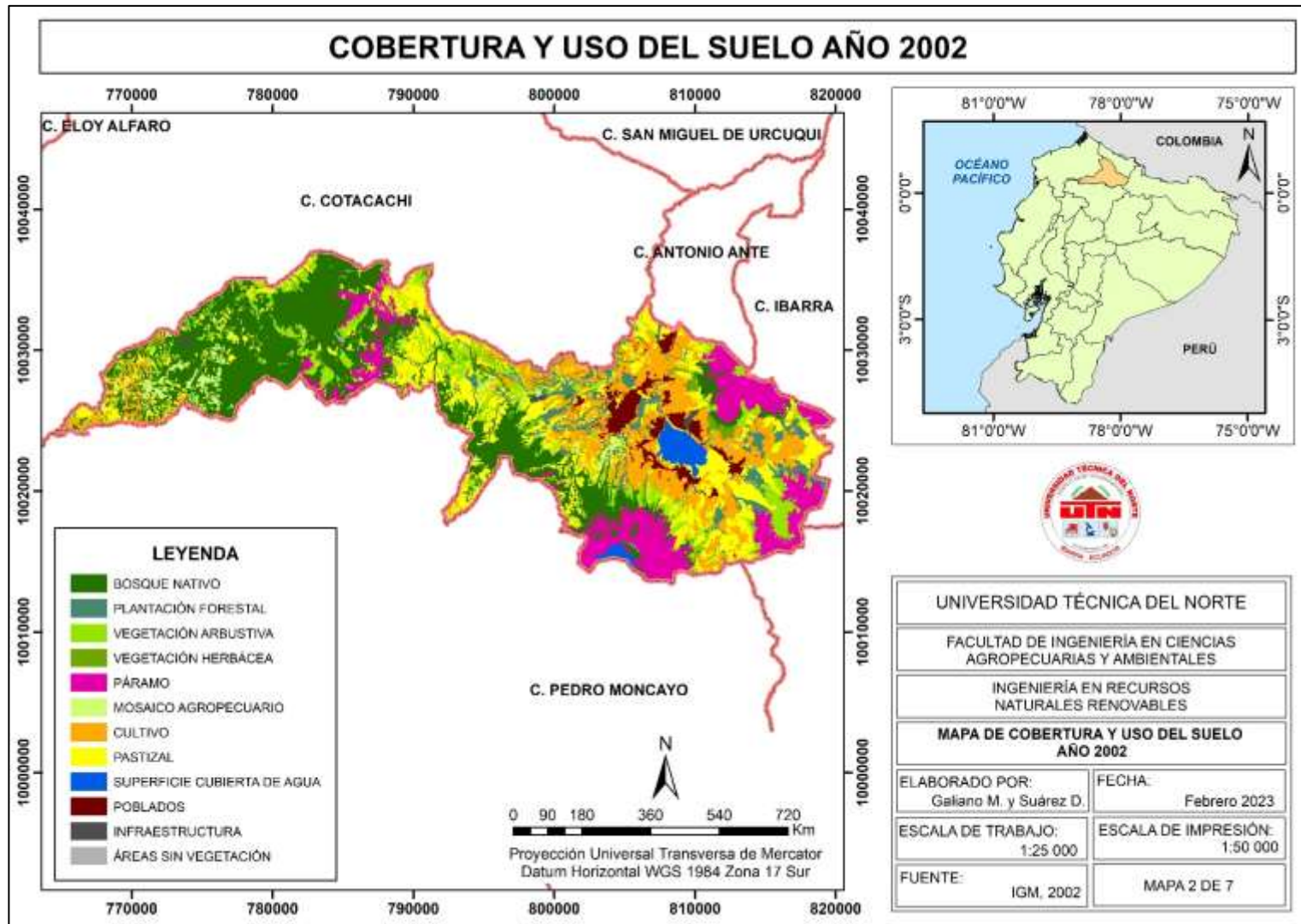
Anexo 1. Matriz de transición de cobertura y uso de suelo para el periodo 1993-2012

Matriz de conflictos de uso de suelo		Conflictos Año 2012						Total	Pérdida
		USO ADECUADO	SUBUTILIZACIÓN	SOBREUTILIZACIÓN BAJA	SOBREUTILIZACIÓN MEDIA	SOBREUTILIZACIÓN ALTA	NO APLICABLE		
Conflictos Año 1993	USO ADECUADO	30400,1	101,641	289,614	119,991	515,307	45,642	31472,30	1072,20
	SUBUTILIZACIÓN	528,27	2957,18	25,6118	31,8135		48,6159	3591,49	634,31
	SOBREUTILIZACIÓN BAJA	22,6392	1,130	2352,32	1,90507	58,179	2,73966	2438,91	86,59
	SOBREUTILIZACIÓN MEDIA	141,289	6,68146	15,015	3048,4	43,5784	6,58591	3261,55	213,15
	SOBREUTILIZACIÓN ALTA	98,4533		86,7174	69,5575	8772,13	21,2714	9048,13	276,00
	NO APLICABLE	6,64536	2,55453	0,171094			3307,25	3316,62	9,37
	Total	31197,40	3069,19	2769,45	3271,67	9389,19	3432,10		
Ganancia	797,30	112,01	417,13	223,27	617,06	124,85			

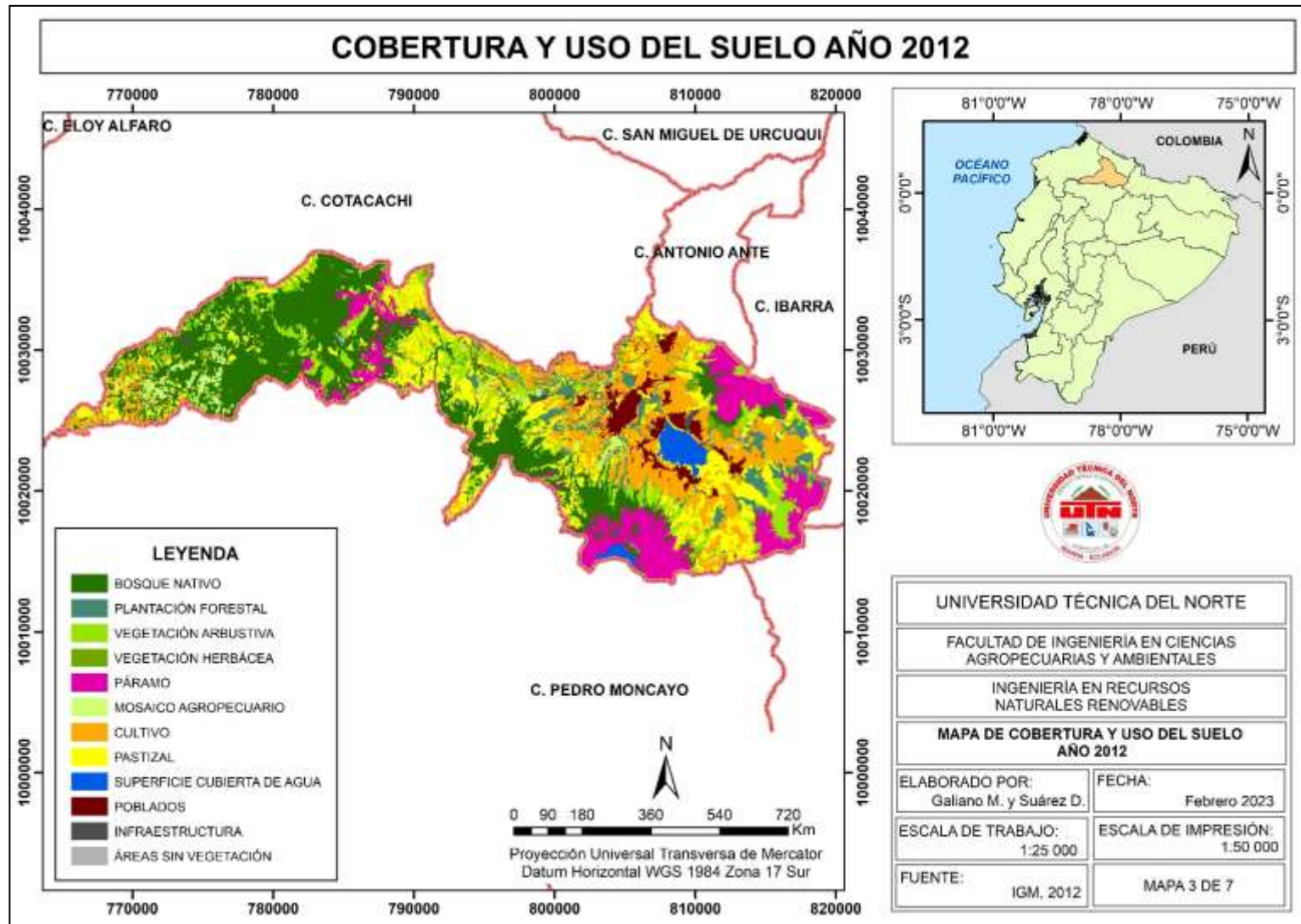
Anexo 2. Matriz de transición de conflictos de uso del suelo para el periodo 1993-2012



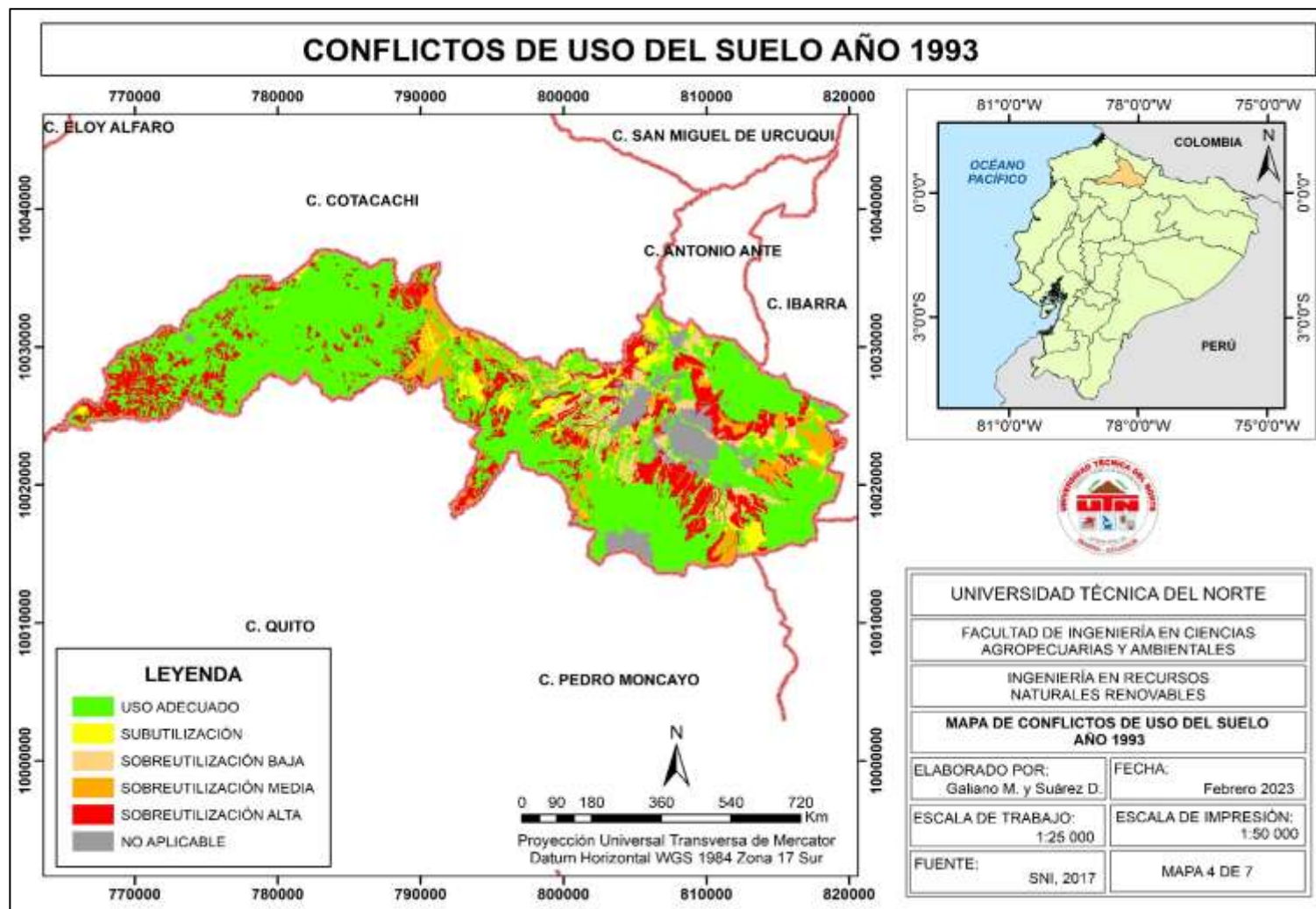
Anexo 3. Mapa de cobertura y uso del suelo año 1993



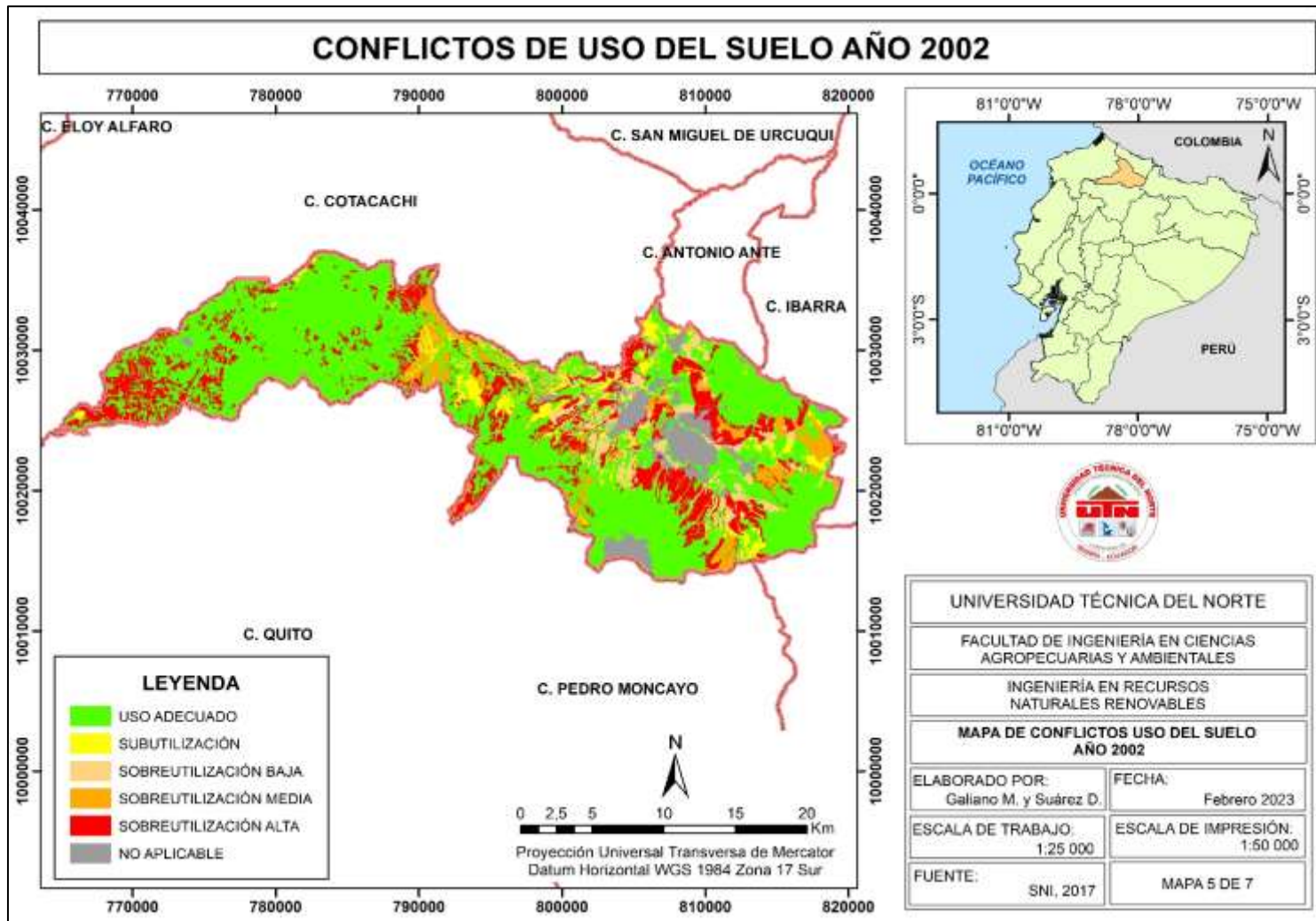
Anexo 4. Mapa de cobertura y uso del suelo año 2002



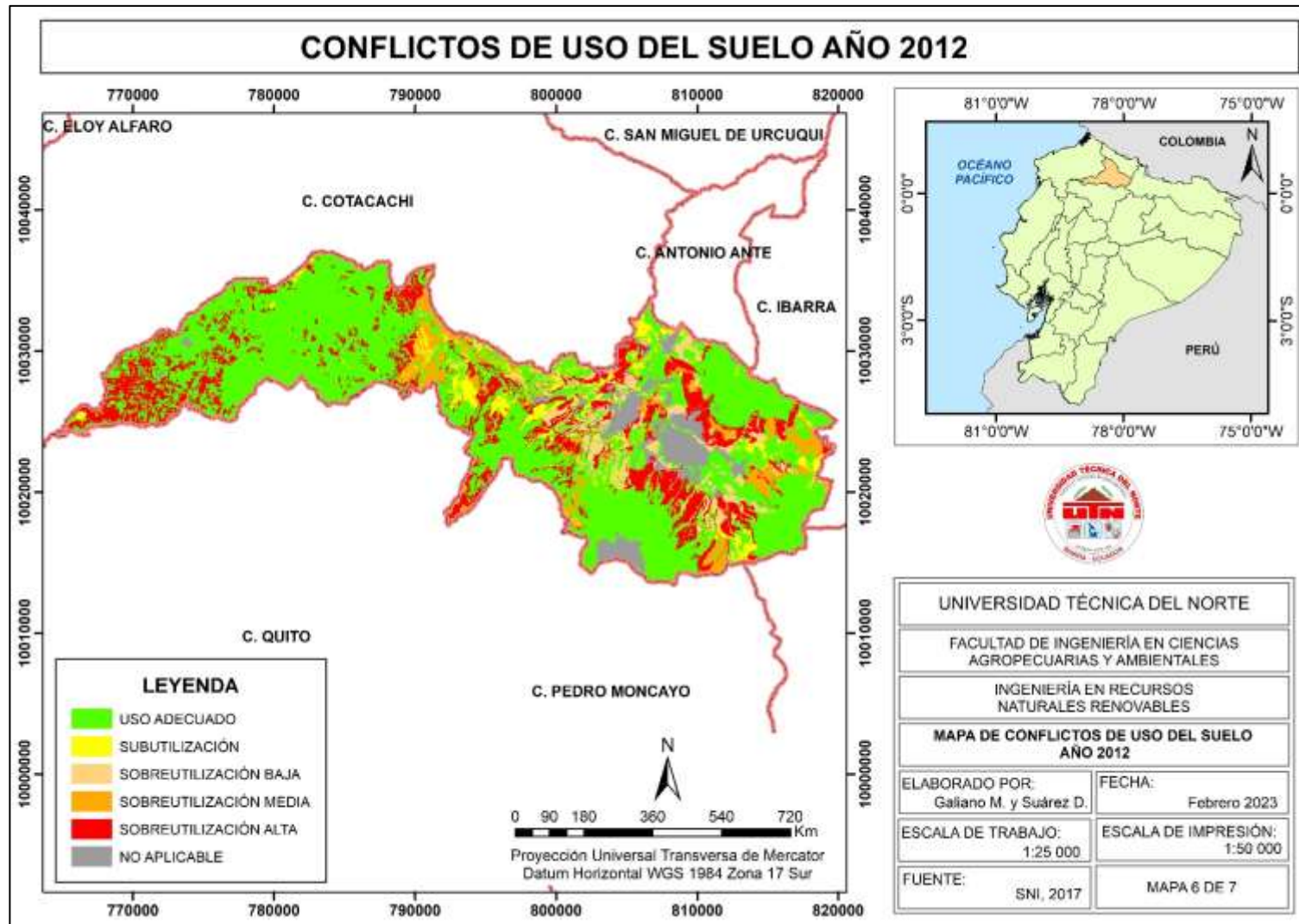
Anexo 5. Mapa de cobertura y uso del suelo año 2012



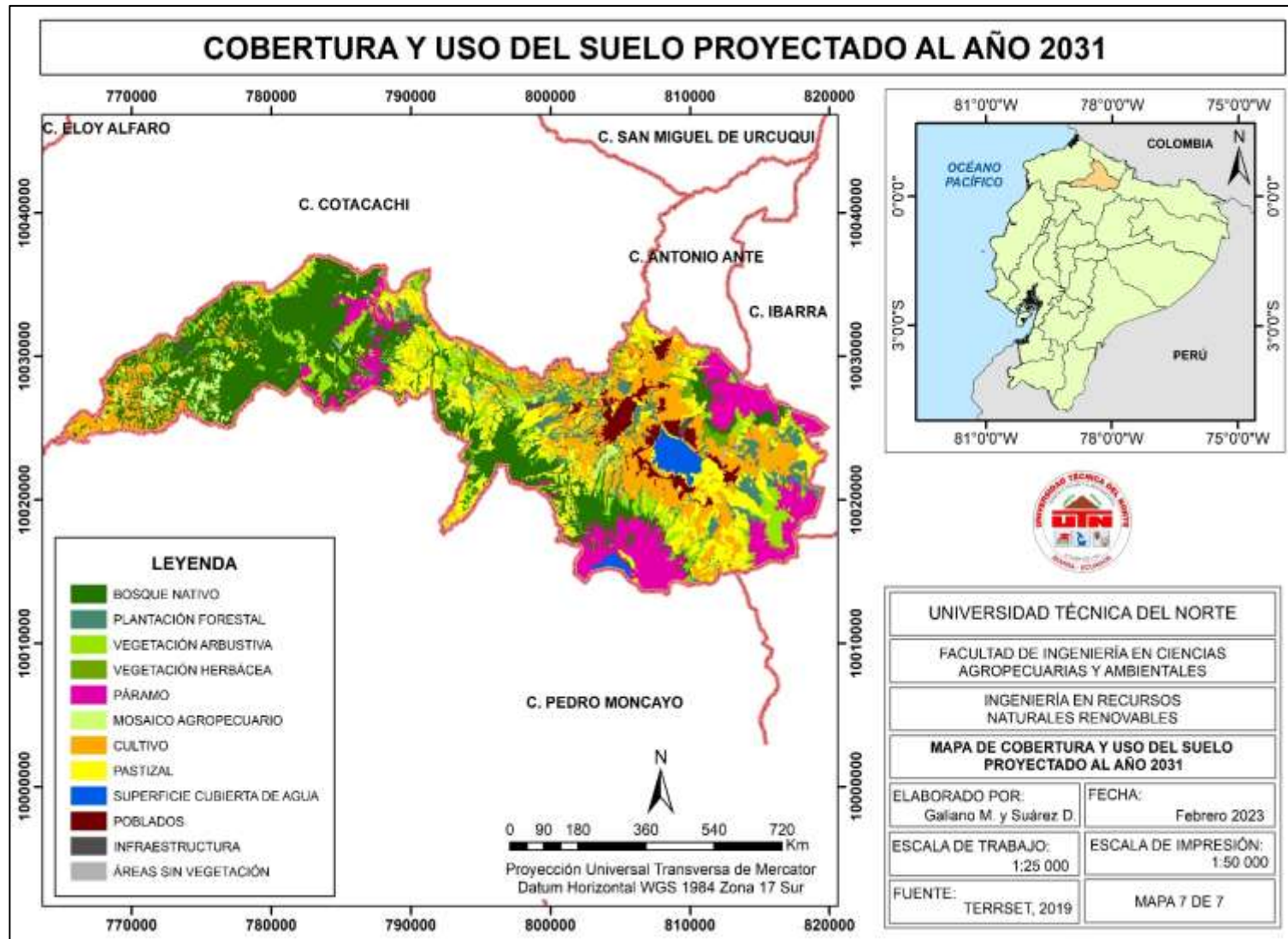
Anexo 6. Mapa de conflictos de uso del suelo año 1993



Anexo 7. Mapa de conflictos de uso del suelo año 2002



Anexo 8. Mapa de conflictos de uso del suelo año 2012



Anexo 9. Mapa de cobertura y uso del suelo del cantón Otavalo proyectado año 2031

