

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE USO DEL SUELO
SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA: EL CASO DE LA
CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA**

**ANÁLISIS DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA
CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

DENNIS FERNANDO CAIZA TINTIN

dennis.caiza@epn.edu.ec

DIRECTOR: MARCOS JOSHUA VILLACIS ERAZO

marcos.villacis@epn.edu.ec

DMQ, septiembre 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Dennis Fernando Caiza Tintin declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.



DENNIS FERNANDO CAIZA TINTIN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Dennis Fernando Caiza Tintin, bajo mi supervisión.

Dr. MARCOS JOSHUA VILLACIS DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DENNIS FERNANDO CAIZA TNTIN

Dr. MARCOS JOSHUA VILLACIS

DEDICATORIA

Con todo mi cariño para mi madre Norma Tintin y padre Fernando Caiza, mi hermana Jaqueline Pilicita, mi sobirno Morgan y Fátima Lucia.....

AGRADECIMIENTO

A mi madre Norma Tintin, padre Fernando Caiza y hermana Jaqueline Pilicita por todo el apoyo brindado desde siempre para cumplir cada una de mis metas propuestas.

A Fátima Lucia por ser una persona muy especial en el transcurso de mi carrera y vida con su apoyo y cariño me ayudo y acompaño en este importante paso a ser profesional.

Mis amigos Sara, Karla y Marco por todo el tiempo compartido, apoyo y experiencias que vivimos es una etapa de la vida que nunca olvidaré.

Por su gran apoyo y tutela a Marcos Villacis un agradecimiento profundo por el conocimiento compartido y los consejos y recomendaciones que fueron valiosos para lograr con los objetivos planteados.

A la Escuela Politécnica Nacional, mi segundo hogar, el cual me acogió y en donde me formé profesionalmente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico.....	3
2 METODOLOGÍA.....	10
2.1 Descripción del área de estudio	11
2.2 Datos.....	14
2.2.1 Fuentes de información.....	14
2.2.2 Procesamiento de datos.....	15
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	23
3.1 Resultados	23
3.2 Conclusiones.....	38
3.3 Recomendaciones.....	40
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
5 ANEXOS.....	46
ANEXO I.....	46

RESUMEN

El uso de suelo es una fuente principal para abastecimiento de recursos, su conservación y estudio es de importancia mundial debido a la diferentes servicios económicos, sociales, políticos y ecosistémicos que nos provee. Por esta razón, se ha desarrollado diferentes estudios para gestionar el recurso. Sin embargo, en el Ecuador existe una carencia de estos estudios.

Este proyecto de investigación tiene como finalidad el análisis del cambio de uso de suelo en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba ubicada entre las provincias de Pichincha, Imbabura y Cotopaxi con una superficie de 6427,3 km². Para realizar dicho análisis se cuantifico las áreas y porcentajes (%) de cada uso de suelo presente en el periodo de 1982-2014, se determinó el porcentaje de pérdida de cada uso de suelo para cada periodo. Mediante factores como la altitud se analizó la influencia de está en el cambio de uso de suelo y las alteraciones que los ecosistemas frágiles (páramo) ha sufrido en ese periodo de estudio.

Obteniendo que el páramo y el bosque nativo son los usos de suelo que más afectaciones tuvieron con pérdidas del 31,94% y 46% respectivamente entre 1998 al 2014, transaccionando en cultivos de ciclo corto, mosaico de vegetación natural y pastos. La influencia de la altitud se vio reflejada en 2300-2800 m.s.n.m., fue la franja altitudinal que más afectaciones tuvo. Los ecosistemas frágiles (páramo) fueron afectados perdiendo progresivamente su área provocando así pérdidas de los servicios ecosistémicos del cual nos provee.

PALABRAS CLAVE: uso de suelo, Cuenca Alta del Río Guayllabamba, páramo, bosque nativo, altitud.

ABSTRACT

Land use is a main source for resource supply, its conservation and study is of worldwide importance due to the different economic, social, political and ecosystemic services it provides. For this reason, different studies have been developed to manage the resource. However, in Ecuador there is a lack of these studies.

This research project aims to analyze land use change in the Upper Guayllabamba River Basin located between the provinces of Pichincha, Imbabura and Cotopaxi with an area of 6427.3 km². To perform this analysis, the areas and percentages (%) of each land use present in the period 1982-2014 were quantified, the percentage of loss of each land use for each period was determined. Using factors such as altitude, we analyzed the influence of altitude on the change in land use and the alterations that fragile ecosystems (páramo) have suffered during the study period.

It was found that the páramo and native forest are the most affected land uses with losses of 31.94% and 46% respectively between 1998 and 2014, with transactions in short-cycle crops, natural vegetation mosaic and pastures. The influence of altitude was reflected in 2300-2800 m.a.s.l., which was the altitudinal band that had the greatest impact. Fragile ecosystems (páramo) were affected, progressively losing their area, causing a loss of the ecosystem services they provide.

KEYWORDS: land use, Upper Guayllabamba River Basin, páramo, native forest, altitude.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

INTRODUCCIÓN

El suelo es la capa más superficial de la tierra y la que permite el desarrollo de la vida terrestre, es la conexión entre la litósfera y la atmósfera por la asimilación de la energía y también interactúa fuertemente con la biósfera e hidrósfera, formando así unos de los principales componentes de todo el ecosistema terrestre y el más básico y abundante recurso natural. La superficie de la tierra, la cobertura y uso de suelo presentará afectaciones durante varias décadas a nivel global [1]. El cambio del uso de suelo ha provocado la transformación y degradación de varios ecosistemas en todo el mundo, junto a las actividades antropogénicas deterioran el ambiente en general, acompañado por una deforestación de bosques en zonas tropicales, se cambió el uso de suelo de cada terreno y su cubierta vegetal para aprovecharlo en fines económicos [2]. El grupo Intergubernamental de expertos de cambio climático afirman que el cambio del uso del suelo es producido por intervención humana [3].

Desde la aparición del hombre el uso del suelo se ha visto involucrado en todas las actividades del humano como principal la agricultura, desde ese entonces se vio la necesidad de estudiar el comportamiento, propiedades y funcionamiento del suelo [1]. El principal factor para el cambio del uso del suelo es la ausencia de planificación territorial creando un sistema precario, el cual afecta en ámbitos social, económico y ambiental [4]. El cambio del uso del suelo se ha visto afectado por el proceso exponencial de urbanización, este ha sido un factor detonante para el cambio del uso de suelo en múltiples lugares del mundo que afecta a múltiples sectores, como lo son el recurso hídrico de las cuencas y la belleza escénica de la biodiversidad y a los servicios ecosistémicos que nos ofrecen. La afectación que produce el cambio de suelo en las cuencas es de importancia nacional e internacional debido a su alta relevancia tanto en conservación de ecosistemas y disponibilidad de agua [5]. Los principales análisis que se usan para determinar el cambio de cobertura y uso de suelo es la cuantificación y caracterización del uso de suelo para generar precedentes de las condiciones y los cambios que se producen en un periodo de tiempo.

1.1 Objetivo general

Analizar la variación del cambio del uso del suelo en la Cuenca Alta de Río Guayllabamba y determinar los factores que producen dicho cambio.

1.2 Objetivos específicos

- Generar porcentajes de áreas perdidas y tendencia de pérdida del uso del suelo en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.
- Cuantificar los efectos del cambio de uso del suelo por franjas altitudinales en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.
- Analizar, discutir y explicar la evolución del cambio del uso de suelo en la Cuenca Alta de Río Guayllabamba con los datos obtenidos.
- Verificar el cumplimiento de la conservación de ecosistemas frágiles (páramo) en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

1.3 Alcance

Se analizará la variación del cambio de cobertura y uso de suelo en la Cuenca Alta de Río Guayllabamba desde el año 1982 al 2014, utilizando información recopilada de instituciones y entidades públicas (SIN, MAATE, MAGAP). La cual será procesada y homogenizada con la herramienta ARCGIS PRO para realizar un análisis mediante la cuantificación de áreas y porcentajes, la influencia de la altitud como un factor de cambio en la cobertura de uso de suelo, los cambios producidos en ecosistemas frágiles (páramo), según la normativa nacional. Los resultados obtenidos serán analizados, discutidos y comparados con estudios similares a la zona de estudio, generando así un informe con resultados concisos y confiables.

1.4 Marco teórico

Uso y cobertura de suelo

El suelo es un recurso natural no renovable y finito que presta diferentes servicios ecosistémicos, entre los más importantes tenemos que este ligado en los diferentes ciclos biogeoquímicos de elementos necesarios para el desarrollo de la vida como lo son el carbono, nitrógeno, fósforo, etc. Una de las funciones más importantes que cumple el suelo es la de asentamiento natural para la elaboración de alimentos y materias primas que son indispensables para la mantención de una sociedad. El suelo es un elemento esencial para el desarrollo de la vida, a su vez un recurso de larga recuperación lo cual lo vuelve vulnerable por su larga recuperación. Sus principales funciones en el ambiente son el almacenar nutrientes, poseer y almacenar nutrientes y ser el hábitat de múltiples organismos, convirtiéndole en un componente indispensable para el desarrollo y conservación de ecosistemas [6], [7], [8].

La cobertura del suelo se refiere a la cubierta biofísica que posee (natural o alterada por el ser humano) una superficie terrestre (pasto, cultivo, infraestructura, entre otros) [9]. Mientras que el uso de suelo es el conjunto que el ser humano desarrolla dependiendo el tipo de cobertura, esto se encuentra asociado con fines sociales y económicos (agricultura, comercial, ganadería intensiva, entre otros). A nivel mundial y regional existen diferentes factores que influyen en el cambio de cobertura y uso de suelo como lo son la deforestación y la expansión de la frontera agrícola [10], [9].

La geografía permite comprender los cambios de uso y cobertura del suelo, los cuales en su mayor parte tienen un factor directo tales como la transformación de selvas y bosques nativos para la expansión de la agricultura, extracción forestal e incremento de infraestructura [11].

Con lo expuesto antes, se resaltan los siguientes factores:

- a) Demográficos: aumento de la población y su densidad.
- b) Económicos: sistema económico local, urbanización e industrialización.
- c) Cambios técnicos en lo agropecuario y en el manejo forestal.
- d) Culturales: uso y costumbres locales, su cosmovisión y comportamiento individual.

Los diferentes usos que el ser humano le puede dar al suelo es un importante tema para considerar debido al papel que desempeña en la degradación y cambio del uso de suelo

[12]. Los estudios que se realizan a los procesos de cambio de uso y cobertura de suelo se encuentran en un alto crecimiento en la investigación ambiental. Una forma de evaluación de los cambios del uso de suelo se realiza a partir de medición de las diferentes coberturas vegetales (usualmente fotografías aéreas e imágenes satelitales) o cartografía de uso y cobertura del suelo a estudiar [13].

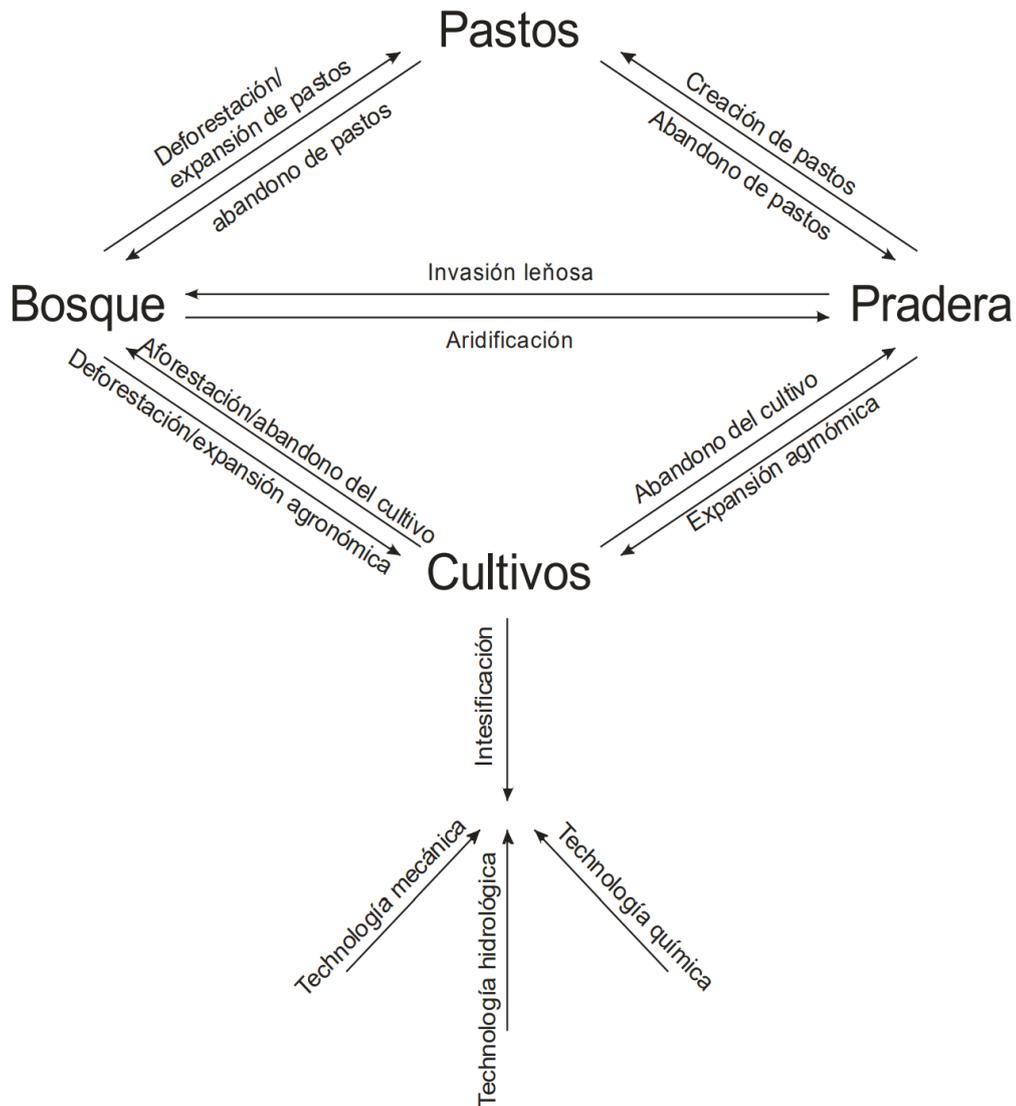


Figura 1. Transformaciones potenciales entre el uso/cobertura del suelo (pastos/cultivos, bosques/pastos).

Fuente: Lambin y Geist, 2006.

Análisis del cambio en la cobertura y uso de suelo

Con lo antes presentado las actividades humanas han sido en su mayor parte responsables de la degradación ambiental, debido a que los diversos e intensos usos que se le da suelo, acompañado a una duración y extensión no sustentable deteriora la calidad de estos. Debido a esto es imprescindible entender la evolución y análisis de los cambios de uso de suelo, ya que nos brinda con los datos de dónde y cuánto se está perdiendo los recursos presentes en el ecosistema y para la contribución en toma de decisiones en ámbitos sociales y ambientales [14].

En las dos últimas décadas varios investigadores han ampliado y mejorado la manera de cómo se determina los cambios de la cobertura del suelo, tratando de consolidar las causas que producen dicho cambio, y desarrollando una ciencia de cambio del uso del suelo donde se integran ciencias como las ambientales, humanas y sistemas de información geográfica (SIG/Teledetección) [15]. Para comprender como los cambios en la uso y cobertura del suelo afectan en la interacción con los sistemas globales es necesario saber que cambios ocurren, donde y cuando ocurren, las tasas en las que ocurren, las condiciones sociales y las fuerzas físicas que generan estos cambios [16].

La determinación de un indicador de un desarrollo equilibrado con la conservación de los recursos naturales es cuantificando el cambio en la cobertura y uso de suelo. La cuantificación se realiza mediante la comparación de mapas de cobertura entre dos fechas establecidas [17]. Los análisis del cambio y uso de suelo proporcionan una base para entender y proyectar las tendencias de deforestación, degradación, desertificación y daños de la biodiversidad de un lugar específico [18].

TELEDETECCIÓN

La percepción remota o más conocida como teledetección es una ciencia que abarca con una variedad de conocimientos y tecnologías que se utilizan para la observación, análisis y interpretación de eventos terrestres y a nivel atmosférico. Como su nombre nos denota, la teledetección obtiene la información sin tener algún contacto con elemento a estudiar [19]. La teledetección no solo engloba una imagen tomada desde el espacio si no que cuenta un postproceso para que tenga una aplicación específica, la información se adquiere por el apoyo de plataformas espaciales [20].

Las formas tradicionales de obtener datos se ven restringidas por la limitación de datos ya que solo existen para limitadas regiones, la teledetección nos permite observar regiones completas, bosques completos, infraestructuras, cuerpos de agua, etc., dependiendo la

escala podemos ver no solo es bosque si no cada uno de los árboles que lo componen. Con esta herramienta nos permite analizar distintos usos que se le puede dar entre los más resaltantes los tipos de cobertura de suelo, hidrología, climatología, etc., lo que facilita análisis de diferentes campos de interés ya que se cuenta con información a nivel global y a diferente escala y temporalidad lo que facilita los estudios de diferente índole [21].

La constante evaluación de tecnologías y la alta adopción y disponibilidad de imágenes satelitales permite el análisis de uso y cobertura de suelo y las alteraciones producidas en un lugar específico en el tiempo. La principal ventaja es el bajo costo, acompañado de una minimización del tiempo para la obtención de la información [22]. El entendimiento actual de la utilización del suelo es de gran importancia, pues no da una noción de en qué estado se encuentra y a partir de esto se puede generar instrumentos de planificación territorial, pues es de suma importancia conocer las condiciones actuales o los cambios producidos y generar planes para una utilización del suelo adecuada y armónica para el ambiente [23].

SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un sistema de información geográfica se define como el método o técnica que nos permite combinar de manera eficiente información básica para obtener información tratada. En general un SIG es capaz de acoplar información geográfica (mapas) y alfanumérica (estadística) para obtener como resultado información resultante en el espacio [24]. En la actualidad los sistemas de información geográfica están con una amplia difusión no solo por la geografía si no por su relación en relación de problemas de ordenamiento territorial, socioeconómicos y ambientales debido a sus capacidades técnicas y analíticas para resolver problemas multipropósito [25].

TIPOS DE DATOS

Los sistemas de información geográfica tienen dos formas de representación: tipo raster y tipo vectorial. El modelo raster se basa en la representación de arreglos bidimensionales de filas y columnas, que se encuentran repartidas en celdas regulares y cada una de estas celdas representa un valor o atributo seleccionado (altitud, precipitación, etc.). En el modelo vectorial de SIG se enfoca en la precisión de la ubicación de elementos sobre el espacio y la fácil modelación de red topográficas (ríos, calles, carreteras, etc.) [26].

FUNCIONES Y APLICACIONES

Las aplicaciones y funciones que tiene los sistemas de información geográfica son muy variadas y evolucionan constantemente dependiendo las necesidades actuales. Todas

estas funciones no son aisladas si no que en muchos casos dependen una de la otra para convertirse en una herramienta útil [27].

Seguidamente se presentará las principales funciones de los SIG:

-Agricultura y medio ambiente: Permite gestionar y optimizar los recursos de agua y suelo mediante la planificación de los recursos y sistemas de producción, como lo son las áreas protegidas y en sectores estraticos mediante el monitoreo de bosques nativos y biodiversidad en general de un lugar en específico [27].

-Administración territorial: Con el tiempo los SIG se convirtieron en una herramienta confiable para la planificación territorial y la creación de políticas públicas mediante el uso de datos de uso y cobertura el suelo, actividades económicas, turísticas, servicios públicos e infraestructura entre los más importantes [27].

-Planificación hidrológica: Los SIG en el ámbito hidrológico se convirtió en una herramienta indispensable para la gestión y planificación de los recursos hídricos, debido a su amplia gama de herramientas para analizar y evaluar, entre ellas delimitación de cuencas hidrográficas, modelos de elevación digital, perdida de uso de suelo, entre otros [27].

ANÁLISIS MULTITEMPORAL

El análisis multitemporal tiene como finalidad determinar los cambios que se producen entre uno o varios periodos de tiempo según la necesidad del estudio a realizar [26], el principal objetivo de realizar estudios multitemporales es descubrir la forma de comparar varias imágenes de diferentes fechas para obtener la variación obtenida entre estas imágenes [28].

Este análisis se lo realiza mediante la comparación de las coberturas plasmadas en dos imágenes satelitales o mapas de un lugar en específico en fechas diferentes y con un mismo criterio de clasificación para que se vuelvan comprables y nos puedan proveer información útil para observar los cambios producidos en un periodo de tiempo y lograr generar proyecciones sobre el territorio y su adecuada gestión [29]. El análisis multitemporal permite encontrar las alteraciones que se producen por la evolución del medio natural o por causas antropogénicas en un periodo de referencia [30].

LEGISLACIÓN AMBIENTAL APLICABLE

Se procedió a realizar un análisis considerando el orden jerárquico que establece el orden de la siguiente manera Constitución de la República del Ecuador (2008), instrumentos, leyes orgánicas y ordinarias, normas regionales y ordenanzas distritales, decretos y reglamentos, ordenanzas municipales, acuerdos y resoluciones y decisiones de poderes públicos, se buscará artículos que ayuden a prevenir la frontera agrícola tomando en cuenta principal las zonas de almacenamiento (páramos) en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba.

Constitución de la República del Ecuador

De acuerdo con la Constitución de la República del Ecuador estipulada en el año 2008 (Registro Oficial N.-449 del 20 de octubre del 2008), en el capítulo segundo de Biodiversidad y Recursos Naturales:

En la sección tercera de Patrimonio y ecosistemas en el Art. 406 establece que el estado regulará la conservación, manejo, recuperación y limitación de dominio de los ecosistemas frágiles entre estos el páramo.

En la sección quinta de suelo se estipula en el Art. 410 el estado brinda apoyo a los agricultores y comunidades rurales para la conservación y restauración de los suelos.

La sección sexta de agua establece en los Artículos 411 y 412 el estado garantizara la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, regulará toda actividad que atente la calidad de las fuentes y zonas de recarga hídricas.

Política de Ecosistemas Andinos del Ecuador

La Política de Ecosistemas Andinos del Ecuador 2009 (Registro Oficial 60), acuerdo ministerial 64 nos indica el Art. 1. Los literales aplicar son los siguientes:

B. Políticas para Ecosistemas Páramo estipula en la política 1 y 2 que el Estado ecuatoriano promoverá la conservación de los páramos y son declarados áreas frágiles las cuales requieren un manejo y cuidado especial por considerarse como reguladores hídricos, ecológicos y biológicos. El manejo de páramos debe enfocarse en la actividad productiva las cuales se centrarán en ecoturísticas y de subsistencia, como parte del ordenamiento territorial y zonificación todo esto implementando en un plan de manejo integral.

Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales

De acuerdo con la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales (2016), en el Título preliminar Art. 6, establece que es de interés nacional la protección y uso de suelo rural de producción, que asegura su mantenimiento y la regeneración de los ciclos vitales, estructura y funciones.

En el capítulo V de la Protección y Recuperación de la Fertilidad de la Tierra Rural de Producción de la misma ley de Tierras establece en el Art. 50 que se limita el avance de la frontera agrícola en ecosistemas frágiles y amenazados, en los que se encuentran los páramos, también establece que no se permitirá la expansión agrícola en los páramos no intervenidos sobre los 3300 m.s.n.m., y en general en áreas protegidas y áreas que generen servicios ambientales.

Código Orgánico del Ambiente

Según el Código Orgánico del Ambiente existen ciertos artículos que promueven la protección del uso de suelo y recursos hídricos.

En el Título II de los Derechos, Deberes y Principios Ambientales, en el Art. 5 estipula el derecho a la población a vivir en un ambiente sano, en el inciso 5 establece la conservación y uso sostenible del suelo para prevenir el desgaste del suelo.

De acuerdo con el Capítulo II de las Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, en el Art. 27 los Gobiernos Descentralizados Metropolitanos y Municipios tiene como potestad elaborar planes, programas y proyectos para la protección, manejo sostenible y restauración de recursos forestales, vida silvestre y recursos hídricos.

2 METODOLOGÍA

La metodología aplicada en el estudio se basa en tres etapas: obtención de datos, procesamiento de datos y análisis de uso de suelo. (Figura 2)

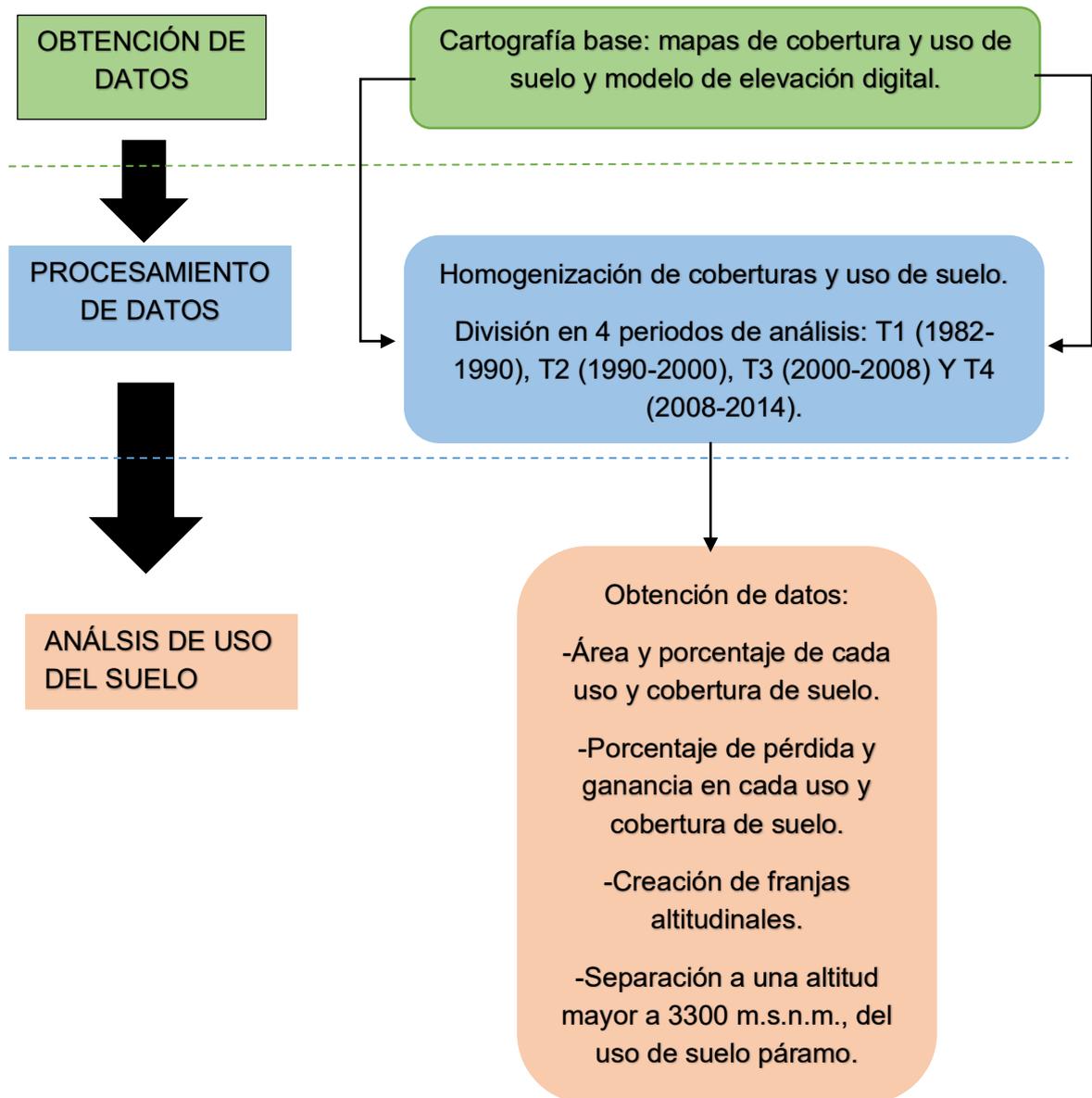


Figura 2. Metodología de análisis de cobertura y uso de suelo.

Fuente: Autor.

2.1 Descripción del área de estudio

En el actual trabajo se ubica en el Ecuador, en la región Sierra, y es la parte alta de la cuenca alta de la cuenca del río Esmeraldas, vertiente del Pacífico Ecuatoriano. La zona de estudio se delimito con punto de cierre a la estación " Guayllabamba DJ Alambi" (H-0146) en la red del INAMHI, para los siguientes análisis se denominará a la Cuenca Alta del Río Guayllabamba (CARG) [31].

La CARG cuenta con un área de 6.427,3 km², el terreno es irregular con una pendiente media de 15,3%, que va desde los 5.830 m.s.n.m. en su punto más alto que es el volcán Cotopaxi hasta los 640 m.s.n.m. en la estación de cierre H-0146 en la parroquia Gulea cantón Quito. Los cuerpos de aguas más representativos son sistemas de lagunas de Mojanda (2,9 km²), Tobar Donoso de Piñan (1,9 km²), Laguna Nunalviro (0,78km²), Laguna de Boyoneos (0,30 km²) y Laguna de Yuyos (0,13km²). La zona de los ecosistemas que son fuentes de agua suma 2366 km², de los cuales 815 km² se encuentran en el sistema Nacional de áreas Protegidas (SNAP) [32], [31].

El principal centro urbano de la CARG es el Distrito Metropolitano de Quito, y que mayor presión ejerce debido a su exponencial crecimiento poblacional. En este distrito habitan más de dos millones de habitantes, de las cuales en su mayoría se dedican a actividades agrícolas y ganaderas, acompañado de las grandes industrias de producción nacional, el sector hidroeléctrico que se planea desarrollar en corto plazo hacen que la CARG busque esfuerzos para aumentar las áreas protegidas y corredores biológicos que aseguren la protección y preservación del ambiente [33].

La ubicación de la CARG se limita por tres provincias Pichincha, Imbabura y Cotopaxi, se encuentra entre 8 cantones: Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, Rumiñahui y Distrito Metropolitano de Quito (Pichincha), Cotacachi y Otavalo (Imbabura), en una mínima proporción en el cantón Latacunga (Cotopaxi). En la tabla 1 se presenta el área de cada provincia con referencia a la Cuenca.

En referencia a la población de los cantones que limitan la CARG se ve un incremento considerable de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) en 1990 se contaba con población de 1.640.939 habitantes, en el 2014 se registra 2.990.354 habitantes. Lo que indica un crecimiento del 80,69%.

Tabla 1. Provincias y cantones que delimitan la CARG.

Provincia	Cantón	Área (km²)	% Provincia
Pichincha	Cayambe	923,44	82,6
Pichincha	Mejía	754,02	
Pichincha	Pedro Moncayo	336,26	
Pichincha	Rumiñahui	135,59	
Pichincha	Distrito Metropolitano de Quito	3539,44	
Imbabura	Cotacachi	0,76	16,8
Imbabura	Otavalo	21,48	
Cotopaxi	Latacunga	39,43	0,6

Fuente: INEC, 2012.

Elaborado por: Autor.

La cuenca alta del río Guayllabamba como se presentó en la tabla 1, se ubica en su mayor parte en la región sierra ecuatoriana, en consecuencia, cuenta con la presencia de valles así como una variedad de planicies y elevaciones, es una zona con pendiente y relieve variables, lo que hace que se generen topoclimas y en el distrito metropolitano de Quito el área urbana más grande que contiene la cuenca, presentara un microclima [34].

De acuerdo con Pourrut et. al. (1995), citado por De Bievre et. al. (2008b), la CARG cuenta con tres diferentes tipos de climas debido a su variado relieve:

Semiárido templado, la temperatura de típica de este clima varía entre los 16 y 24°C, precipitaciones de 400 y 700 mm/año y comúnmente se encuentra entre los 1000 a 2000 m.s.n.m., la zona de Pomasqui y San Antonio de Pichincha presentan esté tipo de clima.

Mesotérmico semihúmedo, la altitud donde se presenta esté clima es de 2000 a 3000 m.s.n.m., presenta temperaturas entre 12 y 20 °C en ocasiones pueden presentarse temperaturas bajo los cero grados. La precipitación varia de 700 a 1500 m.s.n.m., está presente a lo largo de la mesera de Quito.

Ecuatorial de alta montaña, con temperaturas características de menos de 8 °C, precipitación varia de 1000 a 1600 mm/año y en una altitud de 2000 a 3000 m.s.n.m., presente en las cordilleras que atraviesan al valle de Quito.

El uso de suelo en la CARG cuenta con ecosistemas frágiles, los cuales corresponden a los páramos en las zonas altas, los cuales son los reguladores de los recursos hídricos, los cuales están expuestos a aumentos de las fronteras agrícolas y ganaderas. Por otra parte, cada vez son más evidentes las perturbaciones por la captación de quebradas, el incremento de infraestructura y por consiguiente la impermeabilización de estas zonas. Con eso se ha identificado que los uso de suelo que predominan son bosques nativos, cultivos (ciclo corto, permanentes y semipermanentes), pastos, cuerpos de agua otro tipo de vegetación que cubre la CARG [33].

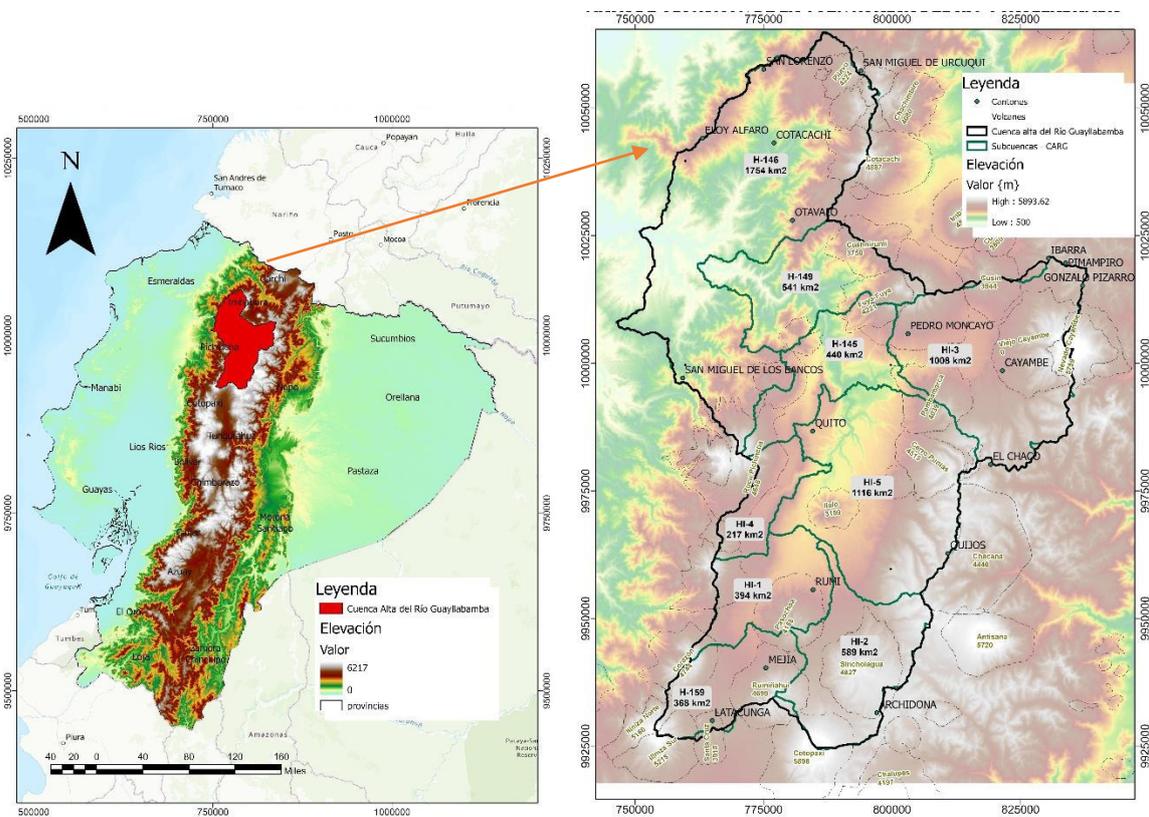


Figura 3. Ubicación de la Cuenca alta del río Guayllabamba.

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaboración: Autor.

2.2 Datos

2.2.1 Fuentes de información (Disponibilidad de datos)

En consecuencia, de las numerosas fuerzas motrices que intervienen en el cambio de cobertura en el uso de suelo es necesario recopilar datos de diferentes fuentes:

- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), se obtuvieron las variables demográficas, económicas, agrícolas y ganaderas.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), se obtuvieron mapas de cobertura y uso de suelo 1990, 2000, 2008, 2014, tasa de deforestación 1990-2014, sistema nacional de área protegida (SNAP).
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), de donde se recopiló los mapas de cobertura y uso de suelo del año 1990, 2000, 2008, 2014.
- Sistema Nacional de Información (SIN), donde se consiguió los mapas de cobertura y uso de suelo del año 1982.
- Fondo Para la Protección del Agua (FONAG), organismo que cuenta con estudios de la CARG como, plan de manejo integrado de los recursos hídricos en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba (2008 y 2009).

Tabla 2. Inventario de disponibilidad de datos de cobertura y uso de uso de suelo en la CARG.

Disponibilidad de datos de cobertura y uso de suelo en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba 1982-2014

Años	Disponibilidad (Si/No)	Años	Disponibilidad (Si/No)
1982	Si	2000	Si
1984	No	2002	No
1986	No	2004	No
1988	No	2006	No
1990	Si	2008	Si
1992	No	2010	No
1994	No	2012	No
1996	No	2014	Si
1998	No	TOTAL	5

Elaborado por: Autor.

La cartografía base principal son los datos de uso y cobertura de suelo en la CARG la cual permitió determinar el periodo de tiempo de análisis y la escala de cada mapa, las principales fuentes son MAATE, MAGAP y SIN, siendo las dos primeras entidades públicas que colaboraron para la creación y verificación en el campo de los mapas publicados, creados a partir de imágenes Landsat (TM,30m) , el SIN agrupa y direcciona la información geográfica de diferentes instituciones, según sus competencias.

Tabla 3. Cartografía principal utilizada.

Cartografía Base	Descripción	Escala
Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP)	Cobertura y uso del suelo 1990	1:100.000
	Cobertura y uso del suelo 2000	1:100.000
	Cobertura y uso del suelo 2008	1:100.000
	Cobertura y uso del suelo 2014	1:100.000
	Cobertura y uso del suelo 2016	1:100.000
	Cobertura y uso del suelo 2018	1:100.000
SNI	Cobertura y uso del suelo 1982	1:250.000
IGM	Modelo de Elevación Digital	1:100.000

Elaborado por: Autor.

2.2.2 Procesamiento de datos

La metodología aplicada para el estudio es la siguiente:

- **Delimitación y área de la CARG:**

La delimitación de la CARG se realizó con las siguientes consideraciones relevantes:

- El área total de la cuenca del río Guayllabamba, aprox. 8.200 km², y su distribución espacial.
- La estación “Guayllabamba DJ Alambi - H0146”, de la red del INAMHI, como estación de cierre.
- Área total de la CARG: 6.427,3 km².

- **Análisis multitemporal del cambio de cobertura y uso de suelo.**

Para analizar el cambio de cobertura y uso de suelo a través del tiempo y en el área de estudio se utilizarán mapas oficiales y públicos para 5 periodos de tiempo: 1982, 1990, 2000, 2008 y 2014 (<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>). Lo cuales son datos vectoriales en formato shapafle de la cobertura y uso de suelo, se determinó las diferencias en superficies en cada una de las categorías de cobertura del uso de suelo, homogenizando las categorías para su comparación, su evolución en el tiempo, y se cuantificara las principales conversiones en el área de estudio.

- **Homogenización de las categorías de la cobertura y uso de suelo**

Para la clasificación de las coberturas se tomó referencia de la clasificación del mapa de cobertura del uso del suelo del año (1982), debido a que es mapa del cual se tomó de referencia para comparativas y cuantificar los cambios, es el mapa más antiguo por lo que es la referencia de las condiciones iniciales de la CARG.

Tabla 4. Criterios para la homogenización de las coberturas del uso de suelo en la CARG.

Nivel 1	Nivel 2	Definición	Fuente
Cuerpo de agua	Espejos de agua natural	Volumen y superficie de agua estática o movimiento.	MAGAP-IEE (2012)
	Glaciar	Nieve y hielo localizados en las cumbres de las elevaciones andinas.	MAGAP-IEE (2012)
Cultivos de ciclo corto	Cultivo Anual	Comprende las tierras dedicadas a cultivos agrícolas, cuyo ciclo vegetativo es estacional, pueden ser cosechados una o más veces al año.	MAGAP-IEE (2012)
	Mosaico agropecuario	Es la agrupación de especies cultivadas que están mezcladas entre sí y no pueden individualizarse.	
Cultivos permanentes	Cultivo permanente	Formado por aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo es mayor a tres años, ofrece en este periodo varias cosechas.	MAGAP-IEE (2012)
	Cultivo semipermanente	Formado por aquellas tierras dedicadas a cultivos agrícolas cuyo ciclo vegetativo varía entre uno y tres años.	
	Platación forestal	Masa arbórea establecida antropicamente con una o más especies forestales.	MAE (2011)
Mosaico de Vegetación Natural	Vegetación arbustiva	Áreas con un componente de especies leñosas nativas no arbóreas, incluye	MAE (2011)

		áreas degradadas en transición a cobertura densa de dosel.	
	Vegetación herbáceas	Áreas conformadas por especies herbáceas nativas con un crecimiento espontáneo, no reciben cuidados especiales, utilizadas pastoreo esporádico.	MAGAP-IEE (2012)
Paisaje mineral	Área sin cobertura vegetal	Son áreas generalmente sin algún tipo de vegetación, por sus limitaciones edáficas, climáticas, topográficas o antropicas, sin uso agropecuario o forestal.	MAGAP-IEE (2012)
Pastos	Pastizal	Comprenden vegetaciones herbáceas dominadas por especies de gramíneas y leguminosas introducidas, uso principal con fines pecuarios.	MAGAP-IEE (2012)
Vegetación natural	Paramo	Vegetación tropical altoandina caracterizada por especies dominantes por arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo de la zona.	MAGAP-IEE (2012)
	Bosque Nativo	Ecosistema arbóreo, primario o secundario, regenerado por sucesión natural, caracterizado por la presencia de árboles de todos los tamaños y especies antiguas, diferentes edades y con uno o más estratos.	MAE (2016)
Zona urbana o sin determinar	Área poblada	Áreas ocupadas por viviendas y edificios para servicios públicos y privados.	MAGAP-IEE (2012)
	Infraestructura	Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.	MAGAP-IEE (2012)

Fuente: MAATE, MAGAP, IEE.

Elaborado por: Autor.

- **Cambios en la cobertura y uso de suelo**

Primero se procedió a cargar los mapas de cobertura y uso de suelo en el software ArcGis Pro que fue facilitado por el departamento de Tecnología e Información de la Escuela Politécnica Nacional otorgándonos la licencia respectiva para su uso. Luego se cortó los mapas de cobertura con la CARG ya delimitada, se calculó el área de cada tipo de uso de suelo según la clasificación especificada en la Tabla 4, y los porcentajes de estos con respecto al área total de la CARG.

Se estimó los cambios de cobertura y uso de suelo para cuatro periodos de análisis: 1982-1990 (T1), 1990-2000 (T2), 2000-2008 (T3), 2008-2014 (T4). A continuación, se presentará

las áreas y porcentajes de cobertura y uso de suelo que se utilizará como referencia del año 1982 (condiciones iniciales) de la CARG.

Tabla 5. Áreas (km²) y Proción (%) general de la CARG 1982.

Uso de suelo	Área (km²)	Porción (%)
Cuerpos de agua	2,44	0,04
Cultivos de Ciclo Corto	893,68	13,90
Cultivos Permanentes	514,41	8,00
Mosaico de Vegetación Natural	429,99	6,69
Paisajes Minerales	71,19	1,11
Pastos	993,96	15,46
Vegetación Natural	3292,58	51,23
Zona urbana o sin determinar	229,11	3,56

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE.

Elaborado por: Autor.

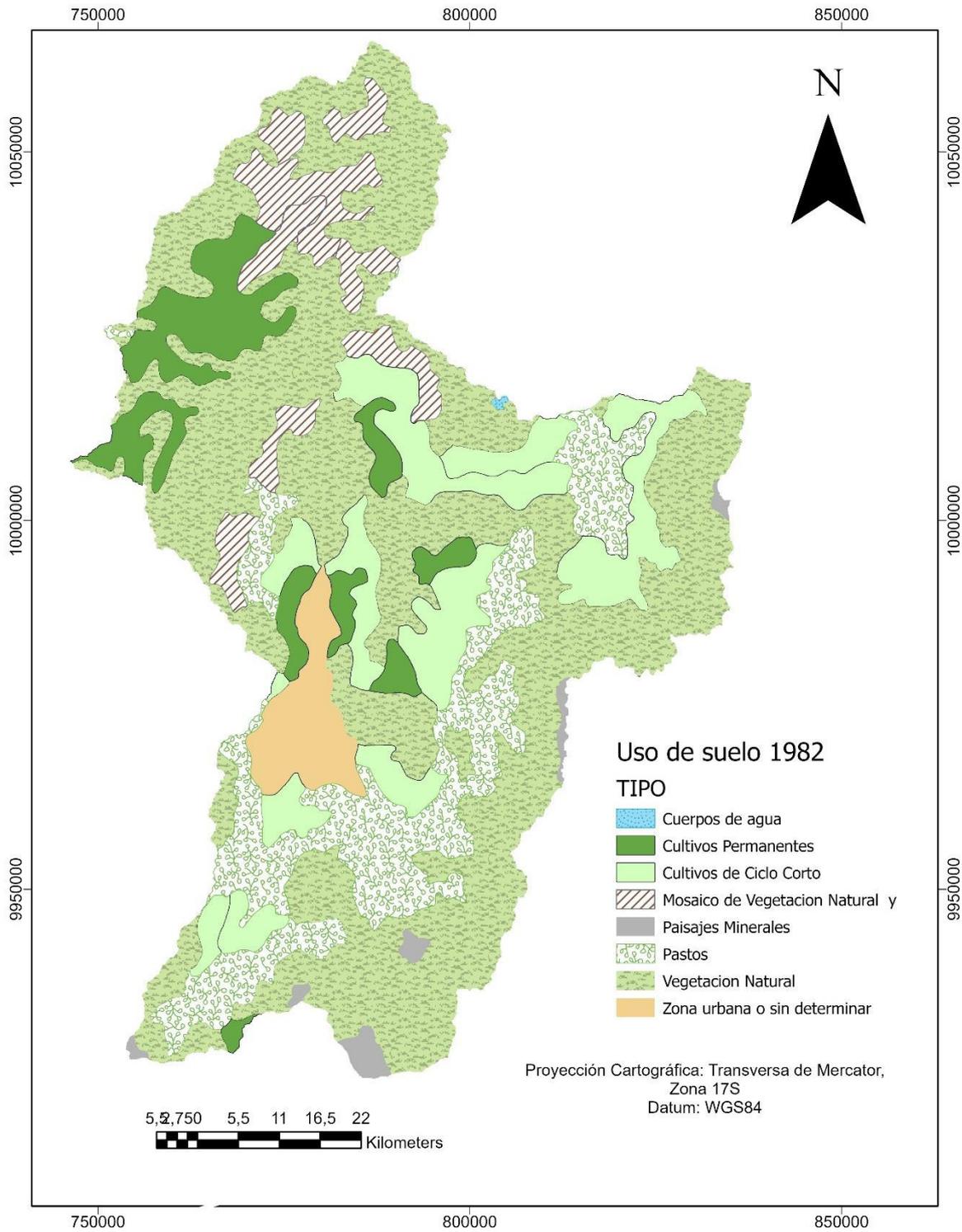


Figura 4. Mapa del uso de suelo en la CARG 1982.

Datos base obtenidos de: MAGAP, SIN.

Elaboración: Autor.

- **Cálculo de la tasa de cambio**

Una vez establecido las áreas de cada cobertura en la CAR, se calculó el cambio que se produce en la cobertura y uso de suelo utilizando la ecuación 1 que nos expresa la tasa de cambio de superficie en un periodo de tiempo establecido en los periodos de análisis (T1, T2, T3 y T4).

$$\delta_n = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Ecuación 1. Tasa de cambio.

Fuente: [18].

Donde

δ_n = tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100).

S_1 = superficie en la fecha 1.

S_2 = superficie en la fecha 2.

n = número de años entre las dos fechas.

- **Análisis de la influencia de la altitud en el cambio de cobertura y uso de suelo.**

Para realizar el análisis de la influencia de la altitud en el cambio de cobertura y uso de suelo se utilizó el software ArcGis Pro que fue facilitado por el departamento de Tecnología e información de la Escuela Politécnica Nacional.

Para comprender y analizar los patrones de cambio de cobertura y uso de suelo con diferentes condiciones de elevaciones, primero se descargó el modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 50m del Instituto Geográfico Militar (IGM), se recortó el área de estudio y la resultante mediante la herramienta de calculadora raster fue reclasificado en 4 bandas de 500 metros empezando con valores <2300, 2300/2800, 2800/3200, >3200m (Figura 5). Finalmente se sobrepuso las 4 bandas de DEM con los mapas ya clasificados de los años 1982, 1990, 2000, 2008 y 2014. Todo este procedimiento se realizó y ArcGis Pro (Figura 6).

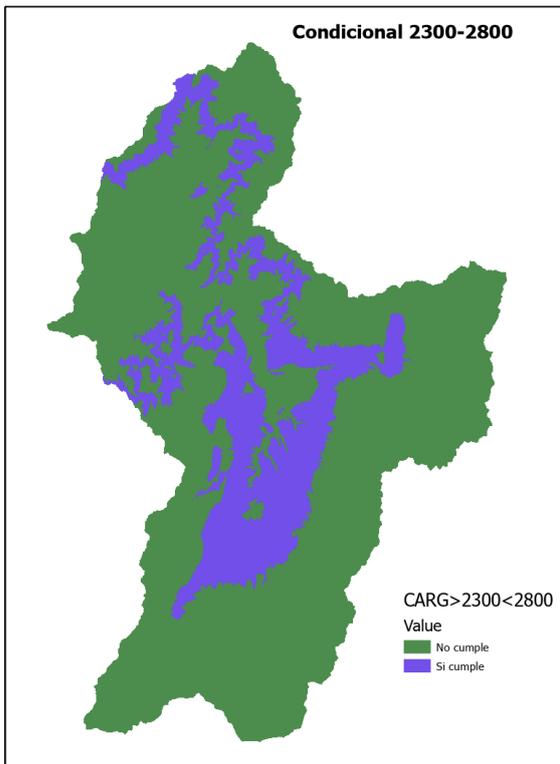
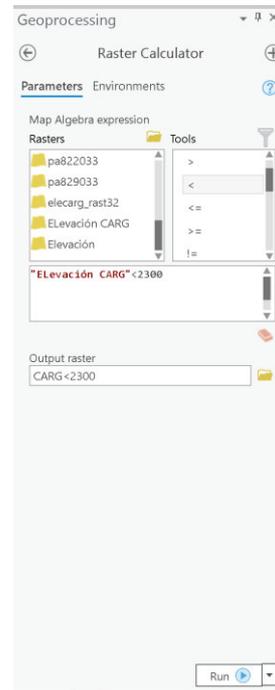
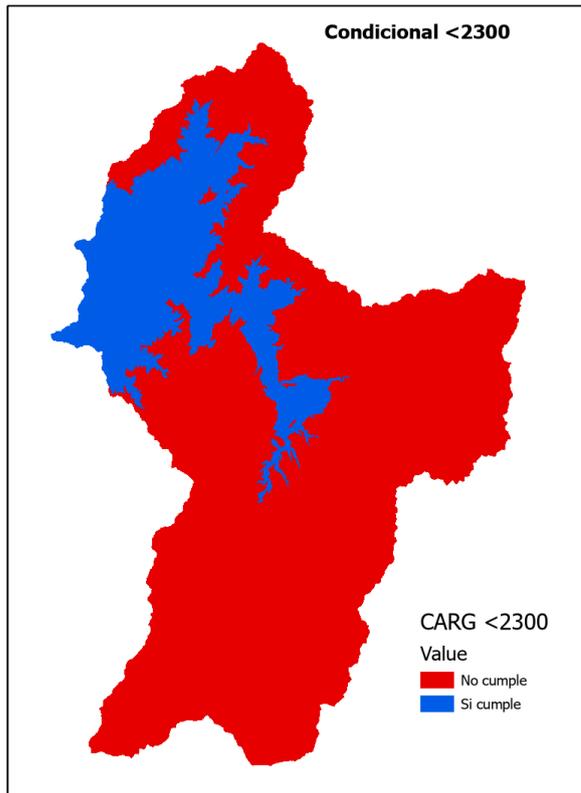


Figura 5. Creación de bandas de elevación.

Datos base obtenidos de: IGM.

Elaboración: Autor.

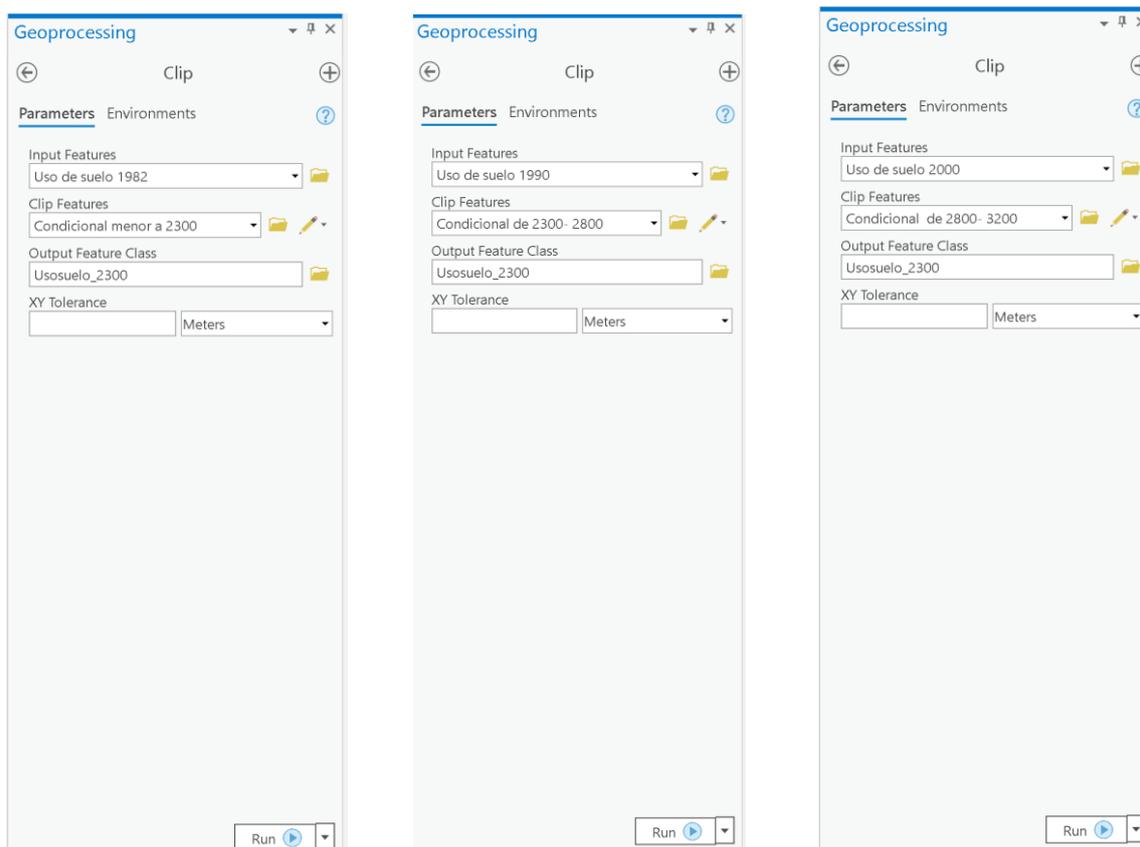


Figura 6. Sobreposición de las bandas de elevación con la cobertura y uso de suelo (1982-2014).

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, IGM.

Elaboración: Autor.

Análisis de la frontera agrícola en ecosistemas frágiles (páramo)

Para la determinación de la frontera agrícola se analizó con la banda de altitud mayor a 3200 m.s.n.m., y la intersección de las coberturas de los años 1982, 1990, 2000, 2008 y 2014, se determinó la variación de área y porcentaje para analizar el cumplimiento del artículo 50 de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales limita la ampliación de la frontera agrícola, no se permite avance de la frontera agrícola en los páramos sobre los 3300 metros de altitud. Con las áreas recortadas de cada año y la elevación se unió las capas para así determinar cuáles celdas sobrepasan los 3300 m.s.n.m., para cuantificar y clasificar los tipos de cobertura de uso de suelo que se encuentran en esa área. Con esta información se analizó la expansión en la frontera agrícola en la CARG.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

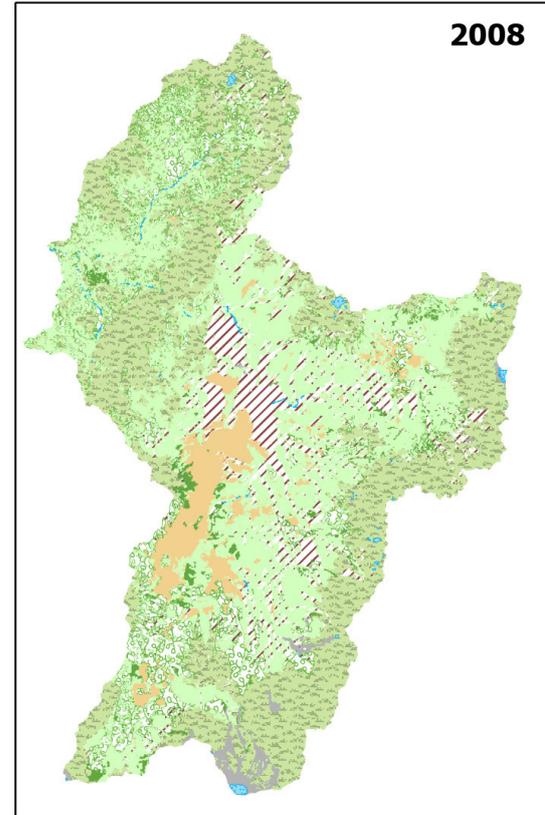
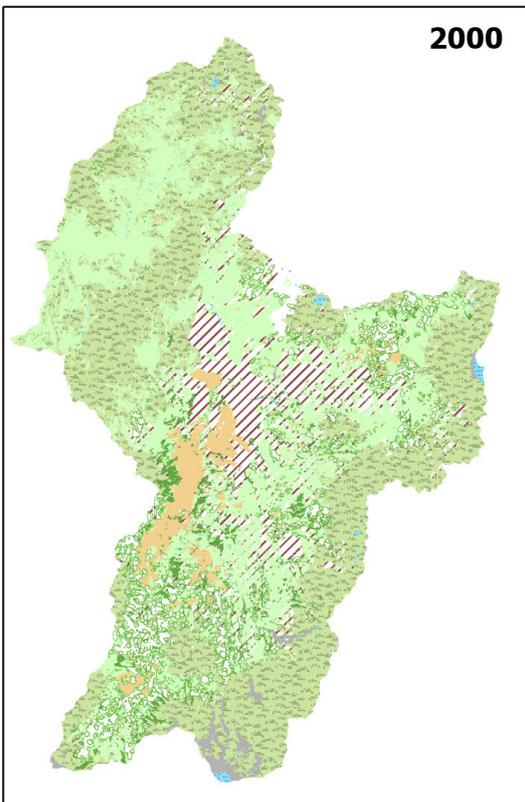
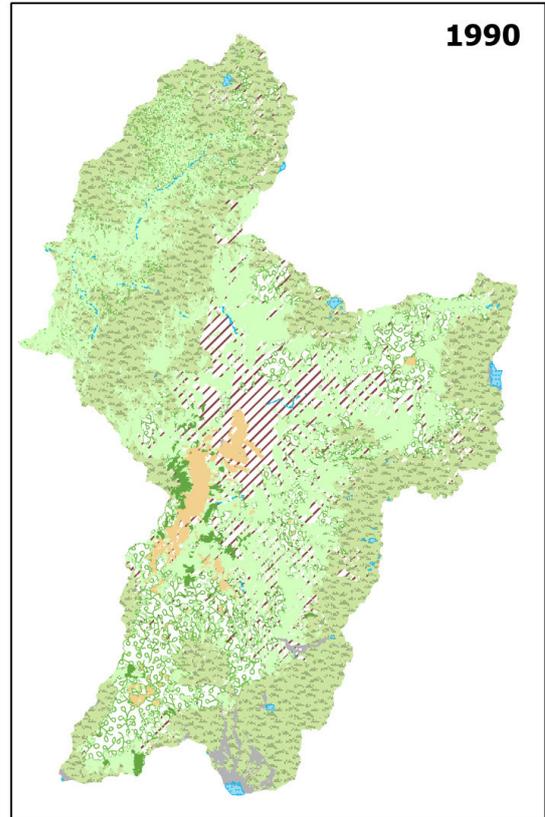
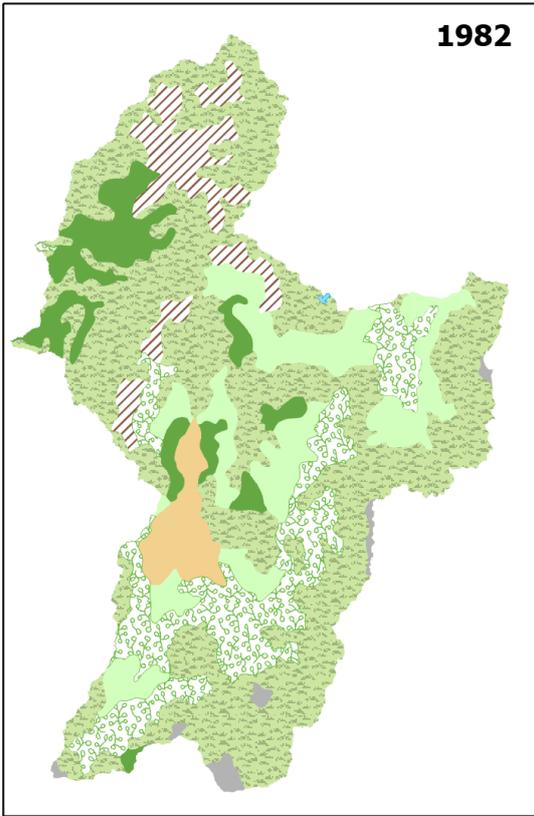
3.1 Resultados

3.1.1 Resultado del análisis la variación del cambio de cobertura y uso de suelo en la CARG

Los principales cambios en la cobertura y uso de suelo que presenta la CARG fueron en la vegetación natural (bosque nativo y páramo), seguido de cultivos de ciclo corto y mosaico de vegetación natural (Figura 7)., ya que presentaron cambios dinámicos en el periodo de estudio; la vegetación natural tuvo una disminución porcentual 51% a 37% del área total, los cultivos de cortos tuvieron una oscilación de valores del 13% al 34% del área total, el mosaico de vegetación natural un incremento del 6% al 12% del área total (Tabla 6).

El uso de suelo predominante en la CARG en el periodo de estudio es la vegetación natural (páramo y bosque nativo) del cual el páramo presento una disminución del 28% al 21% del área total desde 1982-2014, el bosque nativo presento una disminución del 21% al 15% del área total, los cultivos de ciclo corto en el periodo de estudio T1, T2 y T3 presento un crecimiento exponencial, con respecto al año 1982 que solo contaba con el 13% del área total comparado al año 1990 que llego a 29% del área total llegando a valores máximos de 34% en el año 2008 con respecto al área total que representa más de doble siendo los cultivos de ciclo corto el uso de suelo más representativo en estos periodos en el caso que se analice la vegetación natural por separado en paramos y bosques nativos.

Los cuerpos de agua naturales (lagos y ríos) en el T1 un aumento considerable de 0,04% al 0,45% del área total lo que representa un incremento del aproximadamente 11 veces de 1982-2014 (Tabla 6, Figura 7),lo que se atribuye principalmente es cambio exponencial la escala del mapa de 1982, en análisis posteriores se excluirá datos de 1982 de áreas que no sean significativas para tener un mejor análisis de los datos obtenidos, en los periodos de estudio T2, T3 y T4 presentaron una oscilación de 0,45% a 0,34% del área total siendo valores más estables sin crecimiento o disminución brusca. Las zonas urbanas y cultivos de ciclo corto presentaron un aumento continuo en todo el periodo de análisis las zonas urbanas tuvieron un crecimiento del 3% al 8% del área total, cultivos de ciclo corto un crecimiento del 13% al 34% del área total (Tabla 6).



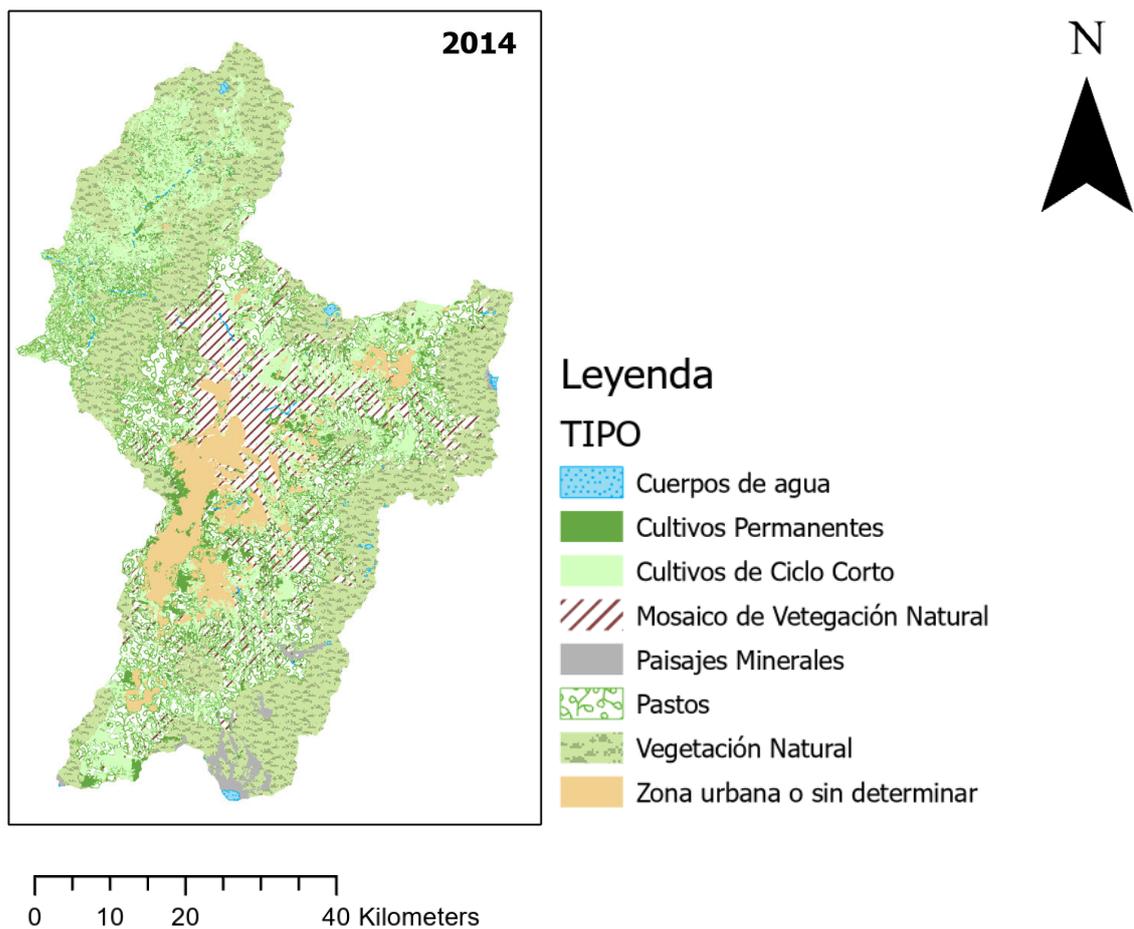


Figura 7. Comparativa de cobertura y uso de suelo de 1982-2014 en la CARG.

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaboración: Autor.

Tabla 6. Cambios en la cobertura y uso de suelo en la CARG (1982-2014).

Uso de suelo	Año	1982		1990		2000		2008		2014	
	Unidades	km ₂	%								
Cuerpos de agua		2,44	0,04	29,01	0,45	24,48	0,38	21,34	0,33	21,71	0,34
Cultivos de Ciclo Corto		893,68	13,90	1905,32	29,64	2041,76	31,77	2187,36	34,03	1002,60	15,60
Cultivos Permanentes		514,41	8,00	80,79	1,26	181,22	2,82	112,03	1,74	213,11	3,32
Mosaico de Vegetación Natural		429,99	6,69	653,90	10,17	680,81	10,59	573,04	8,92	805,34	12,53
Paisajes Minerales		71,19	1,11	71,66	1,11	81,87	1,27	82,09	1,28	81,56	1,27
Pastos		993,96	15,46	904,83	14,08	577,22	8,98	671,64	10,45	1366,44	21,26
Vegetación Natural	Páramo	1817,51	28,28	1442,31	22,44	1417,29	22,05	1353,67	21,06	1377,45	21,43
	Bosque Nativo	1475,07	22,95	1707,57	26,57	1152,97	17,94	1034,40	16,09	1009,10	15,70
Zona urbana o sin determinar		229,11	3,56	169,72	2,64	269,75	4,20	391,78	6,10	550,05	8,56
Total		6427,35	100,00	6427,35	100,00	6427,35	100,00	6427,35	100,00	6427,35	100,00

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaborado por: Autor.

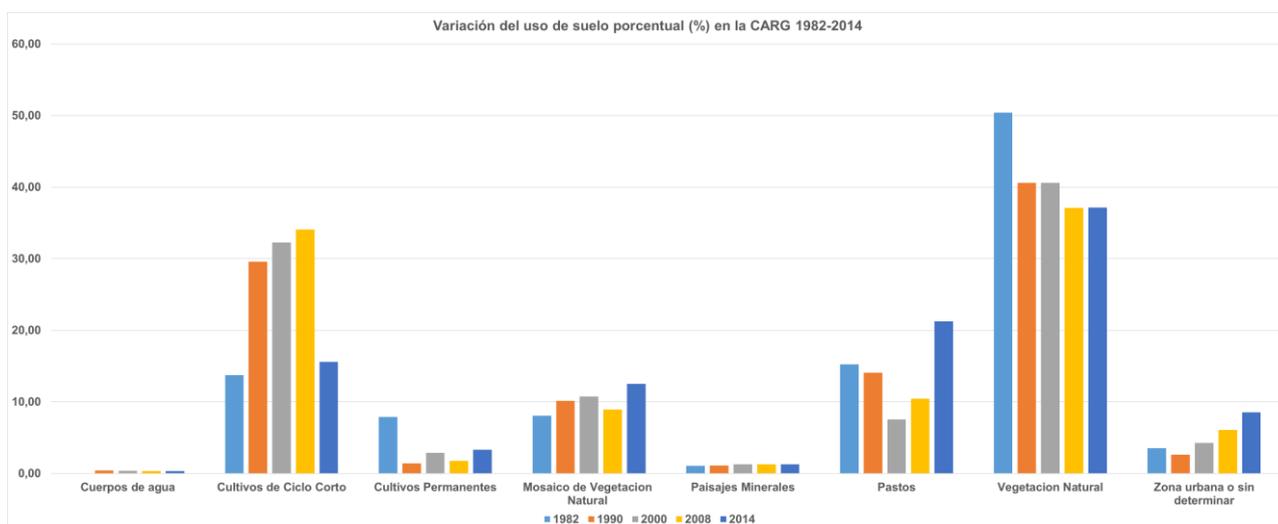


Figura 8. Variación de uso de suelo en la CARG de 1982-2014.

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaboración: Autor.

3.1.2 Resultado de áreas pérdidas y tendencia de pérdida en porcentaje (%) y área (km²)

Al analizar la tasa de cambio en la CARG, como era de esperar, el porcentaje de cambio tanto en bosques nativos y páramo está disminuyendo con el tiempo, con la excepción del páramo en el periodo de estudio T4 (2008-2014) donde existe un crecimiento del 1,76%, esto se produce principalmente por el abandono de la tierras agrícolas (cultivos de ciclo corto) (Tabla 7, Figura 10), por lo tanto las áreas abandonadas tienden a estabilizarse con el tiempo y tienen la probabilidad de cambiar a páramo o pastos, como se observa en la Figura 7 donde los cultivos de ciclo corto en el periodo T4 presentan una considerable disminución y un aumento notable de pastos y un pequeño porcentaje de vegetación natural. Además, la evidente tasa de incremento para la zona urbana y cuerpos de agua estos en especial en el periodo T1, zona urbana en un constante crecimiento desde el T2 al T4 como es la tendencia mundial de urbanización.

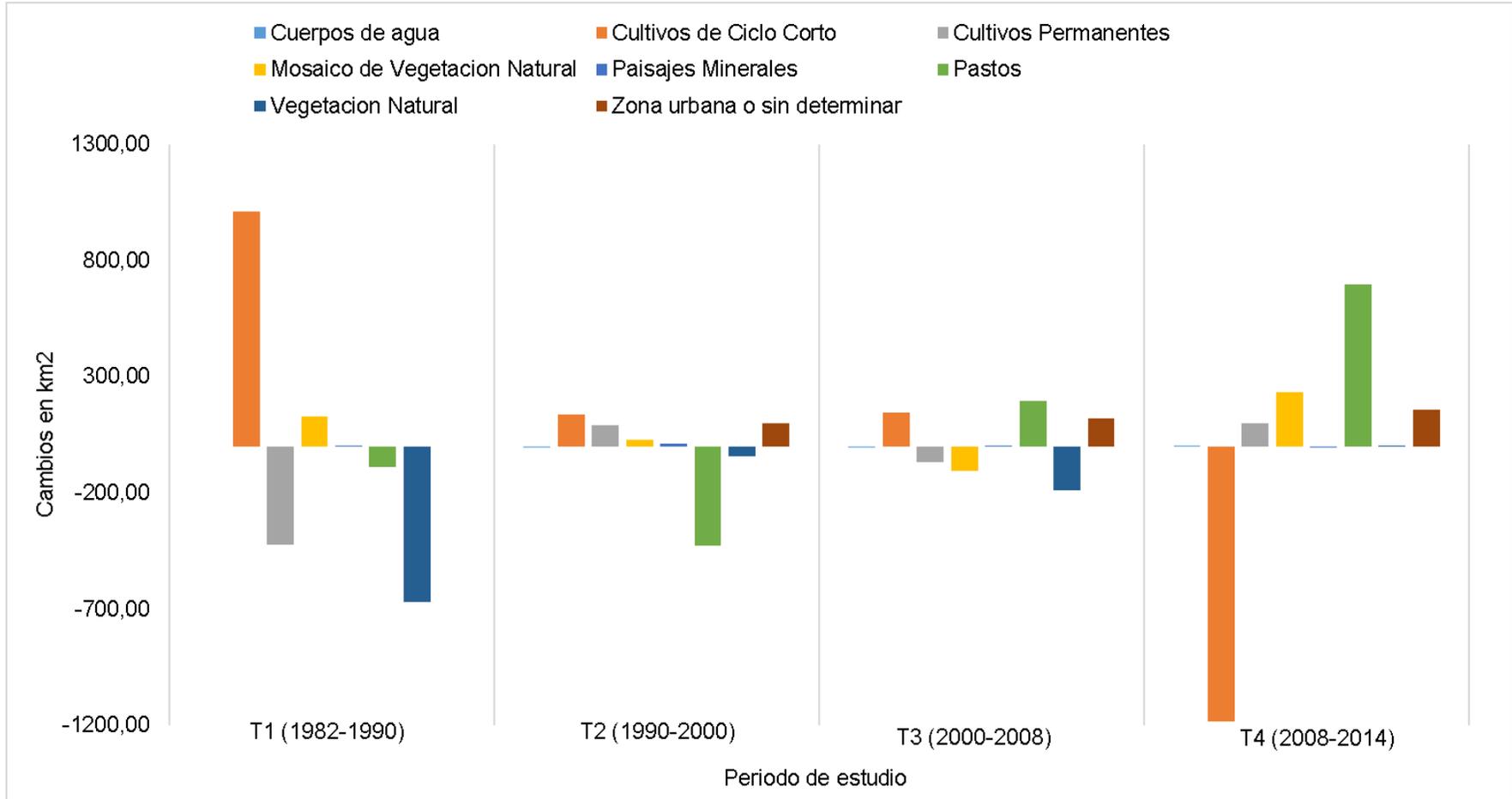


Figura 9. Cambios de las áreas (km²) de los usos de suelo de 1982-2014 en la CARG.

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaboración: Autor.

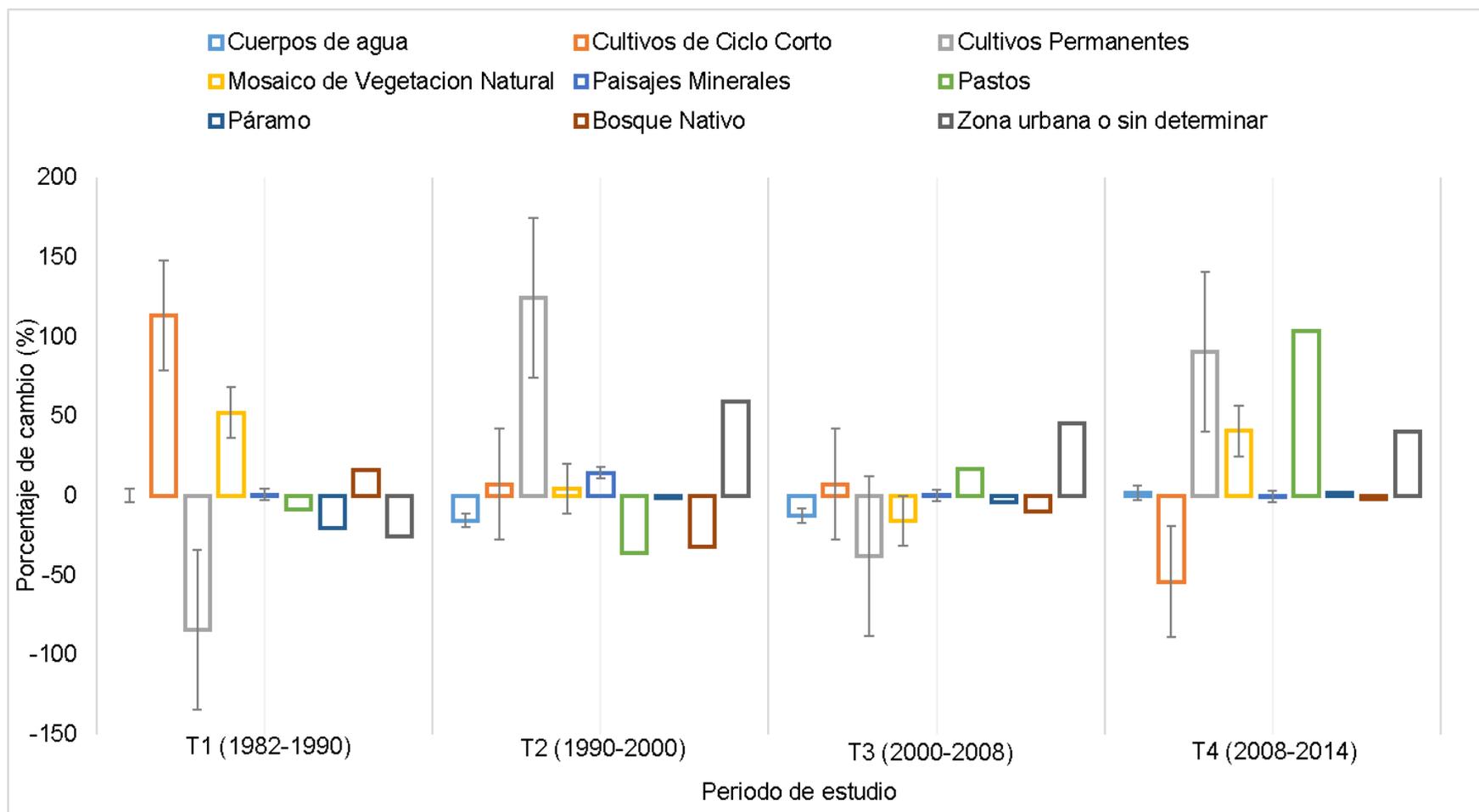


Figura 10. Cambios en porcentajes (%) de los usos de suelo de 1982-2014 en la CARG.

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaboración: Autor.

Tabla 7. Porcentaje de cambio en los periodos T1, T2, T3 y T4 de la CARG (1982-2014).

Porcentaje de cambio CARG				
Uso de suelo	T1 (1982-1990)	T2 (1990-2000)	T3 (2000-2008)	T4 (2008-2014)
Cuerpos de agua	-	-15,64	-12,82	1,74
Cultivos de Ciclo Corto	113,20	7,16	7,13	-54,16
Cultivos Permanentes	-84,29	124,31	-38,18	90,22
Mosaico de Vegetación Natural	52,07	4,12	-15,83	40,54
Paisajes Minerales	0,67	14,25	0,27	-0,65
Pastos	-8,97	-36,21	16,36	103,45
Vegetación Natural	Páramo	-20,64	-1,73	-4,49
	Bosque Nativo	15,76	-32,48	-10,28
Zona urbana o sin determinar	-25,92	58,93	45,24	40,40

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaborado por: Autor.

Tabla 8. Porcentaje de cambio anual de la CARG (1982-2014).

Uso de suelo	%Anual
Cuerpos de agua	24,73
Cultivos de Ciclo Corto	0,38
Cultivos Permanentes	-1,83
Mosaico de Vegetación Natural	2,73
Paisajes Minerales	0,46
Pastos	1,17
Páramo	-0,76
Bosque Nativo	-0,99
Zona urbana o sin determinar	4,38

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaborado por: Autor.

3.1.3 Análisis de cuantificar los efectos del cambio de uso de suelo por franjas altitudinales

Al analizar la influencia de altitud en el cambio de la cobertura y uso de suelo en la CARG de las 4 bandas se obtuvo en la banda 1 elevación menor a 2300 m.s.n.m., el principal cambio fue el de cultivos permanentes perdieron un área aproximada 400 km² los cuales se convirtieron en pastos y mosaico de vegetación natural (Tabla 8), los bosques nativos presentaron pérdidas de 94 km², los cuerpos de agua como es de esperar se mantuvieron constantes con mínimas variaciones, debido a la tendencia mundial la zona urbana cuenta con una ganancia de área de 15 km² desde 1982-2014.

La banda 2 elevación de 2300-2800 m.s.n.m., como es de esperarse se pérdida áreas considerable de bosque nativo perdiendo un total de 101 km² de 1982-2014 (Tabla 9), estas áreas se convirtieron principalmente en cultivos de ciclo corto y en zona urbana, en la zona urbana presento un crecimiento exponencial de 102 km² desde 1982-2014 (Tabla 9), en los periodos T4 se presentó una disminución de cultivos de ciclo corto por el abandono de áreas, convirtiéndose en pastos y mosaico de vegetación natural, provocando un aumento de estos.

La banda 3 elevación 2800-3200 m.s.n.m., presento un comportamiento similar a la banda 2 con una pérdida de bosque natural y páramo con la diferencia de existe un menor pérdida de áreas (69 km² páramo y 38 km²) convirtiéndose principalmente en cultivos de ciclo corto hasta el periodo T3 (527 km³) en el periodo T4 decrece (334 km²) principalmente por el abandono de áreas explicado anteriormente y la zona urbana un crecimiento continuo (53 km²) (Tabla 9), esta banda de elevación presenta menos afectación de la cobertura y uso de suelo en comparación con las bandas 1 y 2.

La banda 4 elevación mayor a 3200 m.s.n.m., es la banda que menos presento afectación con una pérdida de páramo de 288 km² considerando que el área de paramo inicial fue de 1638 km² es el uso predominante de esta banda, el bosque nativo tuvo una ganancia de área (37 km²) desde 1982-2014 (Tabla 9), y el área perdida como es común se convirtió en cultivos de ciclo corto, excepto el T4 donde se abandonó las áreas y se convirtió en pastos y mosaico de vegetación natural, la zona urbana en el 2014 llego a un valor máximo de 3,97 km², lo que nos da como indicador entre más elevación existen menor afectación de áreas.

Tabla 9. Área (km²) de uso de suelo en las 4 bandas de altitud entre 1982-2014.

>2300m	1982	1990	2000	2008	2014
Uso de suelo	Área (km²)				
Cuerpos de agua	0,00	5,30	5,30	5,30	5,16
Ciclo corto	59,48	571,31	631,46	543,19	342,45
Cultivos permanentes	401,01	0,56	11,74	8,42	50,27
Mosaico de Vegetación Natural	185,99	141,06	142,49	129,02	196,57
Paisajes Minerales	0,00	0,05	0,31	0,96	1,06
Pastos	3,95	65,45	7,99	152,94	227,47
Bosque nativo	611,03	516,49	498,50	454,83	462,71
Paramo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zona urbana o sin determinar	0,00	0,96	3,39	6,53	15,49

2300-2800m	Área (km²)				
Uso de suelo	1982	1990	2000	2008	2014
Cuerpos de agua	0,00	0,67	0,66	0,66	0,71
Cultivos de Ciclo Corto	357,11	538,05	580,82	666,02	275,46
Cultivos Permanentes	53,96	19,70	43,53	13,49	56,31
Mosaico de Vegetación Natural	134,47	256,73	276,44	186,51	255,08
Paisajes Minerales	0,00	0,64	1,83	0,93	1,13
Pastos	234,38	261,64	137,03	133,41	320,65
Paramo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Bosque Nativo	551,60	314,28	295,94	270,21	257,02
Zona urbana o sin determinar	92,92	75,42	131,37	195,92	300,88

2800-3200m	Área (km²)				
Uso de suelo	1982	1990	2000	2008	2014
Cuerpos de agua	0,00	2,09	2,09	2,09	2,26
Cultivos de Ciclo Corto	280,14	447,06	462,96	527,45	193,39
Cultivos Permanentes	34,44	34,14	63,56	37,79	60,63
Mosaico de Vegetación Natural	83,45	131,54	144,99	132,63	176,47
Paisajes Minerales		0,78	1,19	0,54	0,51
Pastos	425,07	342,44	252,95	188,52	415,25
Paramo	96,07	20,81	23,11	15,34	27,36
Bosque Nativo	240,45	221,29	207,37	202,28	188,00
Zona urbana o sin determinar	132,30	91,77	132,98	185,27	228,05

<3200m	Área (km²)				
Uso de suelo	1982	1990	2000	2008	2014
Cuerpos de agua	-	20,13	15,70	12,63	12,92
Cultivos de Ciclo Corto	194,30	343,60	370,65	443,22	187,75
Cultivos Permanentes	22,23	24,66	61,43	51,50	44,10
Mosaico de Vegetación Natural	25,21	122,77	117,05	123,28	175,33
Paisajes Minerales	69,87	69,77	77,95	79,11	78,32
Pastos	326,09	231,29	191,60	194,06	398,19
Paramo	1638,91	1421,39	1394,06	1338,24	1350,09
Bosque Nativo	58,36	106,44	100,63	95,85	90,02
Zona urbana o sin determinar	-	0,38	0,80	2,54	3,70

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, SNI.

Elaborado por: Autor.

3.1.4 Resultado del análisis de la frontera agrícola en ecosistemas frágiles (páramo)

Al analizar la evolución del páramo en la CARG se obtuvo que en el periodo T1 (1982-1990) es el que más tuvo perturbaciones, ya que el páramo de 1982 se convirtió en cultivos de ciclo corto, cultivos permanentes, mosaico de vegetación natural, paisajes minerales, pastos y bosque nativo (Tabla 10), siendo los cultivos de ciclo corto el cambio más representativo 99,76 km² seguido de mosaico de vegetación natural 79,11 km² (Tabla 9), los cambios se produjeron principalmente en la parte Sur y Este de la CARG (Figura 11). El periodo T4 (2008-2014) es el que menos perturbaciones presentó con respecto al páramo del 2008, con un área de perturbación de 27,93 km² comparado a los 328 km², los pastos son la mayor conversión de área en el T4 con 16,39 km² y un aumento de páramo de 22 km² con respecto al T3 en la zona sur de la CARG (Figura 11), concluyendo que no se ha respetado la conservación de los páramos a una altura mayor a 3300 m.s.n.m., como lo estipula el artículo 50 de la Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales.

Tabla 10. Área (km²) de uso de suelo páramo en los 4 periodos de estudio en una altitud mayor a 3300m entre 1982-2014.

Evolución del páramo en la CARG 1982-2014				
Periodo	T1 (1982-1990)	T2 (1990-2000)	T3 (2000-2008)	T4 (2008-2014)
Uso de suelo	km²	km²	km²	km²
Cuerpos de agua	7,78	-	0,00	0,19
Cultivos de Ciclo Corto	99,76	33,08	54,92	5,42
Cultivos Permanentes	6,20	14,17	8,81	1,05
Mosaico de Vegetación Natural	79,11	-	-	-
Paisajes Minerales	43,96	11,48	13,68	4,87
Pastos	44,97	12,99	28,38	16,39
Páramo	1300,35	1348,26	1288,25	1310,26
Bosque Nativo	46,22	1,39	-	-
Zona urbana o sin determinar	-	-	0,02	0,05

Datos base obtenidos de: MAGAP, MAATE, IGM.

Elaborado por: Autor.

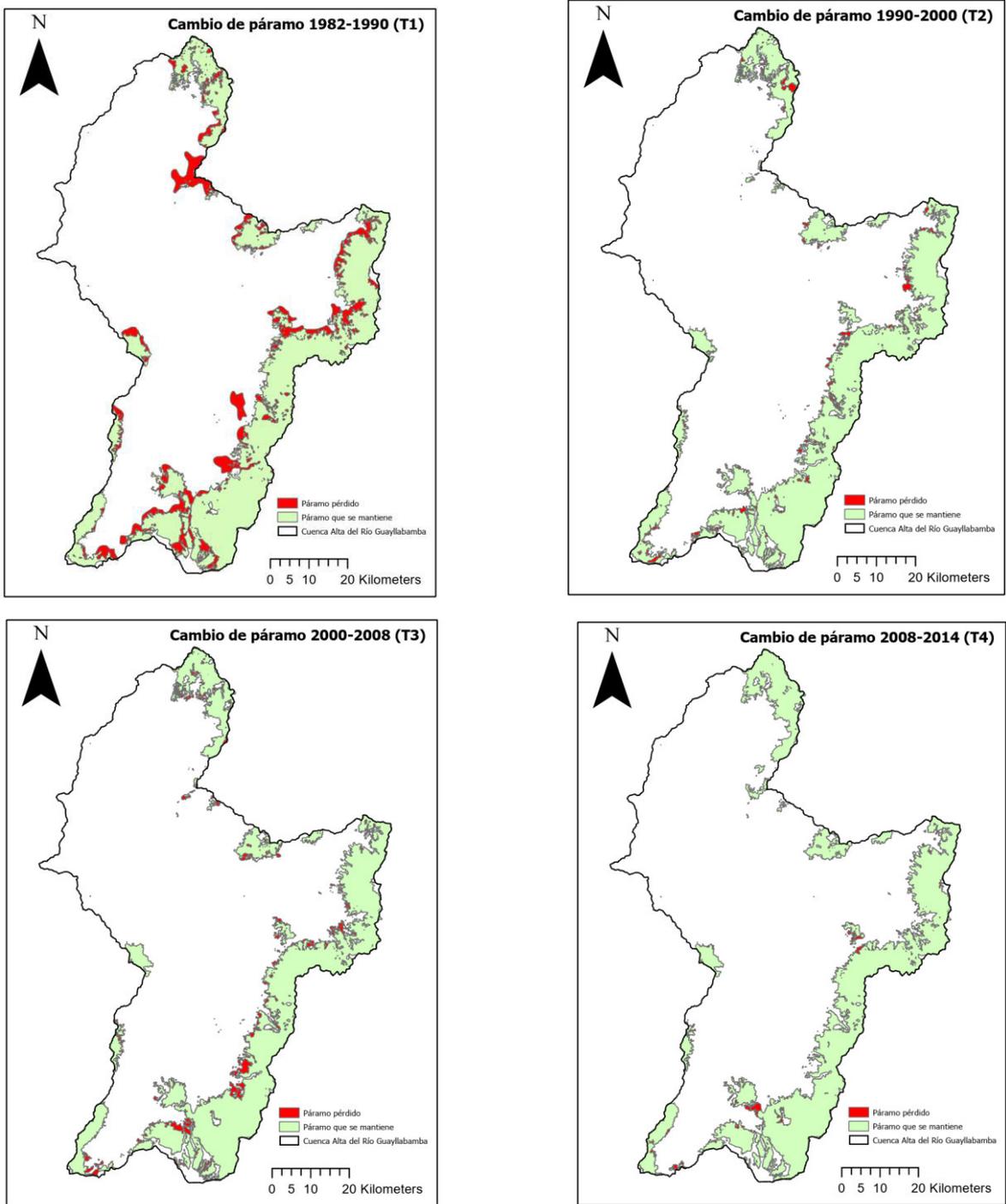


Figura 11. Ganancia y pérdida de áreas (km²) de los usos de suelo de 1982-2014 en la CARG.

Fuente: MAGAP; SNI.

Elaboración: Autor.

3.1.5 Resultados de analizar, discutir y explicar la evolución de la CARG

Las principales influencias que explican las transiciones de la cobertura y uso de suelo en la CARG desde 1982 hasta el 2014 han sido la evolución de sistemas agrícolas, los cambios en la política forestal, la presión demográfica y políticas socioeconómicas y de conservación de recursos naturales. El papel de la política forestal fue un detonante para la plantación de árboles madereros exóticos acompañado al comercio de madera entre los años 1982 y 1992 que está ligado principalmente a la tala comercial lo cual genero una demanda interna en la extracción de madera, por lo tanto generando una degradación de los bosques y paramos de la región [35],[36]. No siendo esta la única causa de la plantación forestal si no que los terratenientes de tierras rurales de grandes extensiones de terrenos convirtieron la vegetación natural en arboles maderables exóticos, los pequeños terratenientes plantaron arboles a lo largo de los setos y caminos de sus propiedades [37].

De este estudio se encontró una pérdida de páramo del 31,94 % (Tabla 7) entre 1982 y 2014 con una pérdida anual del 0,76% (Tabla 8), la mayor parte del área de estudio presento una estabilidad de páramo, también se encontró puntos críticos de conversión de páramo en las zonas sur y sureste presentando transiciones a cultivos de ciclos cortos y pastos en su mayor parte (Figura 9). Los resultados obtenidos tiene contraste con los hallazgos de pérdida del 0,8% anual en un estudio del FONAG realizado a la CARG en el periodo de 1999 al 2007 [38]. Otro hallazgo que se obtuvo fue que en la banda de elevación > 3200 m.s.n.m., presenta menos perturbaciones, comparadas con las de la banda 2800-3200 m.s.n.m., esto haciendo referencia a la cantidad inicial de cada banda analizada. Hallazgos encontrados tiene concordancia con estudios descritos en tierras altas del centro del Ecuador [37].

Se encontró una pérdida de bosques nativos de 46% entre 1982-2014 (Tabla 7), el periodo de estudio con más perdida fue en el T2 (1990-2000) (Tabla 7) con una pérdida del 32%. La tasa de pérdida anual fue de 0,99 % de 1982-2014 (Tabla 8). El estudio es consisten con la tendencia en general de deforestación y pérdida de bosques de montaña en los Andes Tropicales, la principal razón es la expansión de la frontera agrícola y la extracción de madera [39]. La mayor pérdida ocurre en la banda altitudinal de 2300-2800 m.s.n.m., en otros estudios de regiones alejadas el sur y norte del Ecuador las altitudes de mayor pérdida de bosque nativo son de altitud superiores [40].

Se encontró que las zonas urbanas se encuentren en constante crecimiento (Figura 7, Tabla 6), el crecimiento desde 1982 al 2014 fue de 380,33 km² un crecimiento de 3,24 veces, una tasa de ganancia anual de 9,33%, esté patrón tiene concordancia a la tendencia

global de expansión urbana [41], considerando que la tasa de expansión de zonas urbanas es más rápida en ciudades alrededor del mundo y en ciudades cercanas a la CARG [42]. Las principales razones de la expansión del área urbana se explica principalmente por el aumento exponencial de población, la proximidad a los centros urbanos y de bajas altitudes [43], la elevación con mayor afectación fue en 2300-2800 m.s.n.m., con el aumento de zonas urbanas, cultivos cortos y transformaciones de cultivos a mosaico de vegetación natural y pastos (Tabla 9). Este patrón se ha observado en regiones de América del Sur donde las zonas de cultivos son transformados en zonas urbanas [41].

Otros de los factores del cambio de uso de suelo en la CARG es la expansión de cultivos de flores presente principalmente en el Cantón Cayambe y parte del Cantón Quito [43], siendo Cayambe uno de los centros de desarrollo de esta actividad, siendo esta región privilegiada por sus condiciones óptimas de luz solar, clima y altitud ideal para la creación de flores de la más alta calidad a nivel mundial [44], acompañado de la cercanía a aeropuertos internacionales de alta factibilidad el desarrollo de esta actividad en estas zonas.

La tendencia de transición de tierras agrícolas (mosaico de vegetación natural, cultivos de ciclo corto y permanentes) y pastos, este patrón se asocia al cambio de población, el cual está ligado a la migración de población, las cuales se basan en la movilización de los agricultores de las zonas y de alta pendiente a zonas concentradas, lo cual dejó la recuperación de esas tierras convirtiéndose en pastos y recuperando en otra parte la vegetación natural de la zona [45]. Otro factor que atribuye es el aumento de población en la CARG que paso de acuerdo al censo 1990 existían un total de 1.654.939 habitantes mientras que en el 2010 se registraron 2.670.255 habitantes, en el año 2014 existían 2.934.150 habitantes un crecimiento del 77% en 24 años lo presenta un crecimiento en la presión en los recursos para abastecer la población por ende un aumento en los cultivos de ciclo corto y permanentes, acompañado de un aumento del sector ganadero por ende aumento de tierras para el pastoreo (pastos) [45].

3.2 Conclusiones

Respecto al objetivo principal:

- La cobertura y uso de suelo en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba ha sufrido cambios considerables desde 1982. Estos cambios han estado dominados por la conversión de bosque nativo y páramo por tierra agrícola (mosaico de vegetación natural cultivos de ciclo corto y permanentes) con una tasa de pérdida de páramo de 0,8% anual de 1982-2014, menor a la de bosque nativo con una tasa de pérdida anual de 0,99%, lo cual ha provocado una pérdida del 28% en área 465 km² de la vegetación natural presente en 1982 y un 72% en área 1034 km² de vegetación natural permaneció sin cambios de 1982-2014.

Respecto al objetivo específico uno:

- Las coberturas y usos de suelo que presentaron mayor pérdida tanto en porcentaje como en área fueron los cultivos de ciclo corto sufriendo pérdidas y ganancias en porcentaje y área siendo el periodo T1 (1982-1990) el más representativo con una ganancia del 113% en área 1012 km², en el periodo T4 (2008-2014) con una pérdida del 54% en área 1184 km², seguido de cultivos permanentes presentando cambios dinámicos siendo en el periodo T2 (1990-2000) el más representativo una ganancia del 124% en área 99 km², la vegetación natural representado por páramo y bosque nativo experimento cambios siendo en el periodo T1 (1982-1990) el periodo con más pérdida de páramo con 20% en área 375 km², el bosque nativo en el periodo T2 (1990-2000) perdiendo un 32% en área 554 km², la zona urbana se encuentra en constante crecimiento el periodo T2 (1900-2000) fue el periodo con mayor crecimiento con 58% en área 100 km².

Respecto al objetivo específico dos:

- Las transformaciones que sufrió la cobertura y uso de suelo de la Cuenca Alta del Río Guayllabamba se pueden explicar en términos del comportamiento y dinámica de su población, desarrollo económico e infraestructura. Principalmente provocado por las necesidades de la población la cual se encuentra en constante crecimiento, provocando una mayor necesidad de recursos los cuales hacen que se amplie la frontera agrícola y ganadera para satisfacer las necesidades, alterando así las condiciones y provocando las transformaciones de una a otra cobertura.

Respecto al objetivo específico tres:

- La franja altitudinal con mayor afectación en la cobertura y uso de suelo entre 1982-2014 fue entre 2300-2800 m.s.n.m., donde se presentó un incremento constante de cultivos de ciclo corto de un 52% en área 308 km² hasta el periodo T3 (2000-2008) al igual que las zonas urbanas presenta un crecimiento exponencial de 323% en área 208 km², y una pérdida del bosque nativo del 47% en área 294 km², al contrario la franja altitudinal mayor 3300 m.s.n.m., fue la que menos afectaciones presento en el periodo 1982-2014 lo que nos permite concluir que en las zonas altas de montaña existe menos afectaciones que en zonas de menor altitud.

Respecto al objetivo específico cuatro:

- La frontera agrícola en ecosistemas frágiles (páramo) presento un incumplimiento debido perturbación y pérdida del páramo en la Cuenca Alta del Río Guayllabamba a alturas mayores a 3200 m.s.n.m., lo que requiere un mayor conservación y control del páramo debido a su alta importancia a nivel nacional y a los servicios que provee.

3.3 Recomendaciones

- Para próximos estudios de cambio de cobertura y uso de suelo se debe considerar buscar una base de datos más continua, de mejor resolución y escala, para la generación de resultados más cercanos con las condiciones que se encuentra la zona de estudio, una referencia es el estudio de Marco Calderón-Loor “High-resolution wall-to-wall land-cover mapping and land change assessment for Australia from 1985 to 2015”, que utiliza tecnología de punta desde la creación y comprobación de mapas de cobertura y uso de suelo con más de 281,962 imágenes Landsat, asegurando una precisión superior al 93% generando así un análisis con datos de alta calidad y continuos para tener un mejor entendimiento del cambio producido en el uso de suelo.
- Con los porcentajes de pérdida anual se recomienda en próximos trabajos realizar las proyecciones en diferentes escenarios de cómo se encontrará la Cuenca Alta del Río Guayllabamba y generar conciencia y políticas públicas para su conservación debido a que contiene ecosistemas frágiles (páramos) los cuales nos brinda servicios ecosistémicos de importancia nacional.
- La utilización de multidisciplinarios análisis nos permitir determinar más factores involucrados en la conversión y pérdida de cobertura y uso de suelo, en entre estos análisis se recomienda el cambio climático, la influencia de la pendiente, topografía, cambios de política nacional y las principales fuentes económicas de la zona a estudiar.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. Quichimbo, G. Tenorio, P. Borja, I. Cárdenas, P. Crespo, and R. Céleri, "ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS POR EL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO: PÁRAMO DE QUIMSACocha AL SUR DEL ECUADOR EFFECTS ABOUT THE PHYSICAL AND CHEMICAL SOIL PROPERTIES B," *Suelos Ecuatoriales*, vol. 42, no. 2, pp. 138–153, 2015.
- [2] F. Velásquez, J. Calderón, L. Urdánigo, and F. Cárdenas, "Cambio de uso de suelo en el azolvamiento del embalse La Esperanza, Manabí-Ecuador," *Rev. del Inst. Investig. la Fac. Minas, Metal. y ciencias geográficas*, vol. 19, no. 37, Jul. 2016, doi: 10.15381/iigeo.v19i37.12968.
- [3] W. J. Silva Gutiérrez, "UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ," *ANÁLISIS DEL CAMBIO USO SUELO EN LA PARROQUIA SIXTO DURÁN BALLÉN*, 2019.
- [4] J. V. Alvarado Ulloa, "Estudio multitemporal de cambio de uso de suelo en la parroquia Tambillo, Cantón Mejía, Pichincha, Ecuador (período 2001-2010)," Mar. 2019, Accessed: Dec. 19, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/16182>.
- [5] K. Abad-Auquilla, "El cambio de uso del suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador," *Rev. Ciencias Ambient.*, vol. 54, no. 2, pp. 68–91, Jul. 2020, doi: 10.15359/RCA.54-2.4.
- [6] H. Burbano, "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria," *Rev. Ciencias Agrícolas*, vol. 33, no. 2, pp. 117–124, 2016, [Online]. Available: [https://repositorio.lasalle.mx/bitstream/handle/lasalle/1770/Seguridad Alimentaria y Nutricional en tiempos de COVID-19 Perspectivas para El Salvador.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.lasalle.mx/bitstream/handle/lasalle/1770/Seguridad%20Alimentaria%20y%20Nutricional%20en%20tiempos%20de%20COVID-19%20Perspectivas%20para%20El%20Salvador.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [7] S. Silva and F. Correa, "Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica.," *Semest. Económico*, vol. 12, no. 23, pp. 13–34, 2009, [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>.
- [8] L. Montanarella, "528032a," pp. 32–33, 2015.

- [9] D. García-álvarez, M. Teresa, and C. Olmedo, *Land Use Cover Datasets and Validation Tools: Validation Practices with QGIS*. 2022.
- [10] N. Rodríguez-Eraso, J. Daniel, P.-C. Néstor, R. Bernal-Suárez, and J. Martínez-Collantes, "Cambio climático y su relación con el uso del suelo en los Andes colombianos," 2010.
- [11] C. I. Campos Sánchez, "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE CAMBIO DE USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO PROBABILÍSTICO PROSPECTIVO EN LA CUENCA DEL RÍO CAPUCUY," 2018.
- [12] O. Pineda, "Análisis de cambio de uso de suelo mediante percepción remota en el municipio de Valle de Santiago," p. 88, 2011.
- [13] G. Bocco, M. Mendoza, and O. R. Masera, "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación," *Investig. Geogr.*, vol. 44, pp. 18–38, 2001, doi: 10.14350/rig.59133.
- [14] M. Chico Avelino, M. Á. Trinidad Trinidad, and R. Montoya Ayala, "Evaluación del cambio de uso de suelo en el parque nacional 'La Marquesa' (1994-2007), aplicando tecnología SIG," *Ciencias Espac.*, vol. 8, no. 2, pp. 243–258, 2015, doi: 10.5377/ce.v8i2.2080.
- [15] L. E. Henríquez Dole, "Escenarios futuros de uso de suelo para el análisis del efecto del cambio global en los recursos hídricos aplicado al acuífero de la Mancha Oriental," 2012, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/15479>.
- [16] S. P. Pattanayak and S. K. Diwakar, "District-wise change analysis of land use-land cover in Delhi territory using remote sensing & GIS," *J. Urban Environ. Eng.*, vol. 10, no. 2, pp. 201–213, 2016, doi: 10.4090/juee2016.v10n2.201213.
- [17] A. Velázquez *et al.*, "El Inventario Forestal Nacional 2000: potencial de uso y alcances," *Ciencias*, vol. 64, no. January 2001, pp. 13–19, 2001.
- [18] A. Velázquez *et al.*, "Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México," no. January 2016, 2002.
- [19] C. López, "Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental," *Univ. Católica del Norte*, no. July, p. 49, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.20684.44161.
- [20] E. Chuvieco, "Fundamentos de teledetección espacial," (*Fundamentals of remote*

sensing from space. 1990.

- [21] J. R. Schott, *Remote sensing: the image chain approach*, vol. 45, no. 02. 2007.
- [22] F. A. Sarria, "DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA PARA EL PERIODO 1986-2019 , EMPLEANDO TELEDETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES OBTAINING CARTOGRAPHIES OF LAND USE AND LAND COVER OF THE SEGURA RIVER BASIN DISTRICT FOR THE PERIOD 1986-2019 , USING REMOTE," vol. 67, pp. 45–65, 2021.
- [23] E. S. Chuvieco, "Aportaciones de la Teledetección espacial a la cartografía de ocupación del suelo," *An. Geogr. en la Univ. Complut.*, vol. 5, pp. 29–48, 1985.
- [24] J. Domínguez, "Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica ' Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)'." no. October 2000, 2014.
- [25] K. Espinosa, "Sistemas De Información Geográfica," *Sist. Inf. Geográfica*, pp. 789–804, 2019, doi: 10.33262/cde.3.
- [26] X. E. Buenaño Guerra, "Modelamiento del cambio de la cobertura de bosques montanos en la cuenca alta del Rio Guayllabamba para mejorar la gestion ambiental del area," 2007, Accessed: Dec. 14, 2021. [Online]. Available: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/887>.
- [27] D. F. Flórez Delgado and D. K. Fernández García, "Los Sistemas de Información Geográfica. Una Revisión," *Rev. la Fac. Ciencias Agropecu. - FAGROPEC*, vol. 9, no. 1, pp. 11–16, 2017, [Online]. Available: <https://www.uniamazonia.edu.co/revistas/index.php/fagropec/article/view/708/728>.
- [28] F. S. Romero, "La Teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental," *AquaTIC*, pp. 13–41, 2006.
- [29] A. Ramírez Zapata, "Análisis Multitemporal Mediante Sensores Remotos De Cobertura De La Tierra Para El Periodo De Tiempo 1999 - 2011 En El Municipio De San Jacinto, Bolívar," p. 20, 2015, [Online]. Available: [https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/An%Elisis multitemporal San Jacinto 1999-2011.pdf;jsessionid=030AEF54C74F1AAD063386EF31EF9F6E?sequence=3%0Ahttps://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/Análisis multite.](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/An%Elisis%20multitemporal%20San%20Jacinto%201999-2011.pdf;jsessionid=030AEF54C74F1AAD063386EF31EF9F6E?sequence=3%0Ahttps://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6318/Análisis%20multite)
- [30] V. Ruiz, R. Savé, and A. Herrera, "Multitemporal analysis of land use change in the

- Terrestrial Protected Landscape Miraflores Moropotente Nicaragua, 1993-2011,” *Ecosistemas*, vol. 22, no. 3, pp. 117–123, 2013, doi: 10.7818/ECOS.2013.22-3.16.
- [31] H. M. O. Realpe, “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN SATELITAL (TMPA-3B42R) SOBRE LA SIMULACIÓN HIDROLÓGICA A ESCALA DIARIA EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUAYLLABAMBA,” Quito, 2018.
- [32] S. J. Torres Paguay, “Evaluación del servicio ecosistémico correspondiente a la producción de agua en la cuenca alta del Río Guayllabamba utilizando el modelo computacional InVEST,” Aug. 2018, Accessed: Dec. 14, 2021. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19657>.
- [33] C. Tucci, “Plan De Manejo Integrado De Los Recursos Hídricos,” *BID Banco Interam. Desarro. Económico y FONAG Fondo para la Protección del Agua.*, p. <http://www.fonag.org.ec/aguafondo/pmrhg050110.pdf>, 2009.
- [34] J. Serrano Chano, “Regionalización espacial de series climáticas mensuales,” *Esc. POLITÉCNICA Nac.*, 2010.
- [35] R. Sierra, “The role of domestic timber markets in tropical deforestation and forest degradation in Ecuador: Implications for conservation planning and policy,” *Ecol. Econ.*, vol. 36, no. 2, pp. 327–340, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0921-8009(00)00233-0.
- [36] V. Balthazar, V. Vanacker, A. Molina, and E. F. Lambin, “Impacts of forest cover change on ecosystem services in high Andean mountains,” *Ecol. Indic.*, vol. 48, pp. 63–75, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2014.07.043.
- [37] C. Ross, S. Fildes, and A. C. Millington, “Land-use and land-cover change in the páramo of South-Central Ecuador, 1979-2014,” *Land*, vol. 6, no. 3, 2017, doi: 10.3390/land6030046.
- [38] B. De Bievre, X. Coello, and O. De Keizer, “Caracterización de la Oferta Hídrica,” *FONAG*, 2008.
- [39] N. Tejedor-Garavito *et al.*, “Evaluación del estado de conservación de los bosques montanos en los Andes tropicales,” *Ecosistemas*, vol. 21, pp. 148–166, 2012.
- [40] M. Gaglio *et al.*, “Changes in land use and ecosystem services in tropical forest areas: A case study in Andes mountains of Ecuador,” *Int. J. Biodivers. Sci. Ecosyst. Serv. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 264–279, 2017, doi:

10.1080/21513732.2017.1345980.

- [41] K. C. Seto, M. Fragkias, B. Güneralp, and M. K. Reilly, "A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion," *PLoS One*, vol. 6, no. 8, p. e23777, 2011, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0023777.
- [42] O. A. Moisés and D. S. J. Pablo, "Urbanization in ecuador: An overview using the functional urban area definition," *Region*, vol. 5, no. 3, pp. 39–48, 2018, doi: 10.18335/REGION.V5I3.235.
- [43] P. Guarderas Id, F. Smith, and M. Dufrene, "Land use and land cover change in a tropical mountain landscape of northern Ecuador: Altitudinal patterns and driving forces," *PLoS One*, vol. 17, no. 7, p. e0260191, Jul. 2022, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0260191.
- [44] L. Sawers, "Sustainable Floriculture in Ecuador," 2005, [Online]. Available: <http://www.american.edu/cas/econ/workpap.htm>.
- [45] H. R. Grau and M. Aide, "Globalization and land-use transitions in Latin America," *Ecol. Soc.*, vol. 13, no. 2, 2008, doi: 10.5751/ES-02559-130216.

5 ANEXOS