



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Ambiental

Valoración de impactos ambientales a escala espacio-temporal generados por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango, Loja

Trabajo de Integración Curricular previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Yandry Fabricio Vivanco Chamba

DIRECTOR:

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación

Loja, 27 de mayo de 2024

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: “**Valoración de impactos ambientales a escala espacio-temporal generados por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango, Loja**”, de autoría del estudiante **Yandry Fabricio Vivanco Chamba**, con cédula de identidad Nro. **1105540866** previa a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Nacional de Loja, apruebo y autorizo su presentación para los trámites de titulación.

Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Yandry Fabricio Vivanco Chamba**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de integración curricular en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1105540866

Fecha: 27 de mayo de 2024

Correo electrónico: yandry.vivanco@unl.edu.ec

Teléfono: 0991325727

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular

Yo **Yandry Fabricio Vivanco Chamba**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular titulado **Valoración de impactos ambientales a escala espacio-temporal generados por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango, Loja** como requisito para optar el título de **Ingeniero Ambiental**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintisiete días del mes de mayo del dos mil veinte y cuatro.

Firma: 

Autor: Yandry Fabricio Vivanco Chamba

Cédula: 1105540866

Dirección: Ciudadela Esteban Godoy

Correo electrónico: yandry.vivanco@unl.edu.ec

Teléfono: 0991325727

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Santiago Rafael García Matailo Mg. Sc.

Dedicatoria

A Dios, quien me ha permitido llegar hasta este punto gozando de salud. A mis padres, Irma y Eduardo quienes esforzándose más de lo posible han puesto sobre la mesa lo requerido para poder culminar con mis estudios. A mis hermanos, los cuales han estado presentes a lo largo de este trayecto apoyándome anímicamente. Siendo mi familia lo más importante para mí, este trabajo es dedicado a ellos, en agradecimiento por depositar plenamente su confianza sobre mí.

Yandry Fabricio Vivanco Chamba

Agradecimiento

Me permito expresar, un sincero agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja y a todos sus funcionarios, en especial, aquellos que conforman la carrera de Ingeniería Ambiental. De igual manera, agradezco a los docentes que instruyeron mis estudios, quienes gustosos, me brindaron total apoyo para lograr culminar mi carrera universitaria.

Así mismo, expreso mi gratitud a todas las personas que me ayudaron para poder culminar el presente trabajo de investigación y más aún agradezco a mi director de trabajo el ingeniero Santiago García quien tuvo fe en mis habilidades y siempre estuvo a disposición para ayudarme.

Yandry Fabricio Vivanco Chamba

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	ix
Índice de anexos.....	x
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1 Cobertura vegetal y usos del suelo	6
4.2 Impulsores del cambio de uso de suelo	7
4.3 Impacto del cambio de uso de suelo	8
4.3.1 Efectos sobre el componente suelo	9
4.4 Metodologías para la Evaluación de Impactos Ambientales.....	11
4.4.1 Método matricial	11
4.4.2 Método cartográfico	12
4.5 Análisis de los cambios de uso de suelo mediante percepción remota	13
4.6 Estudios de cambios de uso del suelo.....	13
5. Metodología	15
5.1 Área de estudio	15
5.2 Metodología para el primer objetivo: Identificar los impactos ambientales a escala espacio-temporal por el cambio de uso de suelo en el componente suelo, entre los años 1985 – 2023 en el cantón Puyango.....	17

5.2.1	Insumos cartográficos para determinar el cambio de uso del suelo	17
5.2.2	Identificación de impactos ambientales por cambio de uso de suelo.....	20
5.3	Metodología para el segundo objetivo: Evaluar los impactos ambientales en el componente suelo a nivel espacial, generados por el cambio de uso del suelo en el cantón Puyango	21
5.4	Metodología para el tercer objetivo: Establecer medidas de manejo ambiental para los impactos ambientales generados por cambio de uso de suelo, hacia el componente suelo, en el cantón Puyango	23
5.4.1	Programa de manejo ambiental	23
6.	Resultados	24
6.1	Resultados del Primer Objetivo: Identificar los impactos ambientales a escala espacio-temporal por el cambio de uso de suelo en el componente suelo, entre los años 1985 – 2023 en el cantón Puyango.....	24
6.1.1	Impactos generados hacia el componente suelo.....	30
6.2	Resultados del Segundo Objetivo: Evaluar los impactos ambientales en el componente suelo a nivel espacial, generados por el cambio de uso del suelo en el cantón Puyango	31
6.3	Resultados del tercer objetivo: Establecer medidas de manejo ambiental para los impactos ambientales generados por cambio de uso de suelo, hacia el componente suelo, en el cantón Puyango.....	32
6.3.1	Programas de prevención y mitigación	33
6.3.2	Programas de rehabilitación de áreas afectadas	37
7.	Discusión	41
8.	Conclusiones	46
9.	Recomendaciones	47
10.	Bibliografía	48
11.	Anexos	60

Índice de tablas

Tabla 1. Datos característicos de las imágenes satelitales.....	17
Tabla 2. Leyenda temática de cobertura y uso de suelo.....	18
Tabla 3. Nivel de concordancia para la validación según el índice kappa.....	19
Tabla 4. Intensidad categorizada de acuerdo al porcentaje de variación.....	20
Tabla 5. Lista de verificación para la identificación de impactos ambientales.....	21
Tabla 6. Criterios y calificación de los impactos ambientales.....	21
Tabla 7. Clasificación del impacto según su importancia.....	22
Tabla 8. Clasificación de la variación de cobertura y usos del suelo.....	30
Tabla 9. Identificación de impactos hacia el componente suelo.....	30
Tabla 10. Valoración de impactos ambientales.....	31
Tabla 11. Valoración de impactos ambientales por parroquia.....	32
Tabla 12. Programa de prevención y mitigación de impactos hacia el suelo ocasionados por usos agropecuarios.....	33
Tabla 13. Programa de prevención y mitigación de impactos negativos hacia el suelo ocasionados por zonas antrópicas.....	34
Tabla 14. Programa de prevención y mitigación de impactos negativos ocasionados por otras tierras (suelos descubiertos).....	36
Tabla 15. Programa de rehabilitación de áreas afectadas por usos agropecuarios.....	37
Tabla 16. Programa de rehabilitación de áreas afectadas por el uso de otras tierras (suelos descubiertos).....	39

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del cantón Puyango.....	15
Figura 2. Cobertura y usos del suelo del cantón Puyango, año 1985 y 2023.....	24
Figura 3. Variación de superficie desde 1985 al 2023.....	25
Figura 4. Variaciones en la cobertura y usos del suelo a nivel parroquial.....	26
Figura 5. Cambios de cobertura y usos del suelo del cantón Puyango, 1985 – 2023.....	27
Figura 6. Categorización de pendiente por parroquia.....	28
Figura 7. Clases agrológicas por parroquia.....	29

Índice de anexos

Anexo 1. Nivel de precisión de la clasificación de 1985.	60
Anexo 2. Nivel de precisión de la clasificación de 2023.	60
Anexo 3. Puntos de verificación de las clasificaciones de cobertura y uso del suelo.....	60
Anexo 4. Matriz de transición de cambios de uso del suelo.	63
Anexo 5. Proceso de valoración de impactos.	63
Anexo 6. Variación de superficie a nivel parroquial.	65
Anexo 7. Clases agrológicas del cantón Puyango.....	66
Anexo 8. Clases agrológicas a nivel parroquial.	66
Anexo 9. Clasificación de pendientes del cantón Puyango.	67
Anexo 10. Clasificación de pendientes a nivel parroquial.	67
Anexo 11. Cambios de uso del suelo con mayor intensidad.....	68
Anexo 12. Registro fotográfico del levantamiento de información en campo.	69
Anexo 13. Certificado de traducción del Abstract	70

1. Título

Valoración de impactos ambientales a escala espacio-temporal generados por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango, Loja.

2. Resumen

La presente investigación tuvo por objetivo principal analizar los impactos ambientales a nivel espacio-temporal, causados por el cambio de uso del suelo, en una ventana temporal de 38 años (1985 – 2023), en el cantón Puyango. Los cambios de uso del suelo se registraron mediante imágenes satelitales, las cuales se procesaron con ayuda de herramientas SIG, además, los impactos derivados de estas transformaciones se evaluaron a través de la matriz de importancia, a su vez, se propusieron una serie de medidas de manejo para los impactos ambientales encontrados y evaluados.

Se presentaron cambios significativos hacia pastizales, zonas de cultivo, otras tierras y zona antrópica, los cuales incidieron en el desarrollo de impactos negativos hacia el suelo, como la pérdida de cobertura vegetal, degradación del suelo, incremento de los procesos de erosión, modificación de la capacidad de uso del suelo, entre otros, obteniendo una valoración severa y crítica. Conjuntamente, para los impactos severos y críticos, se propusieron planes de prevención y rehabilitación de áreas afectadas con medidas factibles como el cambio de producción convencional por producción sostenible, delimitación de zonas potencialmente urbanizables, revegetalización y recuperación del suelo mediante enmiendas orgánicas y demás.

Palabras clave: Evaluación de Impacto Ambiental, cambio de cobertura y uso del suelo, Análisis espacio-temporal, imágenes satelitales, herramientas SIG.

Abstract

The present study has as the main objective to analyze the environmental impacts at the spatio-temporal level caused by the change in land use in a time window of 38 years (1985–2023), at the Puyango canton. The changes in land use were recorded using satellite images, which were processed using GIS tools. Furthermore, the impacts derived from these transformations were evaluated through the importance matrix. At the same time, there was proposed a series of measures management for the found and evaluated environmental impacts.

There were important changes in grasslands, crop areas, other lands, and anthropic areas which influenced the development of negative impacts on the soil. For instance: the loss of vegetation cover, soil degradation, increase in erosion processes, and modification of the capacity for land use, among others, obtained a critical assessment. Jointly, for the severe and critical impacts prevention and rehabilitation plans for affected areas were proposed with feasible measures such as the change from conventional production to sustainable production, delimitation of potentially developable areas, revegetation and soil recovery employing organic amendments, and others.

Keywords: Environmental Impact Evaluation, Soil Cover and Soil Use Change, Spatio Temporal Analysis, Satellite Images, GIS Tools.

3. Introducción

Los cambios que ocurren en la cobertura vegetal y uso de suelo son los que determinan la permanencia, disminución y extinción de los ecosistemas (Camacho-Sanabria et al., 2015a). Estos procesos de transformación son ampliamente reconocidos en muchos países como uno de los factores fundamentales que contribuyen al deterioro ambiental, razón por la cual se encuentran en el foco de la investigación ambiental (Nájera et al., 2010).

Se ha evidenciado que pocos paisajes en la tierra aún permanecen en su estado natural (Gupta et al., 2017). Muchos países alrededor del planeta están presentando cambios rápidos y con un gran alcance en el uso de la tierra y la cobertura del suelo (Alawamy et al., 2020). Cerca del 50% de la superficie terrestre ha experimentado cambios significativos debido a la intervención humana, con el propósito de satisfacer sus necesidades (Hooke et al., 2012). Los cambios de uso de suelo (CUS), a menudo son provocados por la antropización (Khalil et al., 2012). Actividades como la minería, la deforestación, la agricultura y ganadería (Mengistu y Salami, 2007), causan cambios profundos en las propiedades fisicoquímicas del suelo, causando afectaciones en la producción primaria, la biodiversidad, ciclos biogeoquímicos, el clima y la hidrología de un ecosistema (Mekuria et al., 2023).

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico son los principales factores impulsores a nivel mundial del cambio de uso del suelo (FAO, 2015). La demanda alimentaria, provoca que las actividades antrópicas (actividades agropecuarias y extractivistas) aumente significativamente. La actividad agrícola y ganadera afecta de manera indirecta las características del suelo al incrementar la erosión y reducir la materia orgánica, generando cambios en la compactación y ocasionando fenómenos como sellado, contaminación, salinización y desertificación (Santorufu et al., 2021). Además, en la labranza intensiva, el uso de combustibles fósiles, el drenaje de humedales, las prácticas agrícolas intensivas, la fertilización el uso de pesticidas y sobrepastoreo son factores que contribuyen a la degradación global del suelo (Yang et al., 2020). De igual manera, los suelos deforestados para expandir el sector agropecuario, contienen una menor cantidad de microorganismos, lo que afecta directamente a los procesos químicos y biológicos que se desarrollan en el suelo (Tscharrntke et al., 2012).

En la provincia de Loja, se ha registrado un déficit de humedad ya que cuenta con periodos largos de sequía por lo que es considerada una zona prioritaria que presenta problemas de

desertificación, manifestándose principalmente en las zonas de bosque seco, distribuidas en los cantones de: Zapotillo, Macará, Paltas, Sozoranga y Catamayo. Además, a lo largo de la provincia se presentan conflictos por el uso del suelo, debido a que, únicamente el 37% de la tierra se utiliza de manera adecuada. Sin embargo, el 59% (653,642.75 ha) muestra un uso deficiente, ya sea porque se utiliza a una intensidad menor de lo que naturalmente podría soportar (subutilizado) o porque se explota excesivamente más allá de su capacidad natural (sobreutilizado) (GAD Provincial de Loja, 2019).

Dentro del cantón Puyango, el cambio de uso del suelo es un problema agravante que no se considera adecuadamente, es por eso que, durante los últimos años se registra cambios de uso de suelo perjudiciales para el ambiente, cambios principalmente de bosques a tierras agropecuarias en un área de 1 576,01 ha, con un promedio anual de 394 ha. Además, entre los años 2014 y 2018 se constató la aparición de 8 concesiones mineras y se evidenció una expansión del 0,03% de áreas destinadas a minería artesanal (GAD Municipal de Puyango, 2019).

Los cambios de uso de suelo plantean impactos multiestacionales a medida que transcurre el tiempo. Estos eventos influyen negativamente en la dinámica espacial y temporal de los componentes ambientales (Debie et al., 2022), especialmente sobre el componente suelo, lo que conllevaría a diversos impactos subyacentes. Estos impactos pueden ser medidos con información generada a través del tiempo y con la ayuda de un inventario ambiental (Pérez, 2017), lo cual conduce hacia una Evaluación de Impacto Ambiental, la cual dará una idea de la magnitud e importancia de los impactos y esto ayudaría a identificar, predecir, interpretar, prevenir, y valorar los efectos que los cambios de uso de suelo acarrearán sobre su entorno (Coria, 2008).

En la actualidad, las investigaciones de cambios en el uso y cobertura del suelo son de suma importancia en el análisis para la planificación sostenible de usos del suelo, ya que a través de la disponibilidad de datos se observan las tendencias del paisaje a lo largo del tiempo, relacionando la oferta de recursos con las demandas generadas por actividades humanas. Por consiguiente, comprender las tendencias y proyecciones del CUS resulta esencial para brindar información crucial en la toma de decisiones para la gestión sostenible de los ecosistemas y el desarrollo ambiental en el futuro (Teck et al., 2023).

La percepción remota junto con herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), debido a sus capacidades de cobertura multitemporal, multiespectral, repetitiva y sinóptica, se pueden utilizar para documentar los cambios de uso de suelo y los impactos asociados (Vadrevu & Ohara, 2020) y es una alternativa muy factible para remplazar a los métodos convencionales de Evaluación de Impactos que se realizan en la planificación territorial.

Acorde al contexto anterior, mediante la presente investigación se buscó dar cumplimiento al siguiente objetivo general:

- Analizar los impactos ambientales, a nivel espacio temporal, generados por los cambios de uso de suelo, en el componente suelo entre los años 1985 – 2023, en el cantón Puyango.

Además, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los impactos ambientales a escala espacio-temporal por el cambio de uso de suelo en el componente suelo, entre los años 1985 – 2023 en el cantón Puyango,
- Evaluar los impactos ambientales en el componente suelo a nivel espacial, generados por el cambio de uso del suelo en el cantón Puyango y
- Establecer medidas de manejo ambiental para los impactos ambientales generados por cambio de uso de suelo, hacia el componente suelo, en el cantón Puyango.

4. Marco teórico

4.1 Cobertura vegetal y usos del suelo

La cobertura terrestre se refiere a la capa física que se encuentra en la superficie de la tierra, compuesta por elementos naturales y creados por el ser humano (Ministerio del Ambiente, 2013). La cobertura del suelo hace referencia al estado físico y biológico de la capa superficial de la tierra y las capas subyacentes cercanas, abarcando tanto los elementos naturales como aquellos generados por la actividad humana. Esto incluye la vegetación, el agua y los materiales terrestres. Inicialmente, la cobertura del suelo se refería principalmente a la vegetación presente en la superficie, pero con el tiempo se ha ampliado para incluir otros elementos del entorno físico, como las estructuras humanas, la biodiversidad y las aguas subterráneas (Briassoulis, 2020).

El uso del suelo es el tipo de actividades que realizan personas sobre la superficie terrestre (suelo), como la agricultura, la forestación, la ganadería, la minería y la urbanización. Es el uso de los componentes de la superficie terrestre, por parte de las personas. Este uso comprende aspectos de gestión y modificación del ambiente en particular, los componentes del suelo, para convertirlo en un entorno construido (sociocultural). Ejemplos de ellos son los campos con cultivos agrícolas, pastizales para el ganado y el establecimiento de infraestructura para los asentamientos humanos (Pérez, 2021).

Actualmente en Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (2022), de la superficie total del país 5.2 millones de hectáreas se encuentran bajo labor agropecuario (permanentes, transitorios, pastos cultivados y naturales) y 7 millones sin uso agropecuario (montes, bosques, páramos, descanso y otros usos no agropecuarios). El cantón Puyango cuenta con una extensión de 63689.89 ha, su cobertura vegetal se encuentra dividida por los diferentes usos que se le da al suelo, como pastizales los cuales representan el 45.99 % del área total, luego se ubica el bosque húmedo y bosque seco que abarcan el 21.5 % y 17.69 % respectivamente, también se encuentran los cultivos de temporada con una extensión relevante de 7103.77 ha (11.15 %), además se identifican, en menor proporción, cultivos bajo riego 1.53 %, vegetación arbustiva 1.58 %, urbano/infraestructura 0.26 % y plantaciones forestales 0.19 %.

4.2 Impulsores del cambio de uso de suelo

Es evidente que en los procesos de cambio y uso de suelo intervienen diversos factores que se denominan fuerzas impulsoras. Estas fuerzas impulsoras hacen referencia al origen del cambio de uso de suelo, entre ellas destacan los impulsores biofísicos y los impulsores socioeconómicos (Malek et al., 2019).

Los factores biofísicos que impulsan el cambio de uso de suelo abarcan una amplia gama de características y procesos del entorno natural (Pérez, 2021a). Estos incluyen el clima y sus variaciones, fenómenos hidrometeorológicos, la topografía y las condiciones del relieve, procesos geomorfológicos, erupciones volcánicas, sucesión de plantas, tipos y procesos de suelo, drenaje y disponibilidad de recursos naturales, entre otros. Por otro lado, los impulsores socioeconómicos se refieren a factores y procesos demográficos, sociales, económicos, políticos e institucionales. Estos abarcan aspectos como la población y su cambio, la estructura y evolución industrial, la infraestructura urbana, la tecnología y su evolución, la familia, el

mercado, los organismos del sector público, y las políticas, normas y reglamentos, así como los valores, la organización comunitaria y el régimen de propiedad. (Briassoulis, 2020).

4.3 Impacto del cambio de uso de suelo

Investigaciones realizadas durante varias décadas ha revelado los impactos ambientales del uso de la tierra en todo el mundo. Estos impactos incluyen cambios en la composición atmosférica, alteraciones extensivas de los ecosistemas y contribuciones significativas al cambio climático global. Además, el cambio del uso de la tierra ha afectado el ciclo hidrológico, la calidad del agua y los ecosistemas costeros y de agua dulce. También ha provocado la pérdida de biodiversidad debido a la degradación y fragmentación de hábitats, la degradación del suelo y la sobreexplotación de especies nativas (Liu et al., 2022; Briassoulis, 2020).

Aproximadamente el 40% de la superficie terrestre se encuentra actualmente bajo uso agrícola, ya sea como tierra de cultivo o pasto (FAO, 2015). Si bien los beneficios de la agricultura para la sociedad han sido inmensos, el aumento de la producción agrícola también ha sido una fuente de degradación ambiental, incluida la pérdida de biodiversidad y hábitats de vida silvestre, la escorrentía de nutrientes, y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Popp et al., 2017).

Además, durante las últimas décadas, aunque la rápida urbanización ha contribuido considerablemente a la civilización social humana y al crecimiento económico, ha afectado profundamente los sistemas ecológicos de la Tierra (Zhou et al., 2023). El crecimiento poblacional desmedido, es la característica fundamental de la urbanización, que ha resultado en la transformación de una cantidad significativa de área de vegetación en superficies impermeables. Este proceso puede conducir posteriormente a problemas como la pérdida de tierras de cultivo, la reducción de la capacidad de almacenamiento de carbono y el cambio climático, que aumenta aún más el riesgo de estrés en el ecosistema y degradación ambiental (Liu et al., 2022).

En Ecuador el cambio del uso del suelo hacia el manejo agropecuario ha sido dramático en las últimas tres décadas. Se ha puesto a conocimiento que la superficie del territorio ecuatoriano dedicada a manejo agrícola en el año 1954 era de 1.77 millones de hectáreas, área que en el 2013 presentó un incremento a 2.47 millones y que en el 2022 alcanzó la cifra de 5.2 millones de ha (INEC, 2022). De esta superficie, acorde al INEC (2020), el área de mayor ocupación corresponde a pastos cultivados con el 44.6 %, seguido de los cultivos permanentes con el 26.6 %, cultivos transitorios con el 15.27 % y los pastos naturales con el 13.19 %. Estos datos

demuestran la clara tendencia a la ampliación de la frontera agrícola en Ecuador, que ha agotado la posibilidad de acceder a buena tierra, abriendo el camino para que se utilicen tierras marginales y páramos con el consiguiente riesgo ambiental (Espinosa, 2022).

Dentro del cantón Puyango, en los últimos años se ha evidenciado el cambio de uso de suelo hacia usos agrícolas y pecuarios, motivo por el cual la actividad de deforestación en los últimos años es notoria. El periodo comprendido entre 2014 y 2016, muestra como el cambio del uso del suelo de bosques a tierras agropecuarias fue de 1.006,48 ha., con un promedio anual de 503,24 ha. Así mismo, durante los años 2016 y 2018, el cambio ocurrido de bosque a tierras agropecuarias se registró en 569,53 ha., y de bosque a vegetación arbustiva en 11,63 ha. El cambio de uso hacia tierras agropecuarias, en su mayoría, radica en cultivar mayores cantidades de maíz duro, contrario a vegetación arbustiva con programas de repoblación forestal (GAD Municipal de Puyango, 2019).

4.3.1 Efectos sobre el componente suelo

La variabilidad espacial en las características del suelo está estrechamente relacionada con las alteraciones en el uso de la tierra y las prácticas de gestión asociadas. Las propiedades del suelo desempeñan un papel fundamental en el mantenimiento de la calidad del suelo, la salud ambiental y la producción de cultivos en general (Feng et al., 2010). Las características físicas y químicas del suelo han experimentado cambios notables debido a las transformaciones en el uso de la tierra. La conversión de áreas boscosas en tierras de cultivo, por ejemplo, tiene un impacto en la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica en el suelo, lo que puede resultar en desafíos como la acumulación de residuos, un aumento en las tasas de erosión, la degradación del valor del suelo, la pérdida de biodiversidad y un aceleramiento de la degradación del suelo (Buraka et al., 2023).

➤ Cambios de uso del suelo y su incidencia en los procesos de erosión

Las actividades humanas que perturban los recursos terrestres, al cambiar los tipos de uso de la tierra, sus estructuras y patrones, son los principales impulsores de las alteraciones en la erosión del suelo. La modificación en el uso de la tierra conlleva una serie de cambios en fenómenos naturales y procesos ecológicos, como la transformación de la vegetación superficial original y su cobertura, la microtopografía, las características físicas y químicas del suelo, así como las tasas de escorrentía (Borrelli et al., 2017). Estos factores impactan en la dinámica de la erosión del suelo y en el sistema de resistencia a la erosión, generando finalmente modificaciones en la

forma y la intensidad de la erosión del suelo, con consecuencias significativas a diversas escalas.

La erosión del suelo causa daños a los ecosistemas y al entorno regional, lo que afecta y limita directamente el desarrollo, la utilización y la protección de los recursos hídricos y terrestres en la región, especialmente en áreas extensas de montañas, lo que resulta en la degradación de la productividad del suelo (Qiao et al., 2023).

Investigaciones considerables han evidenciado que la erosión del suelo y el depósito de sedimentos impactan en la degradación del suelo, la productividad de los cultivos y el aumento de la acumulación de nutrientes en cuerpos de agua, lo que conduce a la eutrofización (Woldemariam & Harka, 2020). Los cambios frecuentes en la utilización y cobertura del suelo y la explotación no sostenible de los recursos naturales empeoran la erosión y sedimentación del suelo. De hecho, entre 2001 y 2012, se estima que el cambio en el uso del suelo contribuyó aproximadamente al 2,5 % de la pérdida promedio global de suelo (Teshome et al., 2022).

➤ **Cambio de uso de suelo e impacto en la dinámica del carbono orgánico**

El suelo tiene la capacidad de almacenar hasta 2500 gigatoneladas de carbono. La transformación de sistemas naturales en sistemas de gestión acelera el proceso de degradación del suelo. Los ecosistemas terrestres desempeñan un papel crucial como sumideros de emisiones causadas por actividades humanas (Nath et al., 2023). La dinámica del carbono en el suelo varía en función del uso que se le dé, ya que esto incide en la estructura y la estabilidad del suelo, así como en la capacidad de retener carbono. En situaciones en las que la cantidad de materia orgánica que ingresa al suelo se mantiene constante, el suelo tiende a tener una estructura más sólida y mayores concentraciones de carbono (Barrales-Brito et al., 2020).

Un estudio llevado a cabo por Ćirić et al. (2013) evidencia que los sistemas de bosques y pastizales presentan una mayor estabilidad en la formación de agregados en comparación con las tierras de cultivo. Del mismo modo, Yamashita et al. (2006) observaron que, en suelos agrícolas, la agregación del suelo es menor, y la capacidad de retención de carbono disminuye en un 50 % en comparación con los suelos de bosques y pastizales.

➤ **Cambio de uso de suelo y su impacto en la biodiversidad**

La tasa de deforestación ha experimentado un rápido aumento a nivel global, y la desaparición de los bosques tropicales constituyó más del 90 % de la deforestación mundial entre 2000 y

2018 (FAO, 2020). En Ecuador, los datos disponibles de deforestación en el último periodo evaluado (2008 – 2014), muestran una disminución de 47 497 ha/año de cobertura boscosa (Sánchez, 2015). Y por tal razón, muchas especies que dependen de los bosques se están viendo afectadas por la pérdida y deterioro de estos ecosistemas, aunque otras con adaptaciones particulares en su historia evolutiva posiblemente logren sobrevivir e incluso prosperar en entornos alterados por la actividad humana (Faria et al., 2023).

Faria y colaboradores (2023), expresan que después de la pérdida de especies, es probable que se produzcan cambios en las relaciones ecológicas que provoquen impactos secundarios significativos. Específicamente, la desaparición de ciertas especies podría llevar a la pérdida de sus depredadores, animales que dispersan semillas o polinizadores, generando así desequilibrios graves en los ecosistemas, lo que se conoce como colapso ecológico.

4.4 Metodologías para la Evaluación de Impactos Ambientales

Se han creado diversas metodologías para valorar la importancia de los impactos ambientales. La literatura menciona enfoques como listas, redes de interacciones, matrices de interacciones, sistemas cartográficos, indicadores, análisis multicriterio, simulación y predicción, así como también el uso de software y enfoques Ad-Hoc (Villegas et al., 2018).

Ante la diversidad de metodologías disponibles para la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), algunos expertos argumentan que no es suficiente confiar en un solo método, por lo que podría ser más efectivo combinar varios de ellos, como el “método cartográfico” con un “método matricial”. Además, se destaca que la selección del método a emplear dependerá de la cantidad de información disponible y de los recursos asignados para llevar a cabo los estudios (Villegas et al., 2018).

4.4.1 Método matricial

Las matrices son los métodos más utilizados en EIA. Las matrices muestran en formato bidimensional la relación entre las acciones del proyecto y los factores ambientales. Las primeras matrices fueron utilizadas por Leopold, quien creó matrices complejas con 88 parámetros ambientales en un eje y 100 características de desarrollo en el otro (Pérez, 2017). La magnitud y la importancia del impacto se evalúan en una escala de 10 puntos y el puntaje se incluye en cada celda que indica dónde se anticipa un impacto probable. Recientemente, hay un número de modificaciones de las matrices de Leopold. Las matrices se han modificado para mostrar no solo relaciones directas entre las acciones de desarrollo y el medio ambiente, sino

también para dar indicaciones de la magnitud del impacto a través de sistemas de ponderación de impacto (Komínková, 2016).

Sin embargo, existen problemas importantes con dichas matrices ponderadas, entre los que destaca el problema de la subjetividad al asignar valores numéricos a diferentes tipos de impacto. Además, las matrices convencionales solo se ocupan de los impactos directos y, por lo tanto, no son apropiadas para la evaluación de los impactos indirectos y acumulativos, así como de las interacciones de impacto (Komínková, 2016).

Si bien, el método de Leopold es el más utilizado, no siempre es el más recomendable por ello surgen otros métodos que se derivan de este que se acoplan mejor a la situación. Un claro ejemplo de ello es el método de Conesa (matriz de importancia), el cual se enfoca en evaluar la importancia medioambiental de los impactos en cada proceso, utilizando once criterios de evaluación vinculados a los tipos de impacto. Estos criterios incluyen aspectos como persistencia, reversibilidad, intensidad, extensión, momento, periodicidad, sinergia, acumulación y recuperabilidad (Conesa, 2010). Este enfoque presenta la ventaja de analizar la relación entre un proyecto específico y su entorno, así como de identificar los aspectos más susceptibles a recibir impactos. No obstante, este método puede mostrar cierto grado de parcialidad en la información (Montoya et al., 2004).

4.4.2 Método cartográfico

En la actualidad, existen varias fuentes institucionales, centros de investigación y recursos en línea que proporcionan los elementos cartográficos necesarios para crear mapas de uso de suelo y vegetación. Estos mapas se utilizan posteriormente en un Sistema de Información Geográfica para su aplicación y gestión. Estas herramientas son muy útiles para identificar y representar visualmente las áreas que son más susceptibles a cambios, lo que permite comprender los procesos de transformación y la dinámica que experimentan las distintas coberturas y usos de la tierra en un territorio específico (Xiang y Clarke, 2003). Al utilizar los mapas de uso de suelo y vegetación, es posible reconocer, visualizar, describir, medir, localizar, examinar, evaluar, explicar y simular los procesos de transformación y el flujo que se produce en las diferentes áreas de vegetación y usos de la tierra en un lugar geográfico determinado y en un momento específico. (Camacho-Sanabria et al. 2015b).

4.5 Análisis de los cambios de uso de suelo mediante percepción remota

La teledetección es la técnica que posibilita obtener datos sobre un objeto, región o fenómeno mediante el análisis de información recopilada por un instrumento (sensor) que no está en contacto directo con la entidad o área investigada. Para que esto ocurra, se requiere que, a pesar de la falta de contacto físico, exista algún tipo de interacción entre los objetos estudiados (ubicados en la superficie terrestre, marina o atmosférica) y un sensor ubicado en una plataforma (satélite, avión, etc.). En el caso de la teledetección, la interacción que se establece consiste en un flujo de radiación que emana de los objetos y es captado por el sensor (Chuvieco, 2010).

Los datos recolectados a través de la teledetección mediante satélites proveen información sobre la cobertura del suelo tanto en términos espaciales como temporales (Bhattacharjee et al., 2021). Al utilizar técnicas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se puede precisamente calcular, cartografiar y identificar cambios en la cobertura y uso del suelo a lo largo del tiempo y en diferentes espacios, inclusive si los datos espaciales provienen de diversas escalas o resoluciones (Chowdhury & Hafsa, 2022). El empleo de metodologías para la detección de cambios basadas en SIG con datos de teledetección a lo largo de diferentes periodos temporales permite una precisa evaluación de las alteraciones en la cobertura del suelo durante dos o más décadas (Zewdie y Csaplovics, 2015).

En la actualidad, los expertos dedicados al estudio de las transformaciones que ocurren en los variados entornos naturales y humanos (culturales) de la superficie terrestre, frecuentemente emplean mapas de uso del suelo y vegetación derivados de la interpretación visual de imágenes satelitales, principalmente de los satélites LANDSAT las cuales poseen el registro más largo y continuo, además de presentar imágenes con una resolución espacial de mediana o alta calidad. Estos recursos cartográficos sirven como base para identificar, describir, cuantificar, ubicar, analizar, evaluar, explicar y modelar los cambios y procesos dinámicos que se suceden en las diferentes comunidades vegetales y tipos de uso del suelo en un área geográfica específica (Camacho-Sanabria et al., 2015a).

4.6 Estudios de cambios de uso del suelo

Para conocer las afecciones provocadas por el cambio de uso de suelo, es necesario recopilar la información del área de estudio, es decir, realizar un inventario ambiental (Pérez, 2017), luego de esto identificar en campo cuales son los impactos negativos o positivos, generados por las

actividades evaluadas, para luego tabular la información recolectada y generar medidas correctivas para remediar o mitigar los posibles efectos negativos. Lo anterior se resume en una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), esta evaluación debe dar una idea de la magnitud del impacto que permitan identificar, predecir, interpretar, prevenir, valorar y comunicar el impacto que el proyecto acarreará sobre su entorno (Coria, 2008).

Los Estudios de los cambios en el uso del suelo y la vegetación proporciona información fundamental para comprender la evolución de diversos fenómenos relacionados con la deforestación, degradación de bosques, perturbación del ecosistema, erosión y desertificación del suelo, así como la pérdida de biodiversidad (Lambin et al., 2001). Estos procesos de transformación o modificación de la cobertura vegetal y los patrones de uso del suelo en un área específica, ya sea un territorio, región o comunidad, son ampliamente reconocidos en muchos países como una de las principales causas que contribuyen al deterioro ambiental. Por esta razón, constituyen el núcleo de la investigación en el ámbito ambiental (Camacho-Sanabria et al., 2015a).

A escala mundial, se han realizado diversos estudios, en los cuales se pretende determinar las tasas de cambio, los impulsores que los ocasionan y los impactos generan el cambio de uso de suelo. Camacho et al. (2015a) realizó un estudio titulado “Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la zona de transición Mexicana de Montaña”, cuyo objetivo fue analizar los cambios de cobertura y uso del suelo ocurridos entre 1989 y 2009 en la porción sur-poniente del Estado de México, a través de mapas de uso de suelo y vegetación, producto de la interpretación de imágenes de satélite (Landsat TM) y la aplicación del algoritmo máxima verosimilitud.

De igual manera, Chai y Li (2023) nos presentan una investigación que se titula “An ensemble method for monitoring land cover changes in urban areas using dense Landsat time series data”, en la cual se pretende monitorear los cambios en la cobertura del suelo en áreas urbanas utilizando datos de series temporales de Landsat, combinando los métodos CCDC (detección y clasificación de cambios continuos) de dos direcciones con la prueba estadística Chow, para resolver el problema de escasez de datos de las series temporales de Landsat.

En Ecuador, existe una limitada cantidad de estudios acerca del impacto ambiental generado por el cambio de uso de suelo. Por otra parte, dentro del área de estudio, no existen tales

estudios, aunque exista un análisis del cambio de uso de suelo por parte del GAD Municipal, no existe un estudio que presente el impacto ambiental que estos cambios generan.

5. Metodología

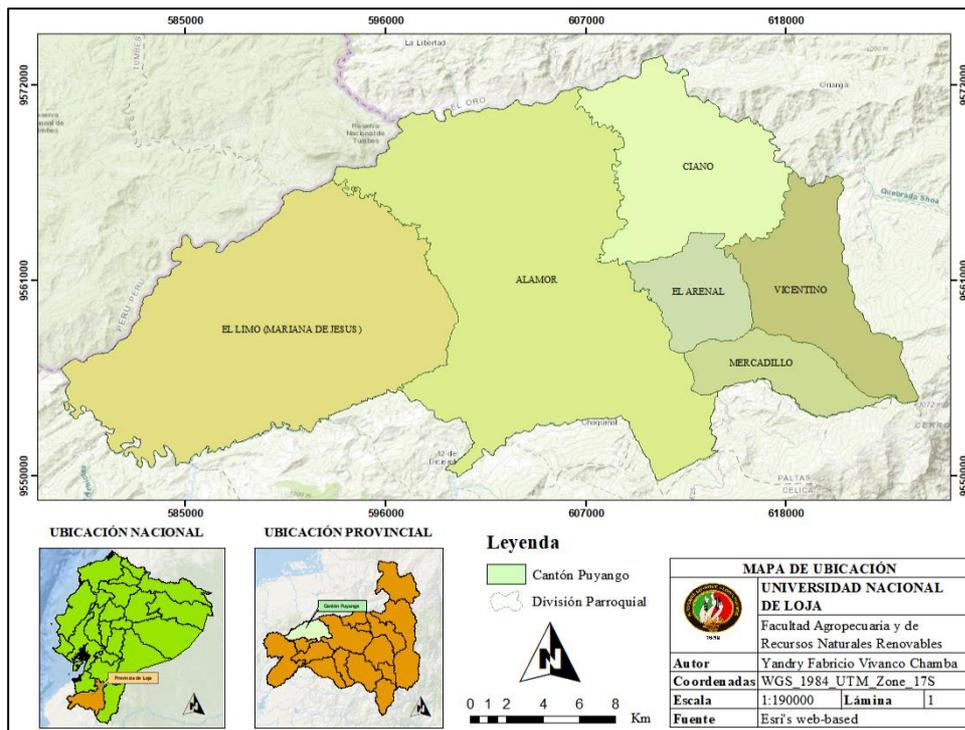
5.1 Área de estudio

El cantón Puyango, situado en la parte occidental de la provincia de Loja en Ecuador, abarca una extensión territorial de aproximadamente 63 000 hectáreas. Limita al norte con el cantón Las Lajas, ubicado en la provincia de El Oro. Al sur, limita con los cantones Pindal y Celica. Hacia el este, limita con el cantón Paltas, mientras que al oeste se encuentra con el cantón Zapotillo y el país vecino, Perú. El cantón cuenta con seis parroquias: una urbana: Alamor; y, cinco rurales: Ciano, El Limo, El Arenal, Mercadillo y Vicentino (IEE y MAG, 2013; GAD Municipal de Puyango, 2019).

El cantón presenta variaciones altitudinales significativas. La altitud mínima, situada en la unión de la quebrada Mangahurquillo con el río Puyango en la parroquia El Limo, es de 200 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, la altitud máxima alcanza los 2.540 metros sobre el nivel del mar, localizada en la parroquia Mercadillo. En cuanto al clima, el cantón cuenta con dos tipos bien definidos. En la parte baja, se encuentra un clima denominado tropical mega térmico seco, mientras que en las zonas más altas del cantón prevalece un clima denominado ecuatorial meso térmico semi húmedo (GAD Municipal de Puyango, 2019)

Figura 1.

Mapa de ubicación del cantón Puyango



Dentro de la clasificación del suelo del cantón, el mayor porcentaje de área, corresponde a la clase VII y VIII, las cuales son áreas destinadas para la protección y conservación y cuentan con un porcentaje de pendiente superior al 60%. Cuenta con dos zonas claramente delimitadas para su protección y preservación: una de ellas es el Bosque Petrificado de Puyango, que destaca por sus características únicas. Este yacimiento fosilífero está situado en la cuenca media del Río Puyango, abarcando las provincias de El Oro y Loja. Además, hay otra área de gran valor ecológico que es de carácter privado y ocupa una extensión de 2 111,07 hectáreas. Esta zona se encuentra en la parte alta de la parroquia El Limo, siendo una fuente crucial de abastecimiento de agua durante los meses de verano (IEE y MAG, 2013b; GAD Municipal de Puyango, 2019).

Actualmente, según registros del GAD Municipal de Puyango (2019), el cantón cuenta con una población de 15 513 habitantes. El progreso económico del cantón Puyango se fundamenta primordialmente en la ganadería, agricultura y comercio, ya que tanto la población urbana como rural encuentran en estas actividades su principal fuente de ingresos. La vocación agrícola y ganadera de Puyango se respalda en las unidades de producción, las condiciones climáticas de la zona y la calidad de los suelos, que mayormente pertenecen a las clases agrológicas II y III, es decir, tierras adecuadas para cultivos limpios, semipermanentes y pastos.

5.2 Metodología para el primer objetivo: Identificar los impactos ambientales a escala espacio-temporal por el cambio de uso de suelo en el componente suelo, entre los años 1985 – 2023 en el cantón Puyango

5.2.1 Insumos cartográficos para determinar el cambio de uso del suelo

Para identificar los impactos ambientales a nivel espacio-temporal, se necesitó información cartográfica a nivel espacial de los periodos de tiempo establecidos (1985 y 2023). La información se generó mediante imágenes satelitales permitiendo identificar los usos de suelo, como también la extensión para cada una de las actividades realizadas en la superficie. De esta manera, se cuantificó el impacto generado por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango en una ventana temporal de 38 años.

Para la generación de mapas de cobertura, de los diferentes años de estudio, que permitieron identificar el impacto ambiental a escala espacio-temporal, se optó por la metodología establecida por el Ministerio del Ambiente (MAE) en conjunto con el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP) (MAE-MAGAP, 2015).

➤ Obtención de imágenes satelitales

Como punto de partida, se seleccionaron las imágenes satelitales de los satélites Landsat, desde el portal del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés: United States Geological Survey). Para la obtención de las imágenes satelitales, es esencial considerar un umbral de nubosidad mínimo. De acuerdo a Lozano (2021) se recomienda un porcentaje de nubosidad inferior al 10%, junto con la condición de que las imágenes sean capturadas durante la misma época del año y estén exentas de errores o distorsiones. La Tabla 1 detalla las características específicas que se extrajeron de las imágenes satelitales.

Tabla 1.

Datos característicos de las imágenes satelitales.

Path/Row	Satélite	Sensor	Fecha de captura	Resolución (m)
11/63	LANDSAT	TM 5	03/09/1985	30
10/63	LANDSAT	TM 5	28/09/1985	30
11/63	LANDSAT	OLI/TIRS 8	28/09/2023	30
10/63	LANDSAT	OLI/TIRS 9	29/09/2023	30

Nota. Las imágenes satelitales del 2023 obtuvieron una resolución de 15 x 15 mediante pansharping.

➤ Procesamiento de imágenes satelitales

Se realizó un pretratamiento de las imágenes descargadas, para eliminar distorsiones y corregir geométricamente (georreferenciar). Esto a través de los softwares ArcGIS 10.5 (para corrección geométrica) y QGIS (para corrección radiométrica y atmosférica) (Congedo, 2021).

Luego de obtener las imágenes corregidas, se procedió a recortar cada una de las imágenes sobre el área de interés, para luego crear un archivo ráster combinando las bandas. Esto permitió interpretar cada una de las coberturas y los usos del suelo de mejor manera, ya que existen diversas combinaciones de bandas (RGB, NIR-R-G, SWIR 1-NIR-R, entre otras), que permiten diferenciar el suelo del agua y resaltar zonas de bosque, zonas urbanas y zonas agrícolas, además, se puede identificar el estado de la vegetación.

➤ **Clasificación de imágenes**

Para la elaboración de mapas de cobertura y usos del suelo, se optó por un método de clasificación supervisada, el cual consistió en la selección de áreas representativas y clasificarlas usando algoritmos adecuados para etiquetar píxeles que representan cada tipo de cobertura (Bosque, vegetación arbustiva/herbácea, cultivos, pastos, suelos desnudos y zona urbana). Los píxeles etiquetados formaron áreas de entrenamiento (consisten en un conjunto de píxeles representativos de cada clase o categoría), las cuales sirvieron para aplicar el método de Random Forest.

El sistema de clasificación para la generación de información relacionada a la cobertura y uso del suelo, fue adaptada de la leyenda temática (Tabla 2) establecida por el MAE-MAGAP-CLIRSEN.

Tabla 2.

Leyenda temática de cobertura y uso de suelo.

NIVEL I	NIVEL II
Bosque	Bosque nativo Plantación forestal
Tierra agropecuaria	Cultivo anual Cultivo semipermanente Cultivo permanente Pastizal Mosaico agropecuario
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva Vegetación herbácea
Cuerpo de agua	Páramo Natural Artificial
Zonas antrópicas	Área poblada Infraestructura
Otras tierras	Glaciar

Sin información	Sin cobertura vegetal Sin información
------------------------	--

Nota. Adaptado de Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013 – 2014, escala 1:100.000 de MAE-MAGAP, 2015 (http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/metodologia_coberturas_16122015.pdf).

La información generada de cobertura y uso de suelo se validó a través de una matriz de confusión que interpreta los conflictos existentes entre clases (coberturas). En la matriz, las columnas corresponden a las clases determinadas por los píxeles de validación, mientras que las filas corresponden a las adquiridas por el método de clasificación automático, a esto se sumó el estadístico kappa que, de igual manera, que nos ayuda a determinar con cuanta exactitud se realizó la clasificación (Tabla 3). Esta validación se realizó a través del software ARCGIS, con la herramienta “Confusión Matrix”.

Tabla 3.

Nivel de concordancia para la validación según el índice kappa.

Coefficiente de kappa	Fuerza de concordancia
0	Pobre (Poor)
0,01 – 0,20	Leve (Slight)
0,21 – 0,40	Aceptable (Fair)
0,41 – 0,60	Moderada (Moderate)
0,61 – 0,80	Considerable (Substantial)
0,81 – 1,00	Casi perfecta (Almost perfect)

Nota. De “Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa.” por J. Cerda y L. Villarroel del P, 2008, Revista Chilena de Pediatría, 79 (1) (<https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008>).

Para la validación de la clasificación de las coberturas del año 2023, también se realizó una validación de manera in-situ, en donde se establecieron 100 puntos al azar para su comprobación.

Adicional a esto, se generó la siguiente información complementaria del suelo, que nos sirvió de ayuda para identificar cuáles son los usos del suelo que están generando impactos hacia el componente suelo:

- **Mapa de cambio de pendientes:** Este mapa permitió conocer las áreas con mayor grado de inclinación y con el recorrido in situ saber que uso se les da a estas tierras, además se puede evidenciar los cambios de uso del suelo que se han dado en las zonas más escarpadas. El mapa de pendientes se elaboró a partir de un Modelo Digital del Terreno (MDT), el cual fue descargado del sitio web oficial “EARTH DATA” y

procesado en ArcMap. La clasificación de pendientes se realizó adaptando los criterios de clasificación establecidos por la FAO (2009).

➤ **Mapa de capacidad de uso de las tierras:** Este mapa se elaboró con la finalidad de observar la capacidad de soporte del suelo para ser utilizada en los diferentes usos, coberturas y/o tratamientos y se desarrolló a partir de la información generada por SIGTIERRAS, la cual está disponible en el sitio web “GEO PORTAL” del Instituto Geográfico Militar.

5.2.2 Identificación de impactos ambientales por cambio de uso de suelo

Para la identificación de los impactos, primero se calculó el área que varió en el periodo de tiempo evaluado, sumado a esto se calculó el porcentaje de variación, a través de la ecuación (1), de cada una de las coberturas y usos del suelo que perdieron o ganaron superficie para luego determinar el grado de incidencia o intensidad que presentaron estos cambios, adaptando el criterio de intensidad establecido por Conesa (2010) (Tabla 4).

$$\text{Porcentaje de variación} = \left| \frac{\text{Área 1985} - \text{Área 2023}}{\text{Área 1985}} \right| \times 100 \quad (1)$$

Tabla 4.
Intensidad categorizada de acuerdo al porcentaje de variación.

Intensidad	Variación porcentual [%]
Baja	0 – 20
Media	20 – 40
Alta	40 – 60
Muy Alta	60 – 80
Total	> 80

Nota. Adaptado de “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental (4aed)” por V. Conesa, 2010, Ediciones Mundi-Prensa (<https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1176>).

Una vez identificados los cambios de uso del suelo que se dieron con mayor intensidad, aquellos con una variación porcentual mayor al 40 %, se determinaron los impactos mediante una lista de chequeo (Tabla 5) y para comprobar la veracidad del impacto generado por el cambio de uso del suelo, también se realizó un recorrido en campo.

Tabla 5.*Lista de verificación para la identificación de impactos ambientales.*

Actividad	Impactos ambientales	Observaciones
Cambios de uso de suelo con mayor intensidad	- Eliminación de la cobertura vegetal	
	- Expansión de la frontera agropecuaria	
	- Reducción de la biodiversidad	
	- Degradación del suelo	
	- Intensificación de monocultivos	
	- Conflicto por el uso del suelo	
	- Modificación de la capacidad de uso del suelo	
	- Eliminación de la cobertura vegetal	
	- Sellado de suelo por urbanización	
	- Expansión de la frontera antrópica	
	- Incremento de los procesos de erosión	
	- Inestabilidad de taludes	
	- Eliminación de la cobertura vegetal	
	- Expansión de la frontera agropecuaria	
	- Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización)	

5.3 Metodología para el segundo objetivo: Evaluar los impactos ambientales en el componente suelo a nivel espacial, generados por el cambio de uso del suelo en el cantón Puyango

Tras obtener los impactos ambientales tanto espaciales como temporales, su valoración se realizó con la matriz de importancia, la cual permitió establecer una valoración cualitativa de los impactos ambientales identificados sobre el componente ambiental suelo. Con esta matriz se valoró la agresividad de las acciones como el daño que sufrió el suelo, ya sea, en mayor o menor grado de acuerdo a las actividades que se realicen en el mismo.

La escala que se utilizó para la valoración de la importancia de los impactos se basó en los criterios, presentados en la Tabla 6, y la calificación para cada criterio fue dada basándonos en el porcentaje de variación de los usos del suelo e información adicional del suelo, como la pendiente y la adecuación del suelo para los distintos usos.

Tabla 6.*Criterios y calificación de los impactos ambientales.*

Naturaleza		Intensidad (IN)	
Impacto positivo	+	Baja	1
Impacto negativo	-	Media	2
		Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12

Extensión (EX)		Momento (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Mediano plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
Persistencia (PE)		Reversibilidad (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Mediano plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
Recuperabilidad (MC)		Acumulación (AC)	
Inmediato	1	Simple	1
Recuperable	2	Acumulativo	4
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		
Efecto (EF)		Periodicidad (PR)	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Sinergia (SI)			
Simple	1		
Sinérgico	2		
Muy Sinérgico	4		

Nota. Adaptado de “El estudio de impacto ambiental: características y metodologías” por I. Coria, 2008, Invenio, 11 (20), 125-135 (<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87702010>)

Obtenidos los criterios junto con su valor, se calculó el valor de importancia total con la siguiente ecuación:

$$I(\text{importancia}) = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC) \quad (2)$$

Una vez obtenido el valor de importancia, se procedió a establecer una clasificación del impacto, que variara de entre 13 y 100, según su importancia (Tabla 7).

Tabla 7.
Clasificación del impacto según su importancia.

Valor de importancia	Clasificación
$I \leq 25$	 Irrelevante/Bajo
$25 \leq I < 50$	 Moderado
$50 \leq I < 75$	 Severo
$I \geq 75$	 Crítico

Nota. Adaptado de “Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero” L. Parra et al., 2015, Datos industriales, 18 (2), 99-112 (<https://doi.org/10.15381/idata.v18i2.12102>).

5.4 Metodología para el tercer objetivo: Establecer medidas de manejo ambiental para los impactos ambientales generados por cambio de uso de suelo, hacia el componente suelo, en el cantón Puyango

5.4.1 Programa de manejo ambiental

Luego de identificar y valorar los impactos ambientales, se enfocó en los impactos que presentan un riesgo significativo, para los cuales se propusieron medidas de manejo ambiental técnicamente viables y con un alto porcentaje de efectividad para prevenir y mitigar los impactos negativos que se han manifestado en la zona, además, se propusieron medidas que permitan rehabilitar las zonas que están sufriendo mayor daño debido al cambio de uso del suelo.

Las medidas propuestas, encaminaron a la implementación de programas de manejo ambiental para los impactos severos y críticos, acorde al reglamento al código orgánico del ambiente (RCODA), Capítulo IV, artículos 434 y 435. En ese sentido, los programas de manejo ambiental se desarrollaron tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Medida
- Objetivo de la medida
- Tipo de la medida
- Lugar de ejecución
- Actividades a desarrollar
- Impactos a controlar
- Plazo de ejecución
- Costos
- Responsable de la ejecución
- Responsable del control y monitoreo
- Indicador de verificación y cumplimiento
- Medios de verificación y cumplimiento

6. Resultados

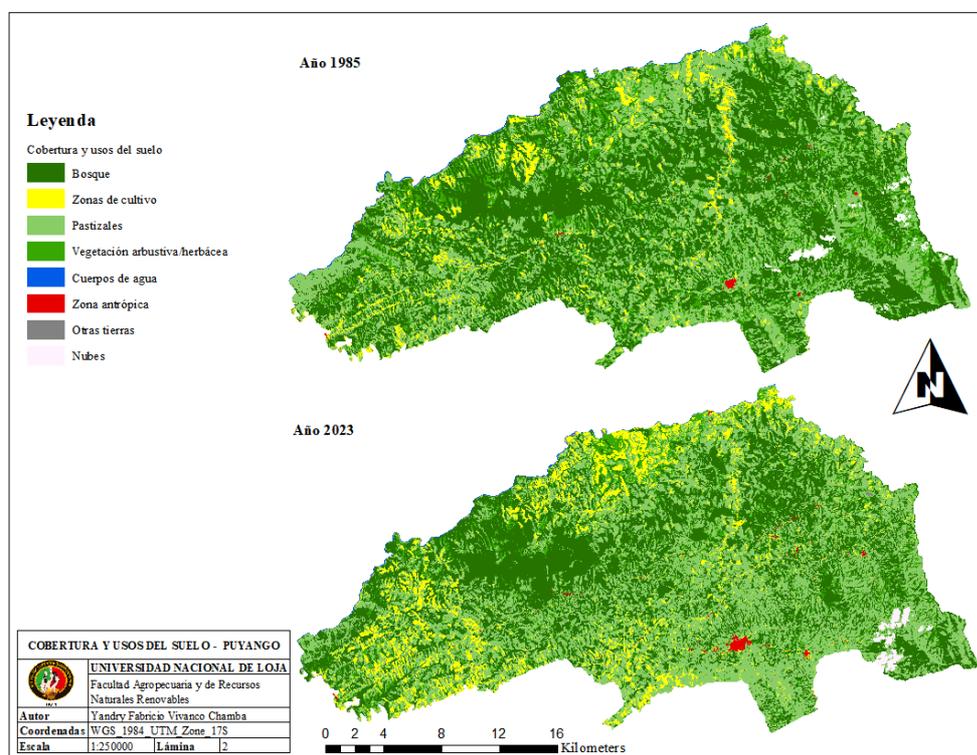
6.1 Resultados del Primer Objetivo: Identificar los impactos ambientales a escala espacio-temporal por el cambio de uso de suelo en el componente suelo, entre los años 1985 – 2023 en el cantón Puyango

Se establecieron un total de siete clases de cobertura y uso de suelo, correspondientes al nivel I y II de la leyenda temática expuesta en el protocolo metodológico del MAE-MAGAP (2015): Bosque, vegetación arbustiva y herbácea, pastizales, zonas de cultivo, otras tierras, cuerpos de agua y zona antrópica, además, se estableció una clase que correspondió a nubes en las cuales se incluyó las sombras que proyectaban las mismas.

Las clasificaciones de la cobertura y uso de suelo fueron considerables, de acuerdo al valor global de fiabilidad de la matriz de confusión y el valor del estadístico kappa, obteniendo valores de 87 % y 82 % para 1985 y 89 % y 85% para el 2023.

Figura 2.

Cobertura y usos del suelo del cantón Puyango, año 1985 y 2023.

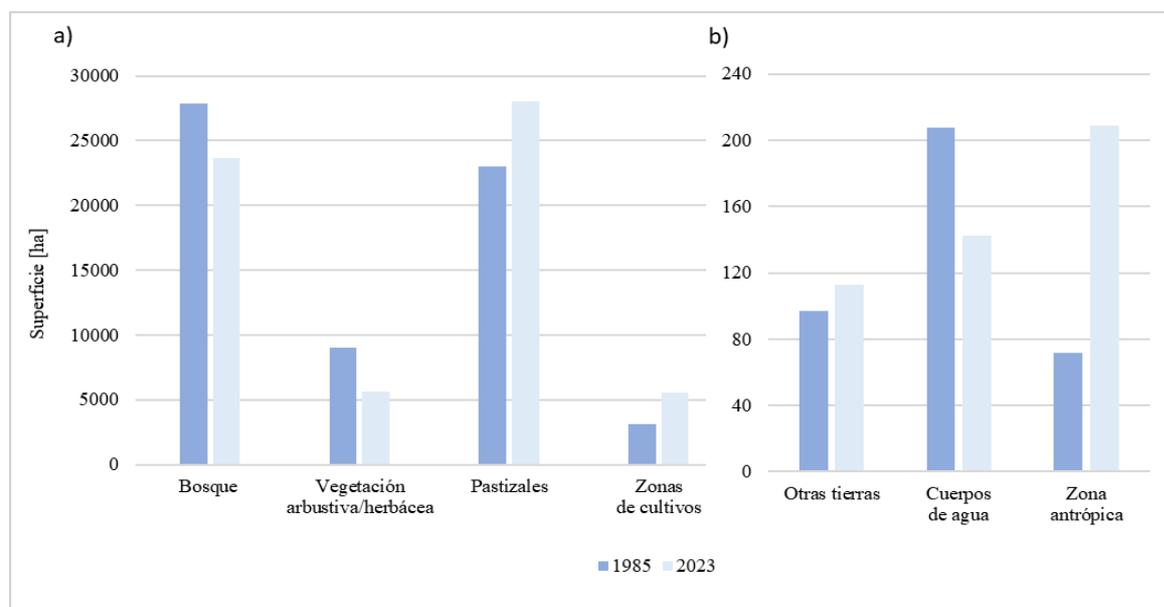


Se observaron y se cuantificaron los cambios ocurridos durante 38 años en todo el cantón, se ha evidenciado pérdidas y ganancias en las diferentes coberturas (Figura 3), obteniendo una pérdida considerable en la cobertura boscosa (4202,30 ha) y vegetación arbustiva/herbácea

(3398,89 ha). Por otra parte, las coberturas que presentaron ganancias notables, fueron los pastizales (5051,94 ha), zonas de cultivo (2445,15 ha) y zona antrópica (136,61 ha). Cabe recalcar, que las demás coberturas también sufrieron cambios, pero se presentaron en menor medida: Cuerpos de agua presentó pérdidas (65,32 ha) y otras tierras, la cual incluye zonas sin cobertura vegetal, presentó ganancias (16,01 ha).

Figura 3.

Variación de superficie desde 1985 al 2023.



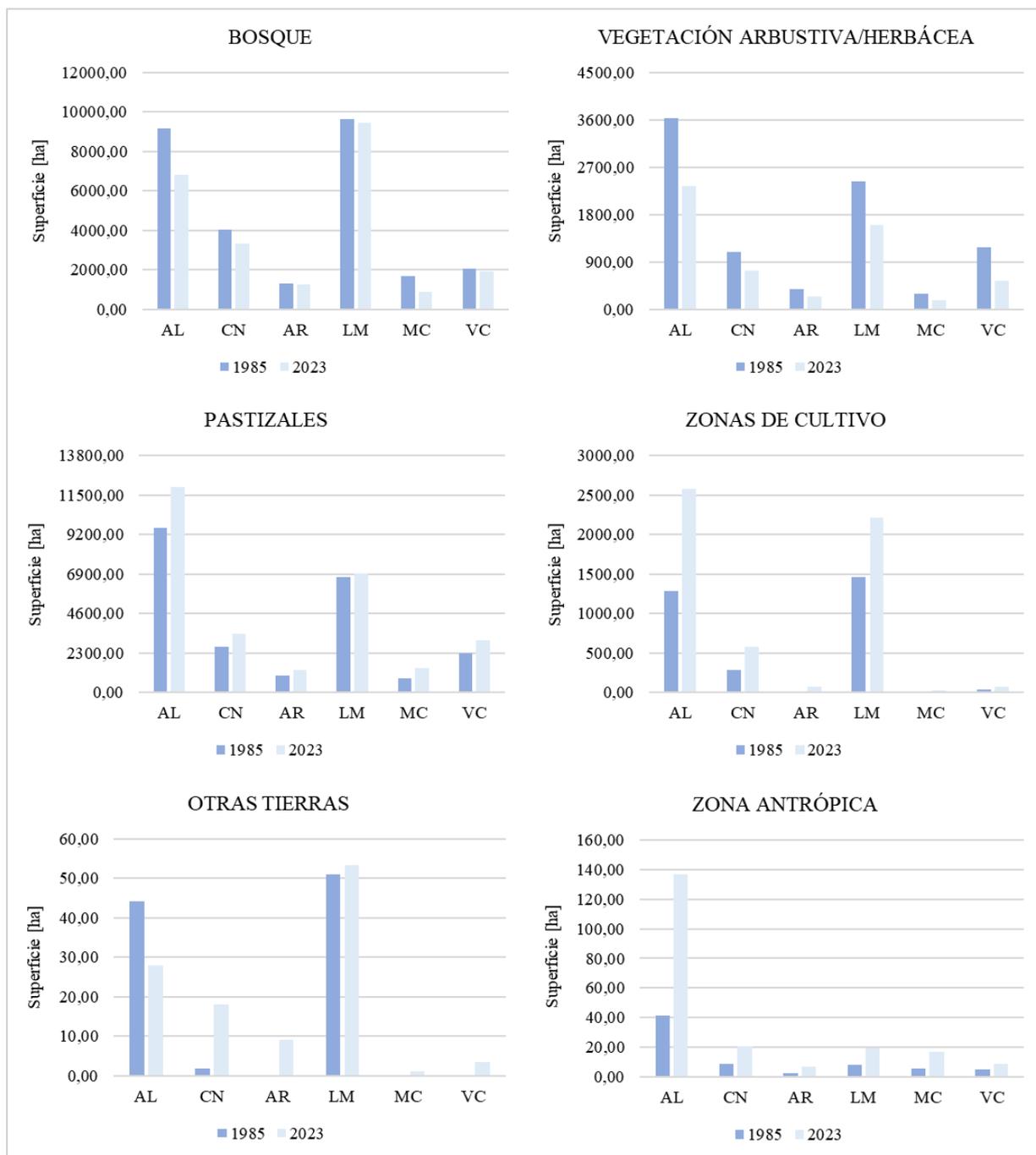
Nota: Literal a) Variaciones que superan las 1000 ha, literal b) Variaciones menores a 1000 ha.

De igual forma, se realizó un análisis a nivel parroquial de los cambios de cobertura (Figura 4) y usos del suelo, en donde, todas las parroquias (Alamor, Arenal, Ciano, El Limo, Mercadillo y Vicentino) mostraron cambios similares, aunque en diferente escala, es decir, todas las parroquias mostraron una disminución de bosques, siendo la parroquia de Alamor la que presentó mayores pérdidas (2381,95 ha) y la parroquia El Arenal, la que presentó menores pérdidas (75,55 ha), en cuanto a vegetación arbustiva y herbácea la parroquia con mayores pérdidas fue Alamor (1294,05 ha) y con menores pérdidas la parroquia Mercadillo (126,83 ha) (Anexo 6).

Por otra parte, las clases como pastizales, zonas de cultivos y zona antrópica mostraron incremento en todas las parroquias, siendo la parroquia de Alamor la parroquia la que presenta mayor variación en dichas clases (pastizales: 2351 ha, zonas de cultivo; 1291 ha, zona antrópica: 95,48 ha), cabe mencionar que la clase de otras tierras mostró una pérdida en la parroquia Alamor (16,20 ha) y en las demás parroquias mostró un aumento (Figura 4).

Figura 4.

Variaciones en la cobertura y usos del suelo a nivel parroquial.



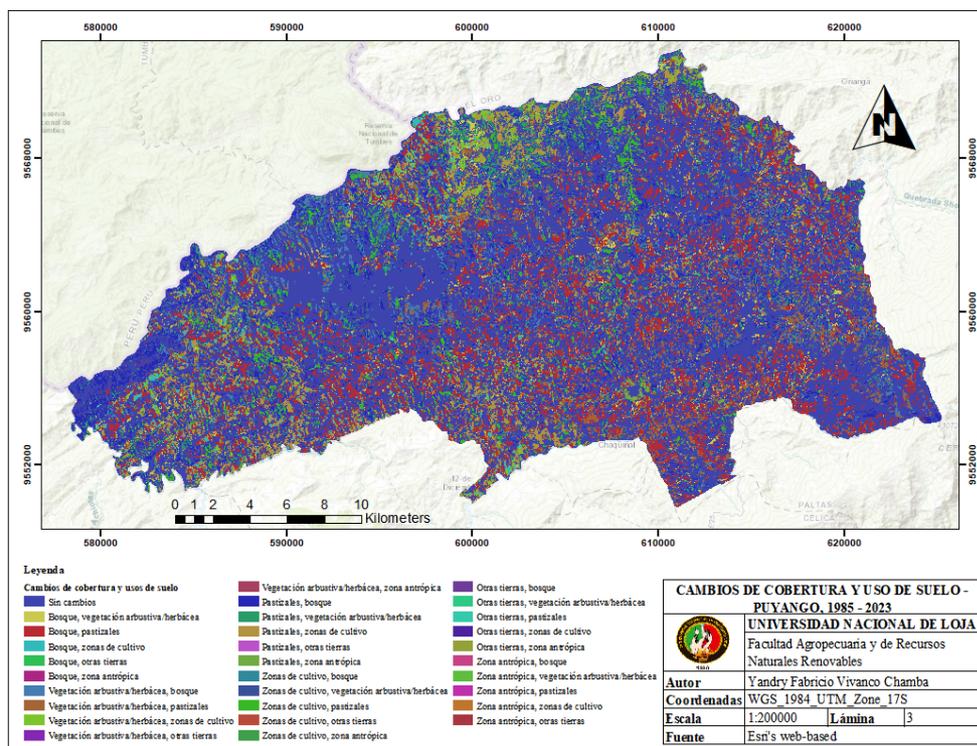
Nota: AL: Alamor, CN: Ciano, AR: Arenal, LM: Limo, MC: Mercadillo y VC: Vicentino.

Además, durante el periodo comprendido entre 1985 y 2023 cerca del 60% del territorio no mostró cambios (Figura 5) y un área de 29 100,04 ha de la superficie total, han presentado cambios (Anexo 4), en donde 10 605,02 ha de bosque, cambiaron a otras clases, como vegetación arbustiva y herbácea (1 816,18 ha), pastizales (7 932,14 ha), zonas de cultivo (828,26 ha), otras tierras (13,93 ha) y zona antrópica (14,51 ha). De igual forma, 7531,39 ha de

vegetación arbustiva y herbácea, cambiaron a bosque (2442,76 ha), pastizales (4 165,58 ha), zonas de cultivo (907,08 ha), otras tierras (3,98 ha) y zona antrópica (11,99 ha). Así mismo, una superficie igual a 8 725,64 ha de pastizales, se convirtieron en bosque (3 799,74 ha), vegetación arbustiva y herbácea (1 956,98 ha), zonas de cultivo (2 837,08 ha), otras tierras (29,66 ha) y zona antrópica (102,17 ha).

Del mismo modo, pero con un área menor transformada, 2 157,65 ha de zonas de cultivo se transformaron a bosque (245,70 ha), vegetación arbustiva y herbácea (310,34 ha), pastizales (1 558,95 ha), otras tierras (21,57 ha) y zona antrópica (21,09 ha). De igual forma, una cantidad pequeña de 69,98 ha categorizada como otras tierras, cambió a bosque (6,36 ha), vegetación arbustiva y herbácea (10,05 ha), pastizales (28,67 ha), zonas de cultivo (23,36 ha) zona antrópica (1,55 ha). Además, con una cifra aún menor de 10,37 ha la zona antrópica se transformó en bosque (1,87 ha), vegetación arbustiva y herbácea (0,39 ha), pastizales (3,61 ha), zonas de cultivo (3,95 ha) y otras tierras (0,55 ha).

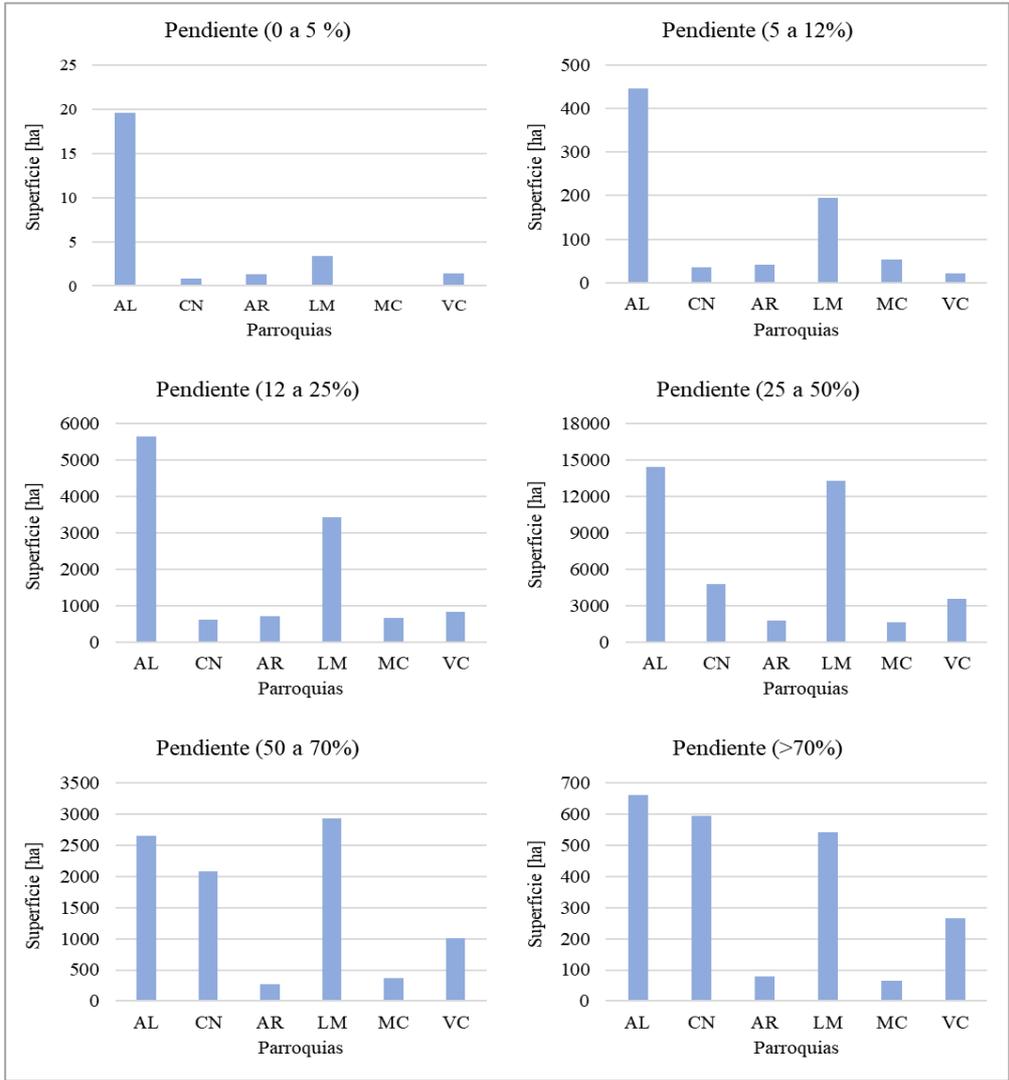
Figura 5.
Cambios de cobertura y usos del suelo del cantón Puyango, 1985 – 2023.



En cuanto a la pendiente, se realizó una clasificación de 6 clases que van desde pendientes ligeramente inclinadas a fuertemente escarpadas (Anexo 10). A lo largo del cantón, frecuentan las pendientes moderadamente escarpadas (39 446,70 ha), que van desde el 25% al 50% de

inclinación del terreno, siendo las parroquias de Alamor (5 649,02 ha) y El Limo (3 438,64 ha), las que poseen mayor superficie con dicho porcentaje de inclinación. Además, existe una considerable superficie que pose porcentajes de inclinación que van desde los 12% a 25% (11 884,51 ha) y 50% a 70% (9 312,48 ha) de inclinación y de igual manera, en las parroquias de Alamor y El Limo, es donde predominan estas pendientes (Figura 6).

Figura 6.
Categorización de pendiente por parroquia.

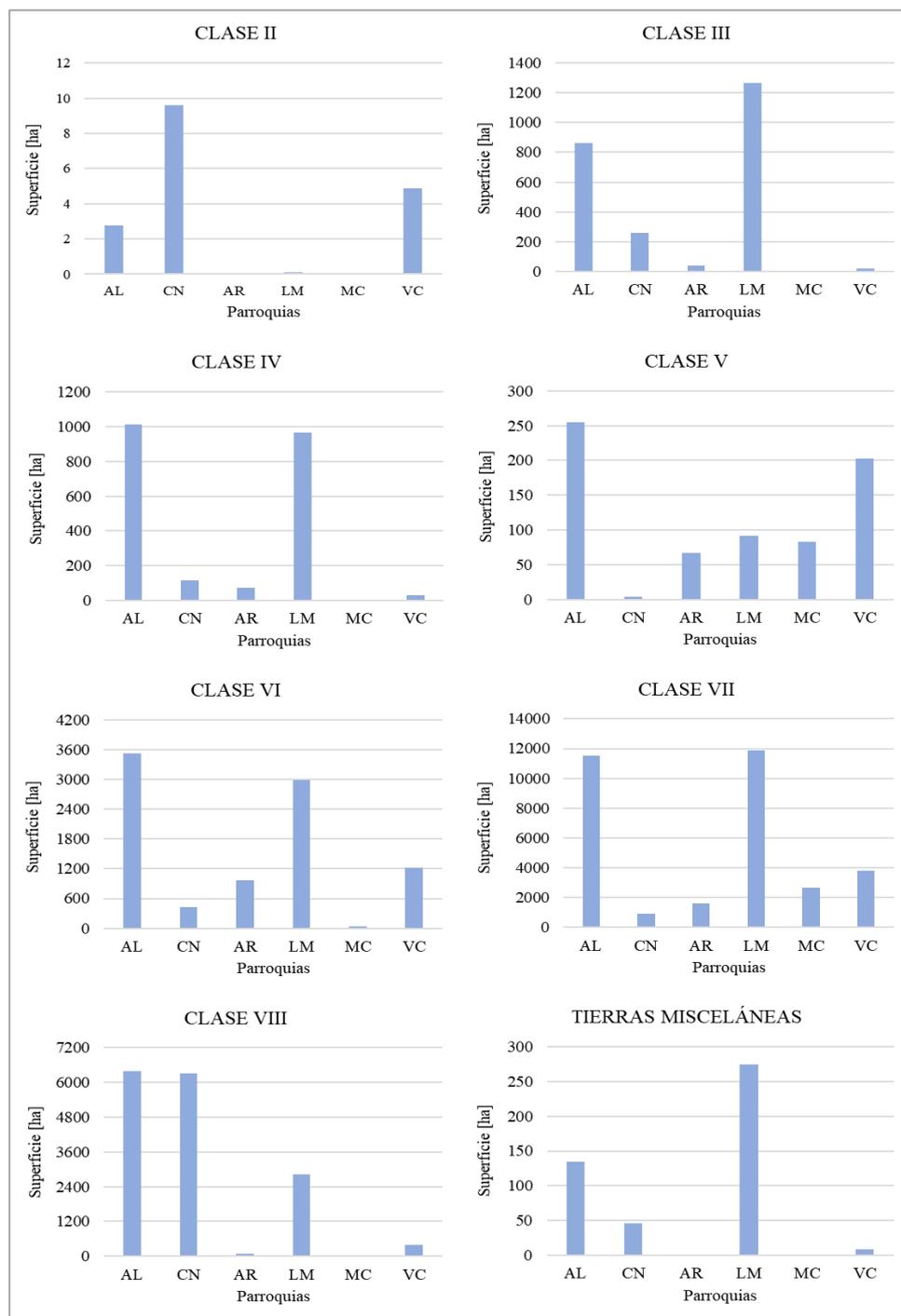


Nota: AL: Alamor, CN: Ciano, AR: Arenal, LM: Limo, MC: Mercadillo, VC: Vicentino.

Del mismo modo, se identificaron las clases agrológicas presentes en el cantón, en donde, las clases que ocupan mayor superficie, son las clases VII (32 435,33 ha) y VIII (16 008,50 ha), dichas clases corresponden a Tierras de protección con limitaciones muy fuertes (VII) y Tierras de conservación con limitaciones muy fuertes (VIII).

Las parroquias que cuentan con mayor superficie de la clase agrológica VII son El Limo (11 890,96 ha) y Alamor (11 554,18 ha), y para la clase VII son las parroquias de Alamor (6 387,86 ha) y Ciano (6 322,31 ha) (Figura 7) (Anexo 8).

Figura 7.
Clases agrológicas por parroquia.



Nota: AL: Alamor, CN: Ciano, AR: Arenal, LM: Limo, MC: Mercadillo, VC: Vicentino.

6.1.1 Impactos generados hacia el componente suelo

La identificación de los impactos ambientales por cambio de uso de suelo, se realizó en base a la variación porcentual de cada una de las coberturas y usos del suelo previamente clasificados, mediante ello, se categorizó la intensidad de dichas variaciones (Tabla 8).

Tabla 8.

Clasificación de la variación de cobertura y usos del suelo.

Cobertura y usos del suelo	Superficie [ha]		Variación [%]	Intensidad
	1985	2023		
Bosque	27832,18	23629,88	15,10	Baja
Vegetación arbustiva/herbácea	9009,53	5610,64	37,73	Media
Pastizales	22985,92	28037,85	21,98	Media
Zonas de cultivos	3086,13	5531,28	79,23	Muy alta
Otras tierras	96,93	112,94	16,52	Baja
Cuerpos de agua	207,94	142,62	31,41	Media
Zona antrópica	71,94	208,55	189,90	Total

Los impactos identificados por variación de superficie con mayor intensidad, recorrido de campo y sumado a esto información complementaria del suelo (clases agrológicas, pendiente del terreno), se identificaron, los siguientes impactos:

Tabla 9.

Identificación de impactos hacia el componente suelo.

Impactos en el componente suelo	Usos del suelo con mayor intensidad		
	Tierras agropecuarias	Otras tierras	Zona antrópica
Eliminación de la cobertura vegetal	X	X	X
Expansión de la frontera agropecuaria	X	X	
Pérdida/reducción de la biodiversidad	X		
Degradación del suelo	X		
Intensificación de monocultivos	X		
Conflictos por el uso del suelo	X		
Sellado por urbanización			X
Expansión de zona antrópica		X	X
Incremento de los procesos de erosión		X	
Inestabilidad de taludes		X	
Modificación en la capacidad de uso del suelo			X

Cabe recalcar que también se identificaron impactos por el uso de otras tierras, a pesar de no presentar un grado de intensidad alto, debido a que se llevó a un análisis por parroquia, en donde únicamente la parroquia de Alamor presentó una intensidad baja y las demás presentaron intensidades de Muy altas a Totales.

6.2 Resultados del Segundo Objetivo: Evaluar los impactos ambientales en el componente suelo a nivel espacial, generados por el cambio de uso del suelo en el cantón Puyango

Mediante la matriz de importancia se obtuvieron impactos que van desde una clasificación severa hacia una crítica, por el contrario, no existieron impactos irrelevantes (Tabla 10), es así que se determinaron siete impactos clasificados como severos causados por tierras agropecuarias, cinco impactos clasificados como moderados en el uso de otras tierras, como también, dos impactos moderados, dos severos y dos críticos generados por zona antrópica.

Tabla 10.
Valoración de impactos ambientales.

Impactos hacia el componente suelo	Valor de importancia		
	Tierras agropecuarias	Otras tierras	Zona antrópica
Eliminación de la cobertura vegetal	56	34	74
Expansión de la frontera agropecuaria	64	42	
Pérdida/reducción de la biodiversidad	64		
Degradación del suelo	74		
Intensificación de monocultivos	66		
Conflictos por el uso del suelo	56		
Sellado por urbanización			78
Expansión de zona antrópica		44	78
Incremento de los procesos de erosión		40	
Inestabilidad de taludes		29	
Modificación en la capacidad de uso del suelo			72

Nota. Clasificación de los impactos: color amarillo: impactos moderados, color naranja: impactos severos y color rojo: impactos críticos.

En cuanto a la valoración a nivel de parroquias se pudo identificar impactos desde irrelevantes (Parroquias; Limo y Mercadillo) hasta críticos. Por tierras agropecuarias, no se presentaron impactos severos o críticos en la parroquia de Arenal, en la zona antrópica se presentaron impactos severos o críticos en todas las parroquias, además los usos por otras tierras no presentaron impactos severos o críticos en las parroquias de Alamor y Mercadillo (Tabla 11). Además, cabe recalcar que cada una de las parroquias presentó uno o más impactos clasificados como severos, es decir, en todas las parroquias deberán implementarse alguna medida correctiva para los impactos generados por el cambio de uso de suelo.

Tabla 11.
Valoración de impactos ambientales por parroquia.

Usos del suelo	Impactos hacia el componente suelo	Valor de importancia					
		AL	AR	CN	LM	MC	VC
Tierra agropecuaria	Eliminación de la cobertura vegetal	71	27	35	29	51	39
	Expansión de la frontera agropecuaria	74	36	54	54	54	54
	Reducción de la biodiversidad	50	38	55	55	49	39
	Intensificación de monocultivos	74	48	42	54	38	38
	Conflicto por el uso del suelo	68	32	44	46	54	42
	Degradación del suelo	74	61	66	42	66	66
Zona antrópica	Modificación de la capacidad de uso del suelo	72	58	53	70	70	54
	Eliminación de la cobertura vegetal	74	68	54	49	63	37
	Sellado de suelo por urbanización	86	66	64	66	78	54
	Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización)	86	62	60	62	66	50
Otras tierras (Suelo desnudo)	Incremento de los procesos de erosión	34	76	76	24	36	50
	Inestabilidad de taludes (Deslizamientos)	29	51	48	17	24	30
	Eliminación de la cobertura vegetal	36	52	74	21	38	50
	Expansión de la frontera agropecuaria	38	52	46	32	38	50
	Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización)	44	74	74	42	48	60

Nota. Clasificación de los impactos: color verde: impactos irrelevantes/bajos, color amarillo: impactos moderados, color naranja: impactos severos y color rojo: impactos críticos.

6.3 Resultados del tercer objetivo: Establecer medidas de manejo ambiental para los impactos ambientales generados por cambio de uso de suelo, hacia el componente suelo, en el cantón Puyango

A través de la evaluación de los impactos, realizada mediante la matriz de importancia, se lograron valorizar y clasificar los impactos encontrados. Se identificaron impactos categorizados como severos y críticos (los que presentan mayor riesgo), para los cuales se propuso medidas de manejo, tanto preventivas como compensativas, lo cual nos permitió establecer varios programas para contrarrestar los usos que generan impactos negativos hacia el componente suelo, tales como, actividades agropecuarias, otras tierras (suelo descubierto) y zona antrópica. Entre los subprogramas establecidos por el RCODA se seleccionaron los siguientes:

- Programa de prevención y mitigación de impactos
- Programa de rehabilitación de áreas afectadas

6.3.1 Programas de prevención y mitigación

Estos programas se han planteado con la finalidad de prevenir y mitigar los impactos que podrían resultar de las actividades agropecuarias, de las zonas antrópicas y de los suelos sin cobertura.

Tabla 12.

Programa de prevención y mitigación de impactos hacia el suelo ocasionados por usos agropecuarios

PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN					
Medida	Proponer estrategias que permitan prevenir y mitigar los efectos negativos causados por actividades agropecuarias				
Objetivo de la medida	Prevenir impactos negativos al componente suelo, mediante la propuesta de implementación de actividades agropecuarias sostenibles				
Lugar de ejecución	Parroquias; Alamor, Ciano, Mercadillo, Limo y Vicentino				
Responsables de ejecución	MAG, GAD Puyango, GADs parroquiales, Prefectura de Loja				
Responsables de control y monitoreo	MAATE				
Aspecto Ambiental	Suelo				
Impactos a controlar	Actividades a desarrollar	Indicador de verificación y cumplimiento	Medios de verificación	Plazo de ejecución	Frecuencia

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eliminación de la cobertura vegetal ➤ Degradación del suelo ➤ Expansión de la frontera agropecuaria ➤ Reducción de la biodiversidad ➤ Intensificación de monocultivos ➤ Conflicto por el uso del suelo 	Planteamiento de técnicas o métodos para llevar a cabo actividades agropecuarias sostenibles	<i>Abonos verdes:</i> elevar el pH y aumentar MO <i>Aprovechamiento de residuos vegetales:</i> evitar quema y aumentar MO <i>Rotación de cultivos:</i> transición entre maíz y café	Durante el segundo año de ejecución el 75% de zonas agropecuarias utilizan técnicas sostenibles	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registro fotográfico ➤ Registro de asistencia de participantes de la socialización ➤ Observación directa ➤ Documentación del cumplimiento (Cronogramas, informes) ➤ Facturas 	Primer trimestre del 2025 con una duración de 5 años	Anual
	Conservación y protección de biodiversidad	<i>Cultivos en callejones</i> <i>Sistemas silvopastoriles:</i> cercas vivas y árboles en potreros	Durante el primer año, el 75% de la biodiversidad aledaña a zonas agropecuarias se ha protegido y conservado			
	Socialización hacia productores agropecuarios	<i>Talleres presenciales</i> <i>Reuniones</i> <i>Material impreso</i> (guías de prácticas sostenibles)	En el primer semestre al 90% de los agricultores se les ha socializados técnicas agropecuarias sostenibles			
Costo estimado (USD)	3 425,00					

Tabla 13.

Programa de prevención y mitigación de impactos negativos hacia el suelo ocasionados por zonas antrópicas.

PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	
Medida	Prevenición y mitigación de los impactos negativos, ocasionados por zonas antrópicas, a través de la estructuración de una propuesta de planificación que promueva una expansión antrópica sostenible

Objetivo de la medida	Formular directrices que permitan llevar a cabo una planificación sostenible del cantón Puyango					
Lugar de ejecución	Parroquias: Alamor, Mercadillo					
Responsables de ejecución	MAATE, GAD Puyango, GADs parroquiales, ONGs					
Responsables de control y monitoreo	MAATE, ONGs, GAD Puyango					
Aspecto Ambiental	Suelo					
Impactos a controlar	Actividades a desarrollar	Indicador de verificación y cumplimiento	Medios de verificación	Plazo de ejecución	Frecuencia	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Modificación de la capacidad de uso del suelo ➤ Reducción de la biodiversidad ➤ Eliminación de la cobertura vegetal ➤ Sellado de suelo por urbanización ➤ Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización) 	Delimitar zonas potencialmente urbanizables	<i>Estudios de idoneidad del suelo</i> en nuevas zonas urbanas <i>No urbanizar zonas con suelos de protección, propensas a deslizamientos y zonas destinadas a disposición de residuos</i>	Al finalizar el programa, el 100% de las zonas urbanas nuevas cuentan con estudios de idoneidad del suelo y se ubican fuera de zonas de restricción	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registro fotográfico ➤ Observación directa ➤ Documentación 	Primer semestre del 2025, su duración es de largo plazo, con un mínimo de 8 años.	Anual
	Definir zonas para espacios verdes en el diseño urbano	Establecer <i>espacios verdes</i> en zonas con suelo no sellado	Durante el último año el 80% del área urbana de Alamor y Mercadillo integran zonas verdes (arbolado)			
	Precisar zonas para incorporación de corredores ecológicos	<i>Mapas de aptitud territorial</i> y segmentación de biodiversidad aledaña para establecer las rutas	En el primer año se ha realizado el 100% del diseño de los corredores ecológicos urbanos			

Costo estimado (USD)	17 500,00
-----------------------------	-----------

Tabla 14.

Programa de prevención y mitigación de impactos negativos ocasionados por otras tierras (suelos descubiertos).

PROGRAMA DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN					
Medida	Prevención y mitigación de impactos negativos causados por suelos descubiertos				
Objetivo de la medida	Controlar los impactos generados por deslizamientos de tierras, expansión agropecuaria y antrópica inadecuada				
Lugar de ejecución	Parroquias: Arenal, Ciano y Vicentino				
Responsables de ejecución	Prefectura de Loja, MAG, GAD Puyango				
Responsables de control y monitoreo	GAD Puyango, MAG				
Aspecto Ambiental	Suelo				
Impactos a controlar	Actividades a desarrollar	Indicador de verificación y cumplimiento	Medios de verificación	Plazo de ejecución	Frecuencia

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento de los procesos de erosión ➤ Inestabilidad de taludes (Deslizamientos) ➤ Eliminación de la cobertura vegetal ➤ Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización) 	Evitar la pérdida del suelo por erosión	<i>Control del movimiento de masas en taludes (Escalonamiento, drenaje superficial)</i>	En el segundo año de ejecución el 75% de las áreas propensas a deslizamientos han sido estabilizadas	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Facturas ➤ Registros fotográficos ➤ Observación directa ➤ Documentación 	Primer trimestre del 2025 y tendrá una duración de 4 años	Anual
	Restringir el avance agropecuario y urbano en zonas que presentan riegos	<i>Regular los avances agropecuarios y urbanos en pendientes escarpadas a través de correctivos económicos</i>	Al término del proyecto se ha limitado el 100 % del avance de zonas agropecuarias y urbanas en zonas de alto riesgo			
Costo estimado (USD)	4 500,00					

6.3.2 Programas de rehabilitación de áreas afectadas

Estos programas consisten en desarrollarse medidas que permitan rehabilitar las zonas afectadas por las actividades agropecuarias y las zonas sin cobertura vegetal.

Tabla 15.

Programa de rehabilitación de áreas afectadas por usos agropecuarios.

PROGRAMA DE REHABILITACIÓN	
Medida	Rehabilitación de áreas afectadas por actividades agropecuarias
Objetivo de la medida	Proponer estrategias viables que ayuden a la restauración y rehabilitación de áreas que se han visto afectadas por actividades agropecuarias

Lugar de ejecución	Parroquias; Alamor, Ciano, Mercadillo, Limo y Vicentino					
Responsables de ejecución	MAG, GAD Puyango, GADs parroquiales, Prefectura de Loja					
Responsables de control y monitoreo	MAG, GAD Puyango, Prefectura					
Aspecto Ambiental	Suelo					
Impactos a controlar	Actividades a desarrollar	Indicador de verificación y cumplimiento	Medios de verificación	Plazo de ejecución	Frecuencia	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eliminación de la cobertura vegetal ➤ Reducción de la biodiversidad ➤ Conflicto por el uso del suelo ➤ Degradación del suelo 	Recuperación de zonas degradadas por actividades agropecuarias	<i>Perchas artificiales</i> (acelerar los procesos de regeneración vegetal) <i>Enmiendas orgánicas</i> (recuperación de nutrientes y estructura del suelo)	Al culminar el proyecto se han restaurado el 80% de zonas degradadas por actividades agropecuarias	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registro fotográfico ➤ Acuerdos firmados ➤ Visitas en campo ➤ Facturas 	Primer trimestre del 2025, con una duración de 3 años	Anual
	Retribuciones hacia productores para incitar a la recuperación de terrenos degradados	<i>Entrega de productos y semillas para restaurar áreas afectadas</i>	Al finalizar el tiempo establecido del programa, el 90% de productores ha recibido incentivos para restaurar terrenos degradados			
Costo estimado (USD)	700,00					

Tabla 16.*Programa de rehabilitación de áreas afectadas por el uso de otras tierras (suelos descubiertos).*

PROGRAMA DE REHABILITACIÓN					
Medida	Rehabilitación de áreas sin cobertura vegetal				
Objetivo de la medida	Establecer propuestas viables para la recuperación de suelos descubiertos, categorizados como otras tierras				
Lugar de ejecución	Parroquias: Arenal, Ciano y Vicentino				
Responsables de ejecución	Prefectura de Loja, GAD Puyango, GADs parroquiales				
Responsables de control y monitoreo	GAD Puyango, Prefectura de Loja				
Aspecto Ambiental	Suelo				
Impactos a controlar	Actividades a desarrollar	Indicador de verificación y cumplimiento	Medios de verificación	Plazo de ejecución	Frecuencia

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Incremento de los procesos de erosión ➤ Inestabilidad de taludes (Deslizamientos) ➤ Eliminación de la cobertura vegetal ➤ Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización) 	Revegetalización de zonas sin cobertura vegetal	<i>Biomantas</i> (vegetación sobre pendientes muy escarpadas) <i>Barro proyectado</i> (lodos depurados para revegetalizar suelos desnudos)	Durante el primer semestre del segundo año de ejecución del programa, el 60 % de las áreas sin cobertura vegetal han sido revegetalizadas con las técnicas propuestas. Al culminar la ejecución del programa, el 90 % de las áreas sin cobertura vegetal han sido revegetalizadas con las técnicas propuestas.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Registros fotográficos ➤ Facturas ➤ Observación directa en campo 	Tercer trimestre del 2025, con una duración de 3 años	Anual
Costo estimado (USD)	2 354,00					

7. Discusión

El desarrollo de esta investigación permitió analizar el deterioro del componente suelo en el cantón Puyango durante un lapso de 38 años, revelando la influencia significativa de la población y sus necesidades en los cambios de cobertura y usos del suelo que se producen a lo largo del tiempo. Según Álvarez et al. (2015), los cambios en el uso del suelo están estrechamente relacionados con las interacciones entre factores ecológicos, físicos, ambientales y socioeconómicos. Los resultados de este estudio muestran que alrededor del 50% de la superficie del cantón no ha experimentado cambios, en cambio, la superficie que ha sufrido alteraciones presentó impactos ambientales severos que afectaron directamente al componente suelo, dependiendo de la intensidad y magnitud del cambio

La cobertura boscosa presentó un cambio con naturaleza negativa, debido a la disminución de 4 202,30 ha de bosque, de igual forma la vegetación arbustiva y herbácea mostró una disminución de 3 398,89 ha, resultados que se afianzan en la investigación de Tapia et al. (2015), en donde se asegura que en el sur del Ecuador la tasa de deforestación aumentó considerablemente, desde el año 2000 en adelante. Similar a la investigación de Vázquez et al. (2015) que señalan que los principales cambios de bosque y vegetación arbustiva fueron hacia pastizales, resultados menos favorables desde el punto de vista ambiental, debido a que con la pérdida de bosque se pierden los procesos ecológicos que se desarrollaban en él. De igual forma, una considerable cantidad de superficie de bosque y vegetación arbustiva y herbácea han sido sometidas a nuevos usos agrícolas, dado que estos cambios son procesos tradicionales que se desarrollan con mucha frecuencia (Sierra et al., 2021).

Los cambios hacia zonas agrícolas son procesos que generan un grado de incidencia elevado a nivel cantonal, debido a que su superficie ha incrementado un 80 % en los últimos 38 años. De acuerdo con Castro (2013), la Zona Sur del Ecuador muestra una flexibilidad para la expansión agrícola y desde el año 2008 los cultivos transitorios han mostrado incrementos, especialmente el maíz y la caña de azúcar. Estos cambios se reflejan principalmente en las parroquias de Amor, El Limo y Ciano. Según el GAD Municipal de Puyango, el cultivo predominante en estas áreas es el maíz duro, apoyado por los residentes, quienes afirman que este cultivo les proporciona los mayores ingresos económicos. Esta situación se alinea con la investigación de Guamán et al. (2020), que sostiene que la modificación genética del maíz facilita su desarrollo en diversas condiciones agroclimáticas.

Los pastizales (naturales y cultivables), fue la cobertura que mayor incremento presentó (5 051,94 ha) y actualmente es la cobertura que mayor extensión territorial abarca dentro del cantón. El aumento de pastizales es influenciado por la demanda poblacional de productos derivados del ganado como leche y carne (Castro et al., 2013), y de igual forma al abandono de terrenos agrícolas improductivos (Vázquez et al., 2015). Las parroquias que más superficie de pastizales adoptaron en la serie temporal analizada, fueron Alamor, Ciano, Mercadillo y Vicentino, en donde factores climáticos como, la temperatura ambiental y la humedad relativa permiten el mejor desarrollo de las actividades pecuarias, que de acuerdo a los hallazgos de Árias et al. (2008), dichos factores son esenciales para el correcto desempeño del ganado bovino.

En cuanto a los suelos desprovistos de vegetación, estas zonas mostraron un incremento parcial durante el período evaluado, incremento que está ligado a la sobreutilización y la consecuente pérdida de capacidad para albergar vegetación. Este fenómeno ocurre frecuentemente debido a malas prácticas agrícolas, lo que lleva al abandono de los terrenos por su improductividad. De acuerdo con el estudio de Vázquez et al. (2015), el aumento de terrenos improductivos se debe a que los agricultores se abstienen de recuperar terrenos infértiles, permitiendo que se regeneren por sí mismos, un proceso que consideran más factible. En la investigación se identifica a las parroquias de El Limo y Alamor como las principales afectadas por este problema debido al laboreo constante del suelo. Además, se ha evidenciado in situ que los suelos sin vegetación también se encuentran en terrenos adyacentes a las vías de tercer orden, situación observable en las parroquias de Vicentino, Arenal y Ciano, donde las vías de acceso sin asfalto fueron abiertas sin estudios previos.

En cuanto a la zona antrópica, esta mostró un incremento notable, ya que, entre 1985 y 2023 casi triplicó su tamaño. Cambios similares se evidencian en estudios como los de António et al. (2009), Farnum y Murillo (2019) y Qiu et al. (2019). Además, es un hecho que con el paso del tiempo siempre habrá un aumento en las zonas antrópicas. Álvarez et al. (2015) mencionan que dichos cambios están principalmente influenciados por el crecimiento demográfico y las necesidades socioeconómicas asociadas, lo cual genera demanda para el desarrollo de nuevas infraestructuras y servicios, obligando a utilizar áreas que originalmente eran vegetación. Estos cambios son especialmente evidentes en la cabecera cantonal Alamor, aunque todas las parroquias experimentaron un incremento significativo en las zonas antrópicas.

En cuanto a los impactos identificados, todos tuvieron una naturaleza negativa, así como la eliminación de la cobertura vegetal, la cual se asocia a la expansión de las actividades

agropecuarias hacia ecosistemas naturales, impulsadas por la pobreza y la necesidad de cultivar la tierra para subsistir. Como consecuencia, los países en vías de desarrollo enfrentan efectos adversos, como la pérdida de áreas boscosas y los servicios ecosistémicos que estos bosques proporcionan (Laurance et al., 2014). De igual forma, los cambios hacia tierras agropecuarias, presentan impactos negativos hacia la biodiversidad presente en el suelo, ya que estas actividades reducen las interacciones entre los diferentes biomas, provocado por la implementación de agroquímicos y fertilizantes. Esto se puede ratificar en la investigación de Chen y colaboradores (2021), en donde los microbiomas muestran un mejor desarrollo en suelos con plantaciones forestales que en suelos cultivados y pastizales.

Así mismo, los impactos como el incremento de erosión y degradación del suelo tienden a incrementarse en relación al incremento de tierras de cultivo, suelos desnudos, pastizales, tierras en barbecho y áreas edificadas, por el contrario, el incremento de zonas con vegetación es proporcionalmente indirecto a los problemas de erosión (Taye et al., 2023; Bolorani et al., 2023). Dentro del cantón Puyango, gran parte de las zonas agropecuarias, antrópicas y sin cobertura vegetal, poseen un grado de inclinación mayor al 50 % provocando un incremento en los procesos de erosión, estos terrenos no son aprovechados de acuerdo a su capacidad y no son aptos para desarrollar otras actividades que no sean la protección y conservación (IEE y MAG, 2013).

Por otro lado, el uso indebido del suelo, es lo que implica la modificación de sus propiedades y es un problema ambiental significativo. De ahí que, cultivar en zonas con pendientes escarpadas no es recomendable, ya que las concentraciones de carbono y nitrógeno, esenciales para la fertilidad del suelo, se encuentran en cantidades reducidas (Reyes et al., 2019). Esto conduce a un aumento en el uso de fertilizantes, lo que a largo plazo provoca la degradación del suelo y desencadena conflictos por sobreutilización. Estas malas prácticas se observan en todo el cantón y según el GAD Municipal de Puyango (2019), un alarmante 57,15% del suelo está siendo sobre utilizado, lo que se atribuye principalmente al crecimiento de las zonas agrícolas, especialmente en las parroquias de Alamor y El Limo.

Con respecto al incremento de zonas antrópicas, estas cambian drásticamente las condiciones ecológicas de un ecosistema y provocan efectos negativos en procesos biofísicos y bioquímicos irreversibles (Zhuang et al., 2023), naturalmente reemplazando la cobertura vegetal por infraestructura, causando total impermeabilidad del suelo lo que conlleva a la alteración del escurrimiento natural y dinámicas hídricas y en muchos casos esto genera más efectos negativos subyacentes como el aumento de temperatura e inundaciones, como lo mostrado en diferentes

investigaciones (Pérez et al., 2019; Tarducci et al., 2021). El mayor incremento de zonas urbanas lo presentó la parroquia de Alamor, esto se atribuye a que es la cabecera cantonal, ya que Farnum y Murillo, (2019) en su investigación aseguran que los procesos de deforestación causados para expansión urbana suceden con mayor intensidad en las zonas próximas a las cabeceras cantonales de provincia, además también se notó un incremento notable en la parroquia de Mercadillo y esto se debe a que se ubica a una distancia mínima del área urbana de Alamor.

En relación al método de evaluación de impactos ambientales, este determinó la importancia total de los impactos significativos que afectan al suelo, seleccionando aquellos que son más representativos de alteraciones sustanciales y que pueden ser convertidos en magnitudes mensurables (Merladet, 2016), los cuales resultaron en su mayoría, ser impactos moderados, severos y en menor cantidad, críticos. Dentro de los resultados, se destacó que los usos de suelo que generan impactos más severos son las áreas sin cobertura y las zonas agropecuarias. Además, la zona antrópica es la única que produce impactos críticos, especialmente en áreas urbanas más extensas (Alamor y Mercadillo). Estos hallazgos coinciden con investigaciones previas, como la de Pérez (2017) que también valora la expansión antrópica como un impacto de alto riesgo, debido a que los impactos provocados son irreversibles. De igual forma, Merdalet (2016) considera la expansión de zonas agropecuarias como impactos severos, siendo los más significativos junto con la antropización, esto se debe a que la extensión de estas zonas en su área de estudio conlleva a la pérdida de la vegetación propia de la zona, la disminución de la fauna y la degradación del suelo.

El enfoque de los resultados permitió proponer medidas de manejo ambiental que permitan prevenir y mitigar los impactos identificados y evaluados en el presente estudio. Las medidas propuestas como programas, y de acuerdo con varias investigaciones (Castro et al., 2018; Wei et al., 2019; Villate y Cortés, 2018), son medidas que se han implementado o en algunos casos solo presentadas como propuestas en zonas con características morfológicas del terreno, factores climáticos, cobertura vegetal y actividades productivas similares a las que presenta el cantón Puyango a lo largo de su extensión territorial.

De acuerdo con varios autores (Martínez, 2009; Milera, 2013; Castro et al., 2018), prevenir y mitigar los impactos de las zonas agropecuarias mediante el reemplazo de los sistemas agropecuarios convencionales por sistemas sostenibles ofrece múltiples beneficios para los productores y el ambiente, como la reducción de emisiones, mejora de la productividad, mayores ingresos con menores inversiones y conservación de los servicios ecosistémicos,

siendo la calidad del suelo la base principal. De igual manera, algunos autores presentan propuestas similares, como fomentar cubiertas verdes, corredores ecológicos urbanos, crear un sistema de desarrollo urbano verde y emplear regulaciones que frenen la construcción en zonas de protección, para evitar efectos negativos provenientes de la expansión urbana (Tonne et al., 2021; Zeren 2023). Además, las estrategias planteadas para prevenir impactos por zonas sin cobertura vegetal han sido abordadas de igual forma en otras investigaciones, donde el aterrazamiento y drenaje de taludes promueve el control de la erosión y evita la pérdida del suelo, con un porcentaje de eficacia que va desde el 70% al 85% (Rutebuka et al., 2021; Wei et al., 2019).

Finalmente, los programas de rehabilitación de áreas afectadas, han sido propuestos con el fin de restablecer las funciones ecológicas y económicas que el componente suelo ha ido perdiendo a medida que se extienden las zonas antrópicas. Las perchas artificiales han sido una de las estrategias más prometedoras para restaurar ecosistemas deforestados ya que aumentan la dispersión de semillas (Athiê y Dias, 2016; Prather et al., 2017; Villate y Cortés, 2018) en zonas sin cobertura vegetal y pastizales abandonados. Además, Liu et al. (2023) sostienen que las enmiendas orgánicas son técnicas efectivas para la recuperación de suelos degradados, ya que incrementan los nutrientes, carbono orgánico y mejoran la funcionalidad microbiana del suelo. También, los suelos desnudos resultado de la expansión antrópica y procesos naturales como deslizamientos, pueden recuperarse con técnicas sostenibles, como la aplicación de biomantas biodegradables que evitan que los suelos se sigan erosionando por lluvias, BahooToroodi et al. (2021) demuestran que la estabilización de pendientes pronunciadas con geotextiles es una técnica que muestra un alto grado de confiabilidad, además la técnica de barro proyectado es una propuesta novedosa que de acuerdo con Koda y Osinski (2011), es muy efectiva para evitar procesos de erosión y permitir que suelos descubiertos recuperen vegetación, además se puede realizar con lodos depurados que hayan sido previamente estabilizados.

8. Conclusiones

- Según el análisis realizado, los cambios en el uso del suelo han resultado en una serie de efectos adversos para el suelo en el cantón Puyango. Estos incluyen la eliminación de cobertura vegetal, reducción de la biodiversidad, sobreutilización del suelo, modificación del uso de suelo, sellado, incremento de erosión y degradación del mismo y además pueden desencadenar algunos impactos subyacentes al ambiente. Es así que, las transformaciones a las que se somete el suelo, especialmente hacia zonas agropecuarias y zonas antrópicas, pueden terminar ocasionando una pérdida total de este recurso, el cual es la base fundamental para el desarrollo de la vida en los ecosistemas terrestres.
- En relación a la valoración de los impactos identificados en esta investigación, estos resultaron ser, en su mayoría, moderados y severos, y en una menor cantidad críticos, siendo la parroquia de Alamor la que presenta mayores impactos severos y críticos, además el incremento de zonas agropecuarias, antrópicas y suelos desnudos fueron los procesos que más impactos significativos provocaron dentro del cantón. Cabe mencionar que, en todas las parroquias se presentaron impactos severos y que las parroquias de El Limo y Vicentino fueron las únicas que no presentaron impactos críticos.
- A través de la elaboración de los programas de manejo ambiental, se desarrollaron medidas de manejo ambiental orientadas a prevenir, mitigar y rehabilitar los impactos severos y críticos que se generan por las actividades agropecuarias, zona antrópica y suelos descubiertos. Además, con la elaboración de cinco programas de manejo ambiental, se pretende conservar el componente suelo y los procesos que yacen en él, así como influir en calidad de vida de las personas.

9. Recomendaciones

- Para futuras investigaciones, se recomienda utilizar imágenes con un tamaño de pixel inferior (10 m x 10 m), con el fin de profundizar los resultados de la investigación y obtener a mejor detalle el cambio de uso de suelo que se presenta en una determinada temporalidad.
- Socializar los programas establecidos con las autoridades encargadas, con la finalidad de que sean tomados en cuenta para el ordenamiento territorial del cantón, como también llevarse a cabo una gestión sostenible del recurso suelo
- Complementar este tipo de estudios evaluando los impactos ambientales hacia los demás componentes, a través de la recolección de muestras, ya que el presente estudio, se centró en evaluar los impactos hacia el suelo debido al registro de información existente.
- Realizar estudios similares a lo largo de la provincia, debido a que su metodología es menos compleja de realizar e implica menos costos, además, facilita el manejo de un mayor volumen de información.

10. Bibliografía

- Alawamy, J. S., Balasundram, S. K., Hanif, A. H. M., & Teh, C. B. S. (2020). Detecting and analyzing land use and land cover changes in the region of Al-Jabal Al-Akhdar, Libya using Time-Series Landsat data from 1985 to 2017. *Sustainability*, 12(11), 4490. <https://doi.org/10.3390/su12114490>
- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista cubana de ciencia agrícola*, 45(2), 107-115. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadecienciaagricola/2011/vol45/no2/1.pdf>
- Álvarez, P., Véliz, F., Muñoz, J., y Aguirre, N. (2015). Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Bosques Latitud Cero.*, 5(2), 33–47. <https://www.researchgate.net/publication/301226212>
- Álvarez-Solís, J. D., Díaz-Pérez, E., León-Martínez, N. S., & Guillén-Velásquez, J. (2010). Enmiendas orgánicas y actividad metabólica del suelo en el rendimiento de maíz. *Terra Latinoamericana*, 28(3), 239-245. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187.5779201000030006&lng=es&tlng=es
- Antônio, F., Vergés, R., Damián, J., & Bocco, G. (2009). Contribución al análisis del cambio de uso del suelo y vegetación (1978-2000) en la Península de Baja California, México. *Investigación Ambiental*, 1(1), 70-82. <https://www.researchgate.net/publication/239602204>
- Athiê, S., & Dias, M. M. (2016). Use of perches and seed dispersal by birds in an abandoned pasture in the Porto Ferreira state park, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(1), 80-92. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.13114>
- BahooTorood, F., Khalaj, S., Leoni, L., De Carlo, F., Di Bona, G., & Forcina, A. (2021). Reliability Estimation of Reinforced Slopes to Prioritize Maintenance Actions. *International journal of environmental research and public health*, 18(2), 373. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020373>
- Barrales-Brito, E., Pellat, F. P., Etchevers, J. D., Hidalgo-Moreno, C., & Velázquez-Rodríguez, A. S. (2020). Dinámica de carbono en agregados del suelo con diferentes tipos de usos

- de suelo en el Monte Tláloc, Estado de México. *Terra Latinoamericana*, 38(2), 275-288.
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i2.680>
- Bentrup, G. (2008). Zonas de amortiguamiento para conservación: lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral. (SRS-109). Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal y Estación de Investigación Sur. https://www.fs.usda.gov/nac/buffers/docs/GTR-SRS-109_Spanish.pdf
- Bhattacharjee, S., Islam, T., Kabir, M. E., & Kabir, M. (2021). Land-Use and Land-Cover change detection in a North-Eastern Wetland ecosystem of Bangladesh using remote sensing and GIS techniques. *Earth Systems and Environment*, 5(2), 319-340.
<https://doi.org/10.1007/s41748-021-00228-3>
- Bolorani, A. D., Bakhtiari, M., Samany, N. N., Papi, R., Soleimani, M., Mirzaei, S., & Bahrami, H. (2023). Land degradability mapping using remote sensing data and soil chemical properties. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 32, 101027. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.101027>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1).
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Briassoulis, H. (2020). *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*. 2nd edn. Edited by Scott Lovridge and Randall Jackson. WVU Research Repository, 2020. <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book>
- Briceño, J., Villa, J., Gómez, C., Belandria, N., León, F., Verjel, V., & Maldonado, M. (2020). Análisis comparativo de estabilidad en taludes utilizando métodos comprobados y modelos numéricos de simulación. *Ciencia e Ingeniería*, 42(1), 63-70.
<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/cienciaeingenieria/article/download/16646/21921927790>
- Buraka, T., Elias, E., & Lelago, A. (2023). Effects of land-use-cover-changes on selected soil physicochemical properties along slope position, Coka Watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 9(5), e16142. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16142>

- Calva, M. Á. G., Aldaz, J. M. C., Espinoza, A. E. E., & Espinoza, V. M. (2022). Aprovechamiento de flora apícola en dos colmenares localizados en los cantones La Concordia y Mocache, Ecuador. *Alfa Publicaciones*, 4(1), 28-45. <https://doi.org/10.33262/ap.v4i1.129>
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan P., J. I., Pineda J., N. B., Cadena V., E. G., Bravo P., L. C. y Sánchez L., M. (2015a). Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques*, 21(1), 93-112. doi: 10.21829/myb.2015.211435
- Camacho-Sanabria, J. M., Juan-Pérez, J. I., & Pineda-Jaimes, N. B. (2015b). Modeling of land use/cover changes: prospective scenarios in the Estado de Mexico. Case study – Amanalco de Becerra. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 21(2), 203-220. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.10.049>
- Cartaya, S., Zurita, S. y Mantuano-Eduarte, R. (2016). Propuesta de corredores ecológicos y zonas de amortiguamiento como medidas para restaurar la conectividad del hábitat de la especie *Cuniculus paca* en Ecuador. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), 69-82. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.pcez> doi: 10.11144/Javeriana.ayd20-39.pcez
- Castro, E., Rodríguez, J. E. M., Fornaguera, J. E. C., & Lascano, C. E. (2018). Abonos verdes de leguminosas: integración en sistemas agrícolas y ganaderas del trópico. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 711-729. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i3.31612>
- Castro, M., R. Sierra, O. Calva, J. Camacho y F. López. (2013). Zonas de Procesos Homogéneos de Deforestación del Ecuador. Factores promotores y tendencias al 2020. Programa GESOREN-GIZ y Ministerio de Ambiente del Ecuador. Quito, Ecuador. <https://www.researchgate.net/profile/Rodrigo-Sierra-6/publication/268390247>
- Cerda, J., & Villarroel del P, L. (2008). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chilena de Pediatría*, 79(1). <https://doi.org/10.4067/s0370-41062008000100008>
- Chai, B., & Li, P. (2023). An ensemble method for monitoring land cover changes in urban areas using dense Landsat time series data. *Revista ISPRS de fotogrametría y teledetección*, 195, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2022.11.002>

- Chen, X., Zhang, Z., Han, X., Hao, X., Lu, X., Yan, J., Biswas, A., Dunfield, K., & Zou, W. (2021). Impacts of land-use changes on the variability of microbiomes in soil profiles. *Journal of the science of food and agriculture*, 101(12), 5056–5066. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11150>
- Chowdhury, M. S., & Hafsa, B. (2022). Multi-decadal land cover change Analysis over Sundarbans Mangrove Forest of Bangladesh: A GIS and remote sensing based approach. *Global Ecology and Conservation*, 37, e02151. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02151>
- Chuvienco, E. (2010). *Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio* (1a. ed., actualizada.). Ariel. https://bibliotecadigital.uchile.cl/permalink/56UDC_INST/1uuvhmk/alma991001205769703936
- Ćirić, V., Manojlović, M., Belić, M., Nešić, L., & Šeremešić, S. (2013). Effects of land use conversion on soil aggregate stability and organic carbon in different soils. *Agrociencia*, 47(6), 539-552. <http://scielo.unam.mx/pdf/agro/v47n6/v47n6a2.pdf>
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (4aed.). Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. <https://bibliotecadigital.infor.cl/handle/20.500.12220/1176>
- Congedo, L. (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: a Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. *Journal of open-source software*, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>
- Coria, I. D. (2008). El estudio de impacto ambiental: características y metodologías. *Invenio*, 11 (20), 125-135. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87702010>
- Debie, E., Anteneh, M., & Asmare, T. (2022). Land Use/Cover Changes and Surface Temperature Dynamics over Abaminus Watershed, Northwest Ethiopia. *Air, soil and water research*, 15, 117862212210979. <https://doi.org/10.1177/11786221221097917>
- Espinosa, J., J. Moreno y G. Bernal (eds). 2022. *Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo*. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador. <https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos>

- FAO. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. <https://www.fao.org/documents/card/en?details=i5126s>
- FAO. (2020). Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020 – Principales resultados. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca8753es>
- Faria, D., Morante-Filho, J. C., Baumgarten, J., Bovendorp, R. S., Cazetta, E., Gaiotto, F. A., Mariano-Neto, E., Mielke, M. S., Pessoa, M. S., Rocha-Santos, L., Santos, A. S., Soares, L. A. S. S., Talora, D. C., Vieira, E. M., & Benchimol, M. (2023). The breakdown of ecosystem functionality driven by deforestation in a global biodiversity hotspot. *Biological Conservation*, 283, 110126. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110126>
- Farnum, F. y Murillo, V. (2019). Análisis multitemporal (1970-2017) del uso del suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera Boyd Roosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21 (2), 107–124. <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/576>
- Feng, L., Zheng, M., Sun, Z., Zheng, J., Liu, Y., & Yang, N. (2010). Water consumption and use efficiency of major crops in southern Kerqin sandy land. *Journal of Agriculture, Biotechnology and Ecology*, 3(2), 252-262. ISSN: 2006-3938
- GAD Municipal de Puyango. (2019). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Puyango 2019 - 2023. <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/documentos/1160001050001>
- GAD Provincial de Loja. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Provincia de Loja 2015 – 2025. <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/documentos/1160000160001>
- Gavilánez, F. (2020). El drenaje agrícola y sus elementos de diseño. *Mawil*. <https://doi.org/10.26820/978-9942-826-38-1>
- Guamán, R. N. G., Vera, T. X. D., Abril, Á. F. V., Cortázar, S. M. U., & Salguero, E. J. R. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea Mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047-056. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

- Gupta, N., Omar, P. J., Tripathi, R. P., Shekhar, S., & Surender. (2017). A study of change in agricultural and forest land in Gwalior City using satellite imagery. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 9(02), 109-112. <https://doi.org/10.18090/samriddhi.v9i02.10870>
- Hooke, R. L., Duque, J. F. M., & De Pedraza Gilsanz, J. (2012). Land Transformation by Humans: A review. *GSA today*, 12(12), 4-10. <https://doi.org/10.1130/gsat151a.1>
- IEE y MAG. (2013). GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25000. <http://www.sigtierras.gob.ec/geopedologia>
- IEE y MAG. (2013b). GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1: 25000. EVALUACIÓN DE LAS TIERRAS POR SU CAPACIDAD DE USO <http://www.sigtierras.gob.ec/geopedologia>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC] (2022). Manual del encuestador y supervisor “Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC” 2022. Quito. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Manual_ESPAC_2022.pdf
- Khalil, H. E., Schwartz, C., Hamiani, O. E., Kubiniok, J., Morel, J., & Boularbah, A. (2012). Distribution of major elements and trace metals as indicators of technosolisation of urban and suburban soils. *Journal of Soils and Sediments*, 13(3), 519-530. <https://doi.org/10.1007/s11368-012-0594-x>
- Koda, E. y Osinski, P. (2011). Control de la erosión de taludes mediante el uso de cenizas volantes y lodos de depuradora. *Anales de la Universidad de Ciencias de la Vida de Varsovia-SGGW. Recuperación de Tierras*, 43 (2). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012.73532013000300016
- Komínková, D. (2016). Environmental Impact Assessment and Application — Part 1 ☆. En Elsevier eBooks. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09718-9>
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. L., Coomes, O. T., Dirzo, R., Fischer, G., Folke, C., George, P. M., Homewood, K., Imbernon, J., Leemans, R., Li, X., Moran, E. F., Mortimore, M., Ramakrishnan, P. S., Richards, J. R.,

- . . . Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change-human and Policy Dimensions*, 11(4), 261-269. [https://doi.org/10.1016/s0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/10.1016/s0959-3780(01)00007-3)
- Laurance, W. F., Sayer, J., & Cassman, K. G. (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology and Evolution*, 29(2), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Liu, H., Xing, L., Wang, C., & Zhang, H. (2022). Sustainability assessment of coupled human and natural systems from the perspective of the supply and demand of ecosystem services. *Frontiers in Earth Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.1025787>
- Liu, W., Yang, Z., Ye, Q., Peng, Z., Zhu, S., Chen, H., Liu, D., Li, Y., Deng, L., Shu, X., & Huang, H. (2023). Positive Effects of Organic Amendments on Soil Microbes and Their Functionality in Agro-Ecosystems. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(22), 3790. <https://doi.org/10.3390/plants12223790>
- Lozano, D. L. Z. (2021). Análisis multitemporal y predictivo del cambio de uso del suelo y pérdida de cobertura vegetal. *Revista de Investigación Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(3), 81. <https://doi.org/10.25127/ucni.v2i3.607>
- MAE-MAGAP, (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental 2013 – 2014, escala 1:100.000. http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/metodologia_coberturas_16122015.pdf
- Malek, Ž., Douw, B., Van Vliet, J., Van Der Zanden, E. H., & Verburg, P. H. (2019). Local land-use decision-making in a global context. *Environmental Research Letters*, 14(8), 083006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab309e>
- Martínez, R. (2009). Sistemas de producción agrícola sostenible. *Revista tecnología en Marcha*, 22(2), 23-29. <https://www.researchgate.net/publication/277808317>.
- Mekuria, W., Gedle, A., Tesfaye, Y., & Phimister, E. (2023). Implications of changes in land use for ecosystem service values of two highly eroded watersheds in Lake Abaya Chamo Sub-Basin, Ethiopia. *Ecosystem Services*, 64, 101564. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101564>
- Mengistu, D., & Salami, A. T. (2007). Application of remote sensing and GIS inland use/land cover mapping and change detection in a part of south western Nigeria. *African Journal*

of Environmental Science and Technology, 1(5), 99-109.
<https://doi.org/10.5897/ajest.9000008>

- Merladet, E. P. (2016). Evaluación de impacto ambiental en el plano de inundación del río “Yara” en el tramo urbano del municipio “Yara”. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(1), 59-71.
- Milera, M. (2013). Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente. *Avances en investigación Agropecuaria*, 17(3), 7-24.
- Ministerio del Ambiente. (2013). Beneficios del Manejo Sostenible de la Tierra, / Quito - Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/06>
- Montoya, R., García, J. C., & Padilla, J. (2004). Utilización de un SIG para la determinación del impacto ambiental generado por actividades agrícolas, ganaderas e industriales: el caso del Valle Zapotitlán en la Reserva de la Biosfera de Tehuacán Cuicatlán. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (38). <https://bage.age-geografia.es/ojs/index.php/bage/article/view/485>
- Nájera, O., Bojórquez, J. I., Cifuentes, J. L., & Marcelleño, S. (2010). Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Revista Biociencias*, 1(1), 19-29. <https://doi.org/10.15741/revbio.01.01.03>
- Nath, P. C., Kurmi, B., Bania, J. K., & Hazarika, A. (2023). Land Use Change and Soil Organic Carbon Dynamics: A case study with Institutional Establishment. *Acta Ecologica Sinica*. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.07.010>
- Parra, L., Ruiz Rivera, M. y Ruiz Lizama, E. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero. *Datos industriales*, 18 (2), 99-112. <https://doi.org/10.15381/idata.v18i2.12102>
- Peralta, E., N. Mazón, L. Minchala., M. Guamán. 2013. Fréjol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) y Arveja (*Pisum sativum* L.) en las provincias de Cañar, Azuay y Loja: cultivo, variedades y costos de producción. *Publicación Miscelánea No. 413. Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos. Estación Experimental Santa Catalina y Estación Experimental del Austro. INIAP. Quito/Gualaceo, Ecuador. 72 p.* <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30280.11524>

- Pérez, C. S., Castro, D. C., Ramírez, K. A., Cuervo, L. P., & Upegui, E. (2019). Crecimiento urbano e impermeabilización del suelo alrededor de la reserva forestal Thomas van der Hammen, en la ciudad de Bogotá. *Ambiente y Desarrollo*, 23(44). <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd23-44.cuis>
- Pérez, J. L. (2017). Identificación y evaluación de impactos ambientales en el Campus Ciudad Universitaria, Universidad Autónoma del Estado de México, Cerro de Coatepec, Toluca México. *Acta Universitaria*. <https://doi.org/10.15174/au.2017.1249>
- Pérez, J. L. (2021). Estudio de los procesos de cambio de uso del suelo en México. Fundamentos teóricos y metodológicos (1.a ed.). CLAVE Editorial. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/109937>
- Popp, A., Calvin, K., Fujimori, S., Havlik, P., Humpenöder, F., Stehfest, E., Bodirsky, B. L., Dietrich, J. P., Doelmann, J. C., Gusti, M., Hasegawa, T., Kyle, P., Obersteiner, M., Tabeau, A., Takahashi, K., Valin, H., Waldhoff, S., Weindl, I., Wise, M., . . . Van Vuuren, D. P. (2017). Land-use futures in the shared socio-economic pathways. *Global Environmental Change*, 42, 331-345. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.002>
- Prather, C. M., Huynh, A., & Pennings, S. C. (2017). Woody structure facilitates invasion of woody plants by providing perches for birds. *Ecology and evolution*, 7(19), 8032–8039. <https://doi.org/10.1002/ece3.3314>
- Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S., & Yang, S. (2023). Assessing current and future soil erosion under changing land use based on INVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China. *International Soil and Water Conservation Research*. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.07.001>
- Sanchez, M. (2015). Ecuador: Revisión a las principales características del recurso forestal y de la deforestación. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1), 41-54. <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i1.70>
- Sierra, R., Calva, O., y Guevara, A. (2021). La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible. Quito, Ecuador. 216 pp. https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestacio%CC%81n_Ecuador

- Reyes, S., Cristóbal-Acevedo, D., Acosta, E. H., & Lozano, J. L. R. (2019). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 201-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
- Romero, A. M., & Galán, Á. L. (2014). LA BIOMASA DE LOS CULTIVOS EN EL AGROECOSISTEMA. SUS BENEFICIOS AGROECOLÓGICOS. *Cultivos Tropicales*, 35(1), 11-20. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v35n1/ctr02114.pdf>
- Ruiz, T. E., Febles, G., Jordán, H., & Castillo, E. (2005). Las leguminosas: sus posibilidades para implantar sistemas ganaderos sostenibles. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39, 501-514. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017842010>
- Rutebuka, J., Munyeshuli Uwimanzi, A., Nkundwakazi, O., Mbarushimana Kagabo, D., Mbonigaba, J. J. M., Vermeir, P., & Verdoodt, A. (2021). Effectiveness of terracing techniques for controlling soil erosion by water in Rwanda. *Journal of environmental management*, 277, 111369. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111369>
- Santorufu, L., Memoli, V., Panico, S. C., Esposito, F., Vitale, L., Di Natale, G., Trifuoggi, M., Barile, R., De Marco, A., & Maisto, G. (2021). Impact of anthropic activities on soil quality under different land uses. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8423. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168423>
- Tappeiner, U., Leitinger, G., Tappeiner, U., & Tasser, E. (2012). SPA-LUCC: Developing landuse/cover scenarios in mountain landscapes. *Ecological Informatics*, 12, 68-76. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.09.002>
- Tarducci, R. R., Cortizo, D. E., & Frediani, J. C. (2021). Problemáticas urbano ambientales en torno a la expansión urbana en el Partido de la Plata, Buenos Aires, Argentina. *Revista Universitaria de Geografía*, 30(2). <https://doi.org/10.52292/j.rug.2021.30.2.0025>
- Taye, G., Teklesilassie, T., Teka, D., & Kassà, H. (2023). Assessment of soil erosion hazard and its relation to land use land cover changes: case study from Alage Watershed, Central Rift Valley of Ethiopia. *Heliyon*, 9(8), e18648. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18648>
- Teck, V., Poortinga, A., Riano, C., Dahal, K., Legaspi, R. M. B., Ann, V., & Chea, R. (2023). Land use and land cover change Implications on agriculture and Natural Resource Management of Koah Nheaek, Mondulkiri Province, Cambodia. *Remote Sensing*

- Applications: Society and Environment, 29, 100895.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100895>
- Teshome, D. S., Moisa, M. B., Gemed, D. O., & Suning, Y. (2022). Effect of Land Use-Land Cover change on soil erosion and sediment yield in Muger Sub-Basin, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Land*, 11(12), 2173. <https://doi.org/10.3390/land11122173>
- Tonne, C., Adair, L. S., Adlakha, D., Anguelovski, I., Belesova, K., Berger, M., Brelsford, C., Dadvand, P., Dimitrova, A., Giles-Corti, B., Heinz, A., Mehran, N., Nieuwenhuijsen, M., Pelletier, F., Ranzani, O. T., Rodenstein, M., Rybski, D., Samavati, S., Satterthwaite, D., . . . Adli, M. (2021). Defining pathways to healthy sustainable urban development. *Environment International*, 146, 106236. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106236>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L. E., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., & Whitbread, A. (2012). Global food Security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53-59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>
- Vadrevu, K. P., & Ohara, T. (2020). Focus on land use cover changes and environmental impacts in South/Southeast Asia. *Environmental Research Letters*, 15(10), 100201. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb5cb>
- Villate, C. A., & Cortés, F. (2018). Las perchas para aves como estrategia de restauración en la microcuenca del río La Vega, Tunja, Boyacá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 42(164), 202-211. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.625>
- Wei, W., Feng, X., Yang, L., Chen, L., Feng, T., & Chen, D. (2019). The effects of terracing and vegetation on soil moisture retention in a dry hilly catchment in China. *The Science of the total environment*, 647, 1323–1332. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.037>
- Woldemariam, G. W., & Harka, A. E. (2020). Effect of land use and land cover change on soil erosion in Erer Sub-Basin, northeast Wabi Shebelle Basin, Ethiopia. *Land*, 9(4), 111. <https://doi.org/10.3390/land9040111>
- Xiang, W. N. y Clarke, K. C. (2003). The use of scenarios in landuse planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(6), 885-909. <http://dx.doi.org/10.1068/b2945>

- Yamashita, T., Flessa, H., John, B., Helfrich, M., & Ludwig, B. (2006). Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use. *Soil Biology & Biochemistry*, 38(11), 3222-3234. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.04.013>
- Yang, T., Siddique, K. H. M., & Liu, K. (2020). Cropping systems in agriculture and their impact on soil Health-A review. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01118. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01118>
- Zeren, I., Varol, T., Ozel, H. B., & Sevik, H. (2023). The effects of climate on land use/cover: a case study in Turkey by using remote sensing data. *Environmental science and pollution research international*, 30(3), 5688–5699. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22566-z>
- Zewdie, W., & Csaplovics, E. (2015). Remote sensing based multi-temporal land cover classification and change detection in northwestern Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing*, 48(1), 121-139. <https://doi.org/10.5721/eujrs20154808>
- Zhou, T., Liu, H., Gou, P., & Xu, N. (2023). Conflict or Coordination? measuring the relationships between urbanization and vegetation cover in China. *Ecological Indicators*, 147, 109993. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109993>
- Zhuang, Q., Shao, Z., Li, D., Huang, X., Li, Y., Altan, O., & Wu, S. (2023). Impact of global urban expansion on the terrestrial vegetation carbon sequestration capacity. *Science of The Total Environment*, 879, 163074. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163074>

11. Anexos

Anexo 1. Nivel de precisión de la clasificación de 1985.

Clases	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	Total	Exactitud Usuario	Error_C
C_1	26	2	0	0	0	0	0	28	0,93	0,07
C_2	0	17	3	0	0	0	0	20	0,85	0,15
C_3	2	4	31	2	0	0	0	39	0,79	0,21
C_4	0	0	0	8	0	0	0	8	1,00	0,00
C_5	0	0	0	0	2	0	0	2	0,00	1,00
C_6	0	0	0	0	0	2	0	2	1,00	0,00
C_7	0	0	0	0	0	0	1	1	1,00	0,00
Total	28	23	34	10	2	2	1	100		
Exactitud Productor	0,93	0,74	0,91	0,80	1,00	1,00	1,00	Fiabilidad global		0,87
Error_O	0,07	0,26	0,09	0,20	0,00	0,00	0,00	Índice Kappa		0,82

Nota. C_1: Bosque, C_2: Vegetación Arbustiva/Herbácea, C_3: Pastizales, C_4: Zonas de Cultivo, C_5: Otras tierras, C_6: Zona antrópica, C_7: Nubes.

Anexo 2. Nivel de precisión de la clasificación de 2023.

Clases	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	Total	Exactitud Usuario	Error_C
C_1	20	1	0	0	0	0	0	21	0,95	0,05
C_2	0	19	1	0	0	0	0	20	0,95	0,05
C_3	1	5	27	0	0	0	0	33	0,82	0,18
C_4	0	0	0	14	2	0	0	16	0,88	0,13
C_5	0	0	0	1	5	0	0	6	0,00	1,00
C_6	0	0	0	0	0	3	0	3	1,00	0,00
C_7	0	0	0	0	0	0	1	1	1,00	0,00
Total	21	25	28	15	7	3	1	100		
Exactitud Productor	0,95	0,76	0,96	0,93	0,71	1,00	1,00	Fiabilidad global		0,89
Error_O	0,05	0,24	0,04	0,07	0,29	0,00	0,00	Índice Kappa		0,84

Nota. C_1: Bosque, C_2: Vegetación Arbustiva/Herbácea, C_3: Pastizales, C_4: Zonas de Cultivo, C_5: Otras tierras, C_6: Zona antrópica, C_7: Nubes.

Anexo 3. Puntos de verificación de las clasificaciones de cobertura y uso del suelo.

PUNTOS	Año 1985		Año 2023	
	X_Coord	Y_Coord	X_Coord	Y_Coord
1	607024	9555476	587147	9551552
2	595530	9564441	602211	9552155
3	583943	9553620	601129	9552297

4	598821	9563056	613398	9552414
5	600814	9550882	587329	9552581
6	614890	9566209	588594	9552980
7	584359	9557838	591852	9553234
8	603505	9564987	585019	9553666
9	607291	9557981	620316	9553754
10	589218	9553478	611027	9553788
11	584336	9560360	580848	9554370
12	586630	9560926	612484	9554415
13	616389	9569739	595587	9554793
14	607139	9566633	596747	9555054
15	619378	9558457	593939	9555149
16	605660	9569403	610943	9555417
17	610966	9558569	603432	9555437
18	599999	9559460	607543	9555510
19	613975	9569646	584223	9555518
20	607941	9570758	601190	9555663
21	594680	9559401	616927	9555955
22	605796	9555135	615369	9556126
23	616197	9566333	623147	9556165
24	621203	9556704	589362	9556216
25	593123	9560146	605445	9556310
26	580807	9556429	597004	9556350
27	587132	9552974	594194	9556368
28	593382	9558007	607718	9556481
29	607576	9561796	609439	9556610
30	613433	9552892	591856	9556647
31	596359	9560652	584307	9556987
32	590132	9563678	606709	9557247
33	605761	9568095	611887	9557251
34	604562	9566925	599219	9557269
35	615810	9560099	582505	9557396
36	601433	9562010	603343	9557915
37	584637	9554838	610396	9558495
38	617577	9562110	598608	9558501
39	603052	9562375	621342	9558573
40	597488	9556967	596377	9558638
41	603263	9567724	595220	9558643
42	602817	9557550	600943	9558659
43	604028	9554518	617927	9558814
44	613894	9568300	587152	9558918
45	612956	9571209	597268	9559341
46	614150	9556609	584009	9559366
47	585402	9552932	617097	9559649
48	608411	9563048	602113	9559758
49	597692	9568230	607004	9560022
50	598873	9567762	620894	9560115
51	603365	9563918	605492	9560172

52	599930	9563077	593629	9560640
53	604557	9568580	592628	9561110
54	620683	9553779	587994	9561231
55	609901	9560365	590509	9561231
56	602731	9560620	601451	9561254
57	601825	9568829	620365	9561325
58	595278	9563391	595761	9561676
59	611709	9550288	611835	9561710
60	598997	9566442	586224	9561791
61	601734	9565832	591382	9562055
62	591505	9559618	594392	9562106
63	616146	9561343	605215	9562757
64	611924	9554706	615276	9562848
65	599619	9550634	597282	9563077
66	591887	9556390	588607	9563211
67	587369	9562955	593400	9563285
68	606377	9571648	602068	9563376
69	590014	9560670	617651	9563461
70	606568	9562096	595297	9563537
71	601655	9556109	599367	9563546
72	598773	9555340	616348	9563746
73	600240	9556020	603175	9563762
74	605450	9556513	618415	9564170
75	610463	9566072	620679	9564249
76	598827	9558394	592750	9564281
77	608924	9554777	601105	9564531
78	600331	9569434	599786	9564629
79	608676	9569811	598571	9564645
80	612402	9560419	595671	9564997
81	614943	9567990	619907	9565015
82	594919	9558221	606038	9565187
83	589864	9561941	602910	9565258
84	597806	9559705	615421	9566175
85	594130	9561263	596671	9566386
86	593866	9565747	612636	9566661
87	585993	9551644	605582	9566842
88	586212	9556064	606932	9567136
89	579652	9555408	600142	9567159
90	613578	9551098	616397	9567236
91	588989	9557718	604327	9567411
92	610426	9564633	610346	9567670
93	618745	9560257	603326	9567719
94	605016	9559558	609022	9568048
95	610907	9568954	607806	9568554
96	613751	9565120	616515	9568837
97	612442	9559187	604937	9569120
98	596631	9564225	602946	9569842
99	601781	9551596	609425	9569943

100	621981	9555860	615580	9569990
------------	--------	---------	--------	---------

Anexo 4. Matriz de transición de cambios de uso del suelo.

Clases	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	Superficie pérdida
C_1	17006,44	1816,18	7932,14	828,26	13,93	14,51	10605,02
C_2	2442,76	1432,31	4165,58	907,08	3,98	11,99	7531,39
C_3	3799,74	1956,98	14108,76	2837,08	29,66	102,17	8725,64
C_4	245,70	310,34	1558,95	919,23	21,57	21,09	2157,65
C_5	6,36	10,05	28,67	23,36	18,08	1,55	69,98
C_6	1,87	0,39	3,61	3,95	0,55	56,70	10,37
Superficie ganada	6496,42	4093,94	13688,94	4599,72	69,68	151,32	29100,04

Nota. C_1: Bosque, C_2: Vegetación Arbustiva/Herbácea, C_3: Pastizales, C_4: Zonas de Cultivo, C_5: Otras tierras, C_6: Zona antrópica.

Anexo 5. Proceso de valoración de impactos.

VALORACION CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS		Intensidad	Extensión	Momento	Persistencia	Reversibilidad	Sinergia	Acumulación	Efecto	Periodicidad	Recuperación	Signo	Importancia
Tierra agropecuaria	Eliminación de la cobertura vegetal	12	8	2	2	2	2	4	1	4	2	(-)	71
	Expansión de la frontera agropecuaria	12	8	2	2	2	2	4	4	4	2	(-)	74
	Reducción de la biodiversidad	8	2	3	2	2	2	4	1	4	4	(-)	50
	Degradación del suelo	12	8	2	2	2	2	4	4	4	2	(-)	74
	Intensificación de monocultivos	12	8	2	2	2	2	4	4	4	2	(-)	74
	Conflicto por el uso del suelo	12	4	2	2	2	2	4	4	4	4	(-)	68
Zona antrópica	Modificación de la capacidad de uso del suelo	12	4	2	4	4	2	4	4	4	4	(-)	72
	Eliminación de la cobertura vegetal	12	8	2	2	2	2	4	4	4	2	(-)	74

Otras tierras (Suelo desnudo)	Sellado de suelo por urbanización	12	8	2	4	4	4	4	4	4	8	(-)	86
	Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización)	12	8	2	4	4	4	4	4	4	8	(-)	86
	Incremento de los procesos de erosión	2	2	2	2	2	4	4	4	4	2	(-)	34
	Inestabilidad de taludes (Deslizamientos)	2	2	2	2	2	2	4	1	2	4	(-)	29
	Eliminación de la cobertura vegetal	4	2	2	2	2	2	4	4	2	2	(-)	36
	Expansión de la frontera agropecuaria	4	2	2	2	2	2	4	4	4	2	(-)	38
	Expansión de la frontera antrópica (Vías, urbanización)	2	2	2	4	4	4	4	4	4	8	(-)	44

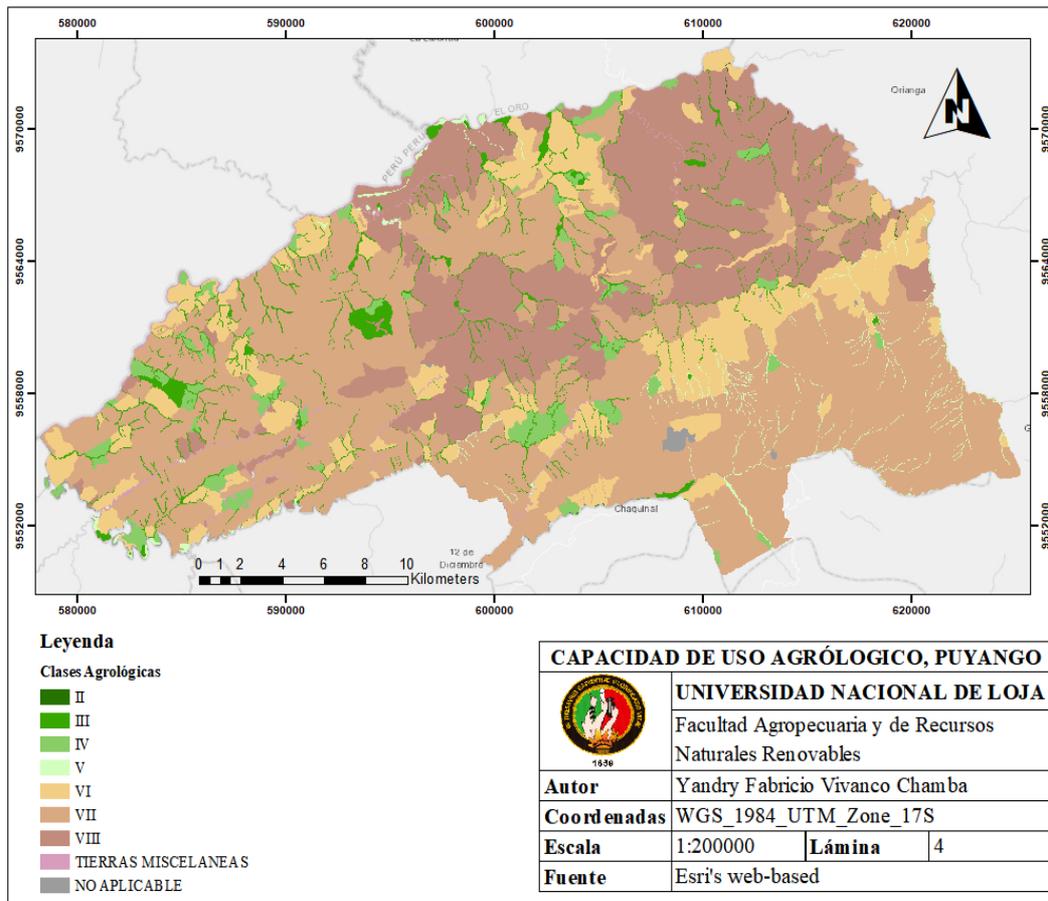
Nota. Valoración de impactos de la parroquia Alamor.

Anexo 6. Variación de superficie a nivel parroquial.

Coberturas y usos del suelo	ALAMOR		CIANO		EL ARENAL		EL LIMO		MERCADILLO		VICENTINO	
	1985	2023	1985	2023	1985	2023	1985	2023	1985	2023	1985	2023
Bosque	9175,56	6793,61	4014,63	3347,80	1308,30	1232,76	9619,76	9459,16	1675,53	898,08	2038,41	1898,48
Vegetación arbustiva/herbácea	3627,69	2333,64	1091,19	728,99	386,74	244,39	2430,59	1602,22	290,02	163,19	1183,29	538,20
Pastizales	9597,80	11949,03	2678,33	3402,50	960,22	1293,87	6699,27	6953,68	793,07	1410,31	2257,22	3028,47
Zonas de cultivo	1289,42	2580,61	280,36	575,10	15,88	72,67	1461,25	2211,09	0,58	19,36	38,64	72,45
Otras tierras	44,13	27,93	1,74	18,04	0,00	9,07	51,06	53,34	0,00	1,06	0,00	3,50
Cuerpos de agua	72,29	49,11	26,06	12,53	0,00	0,02	109,59	80,96	0,00	0,00	0,00	0,00
Zona antrópica	41,45	136,93	8,94	20,52	2,29	6,62	8,27	19,35	5,80	16,65	5,17	8,48
Nubes	22,59	0,09	4,23	0,00	185,95	0,00	0,00	0,00	22,57	278,92	150,75	123,89

Nota. Unidad de medida: hectáreas [ha]

Anexo 7. Clases agrológicas del cantón Puyango.

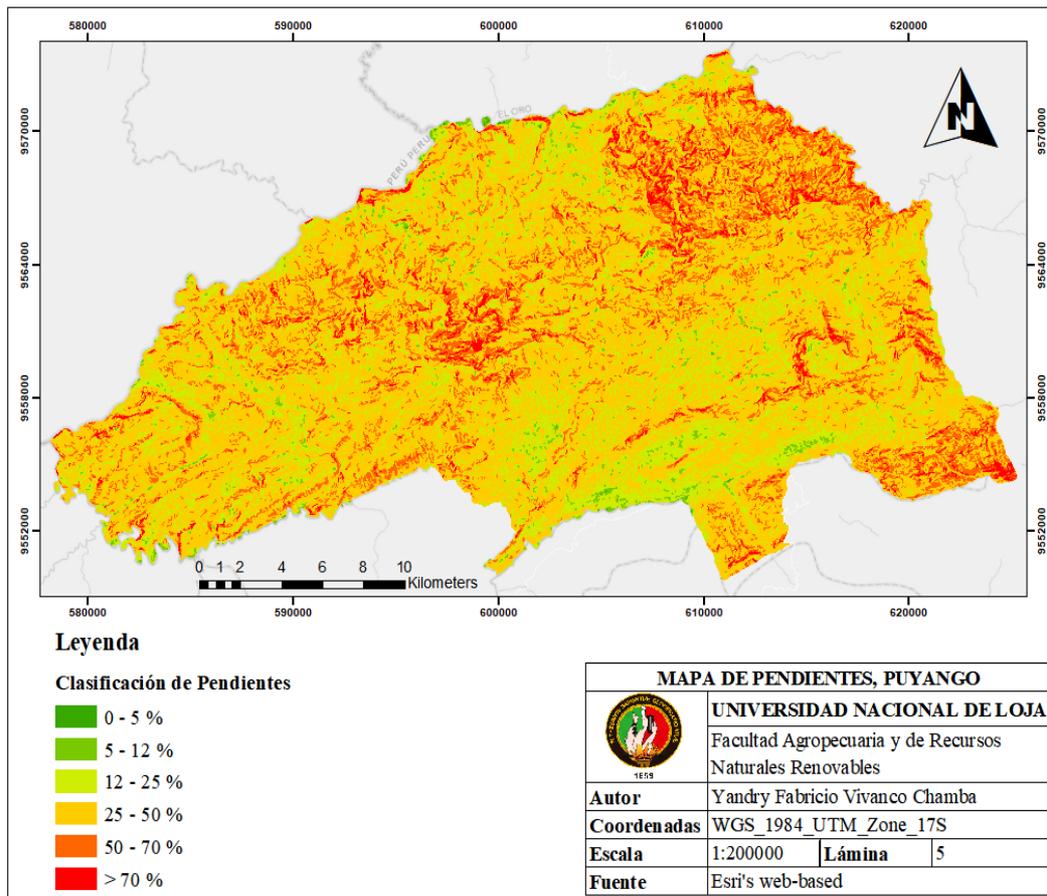


Anexo 8. Clases agrológicas a nivel parroquial.

Clases agrológicas	AL	CN	AR	LM	MC	VC	Total
II	2,78	9,6	0	0,09	0	4,87	17,35
III	863,32	257,2	39,71	1264,17	0	20,81	2445,21
IV	1012,04	116,43	74,54	965,56	0	27,63	2196,2
NO APLICABLE	141,8	6,42	2,66	81,59	8,38	3,75	244,6
TIERRAS MISCELANEAS	134,86	46,09	0,00	274,42	0,00	8,33	463,70
V	254,54	3,62	66,70	91,82	82,61	202,55	701,86
VI	3519,56	431,04	972,58	2984,24	38,76	1217,73	9163,91
VII	11554,18	912,77	1616,08	11890,96	2657,81	3803,52	32435,33
VIII	6387,86	6322,31	87,12	2826,94	0,00	384,28	16008,50
Total	23870,95	8105,49	2859,39	20379,79	2787,57	5673,47	63676,66

Nota. Unidad de medida: hectáreas [ha]

Anexo 9. Clasificación de pendientes del cantón Puyango.

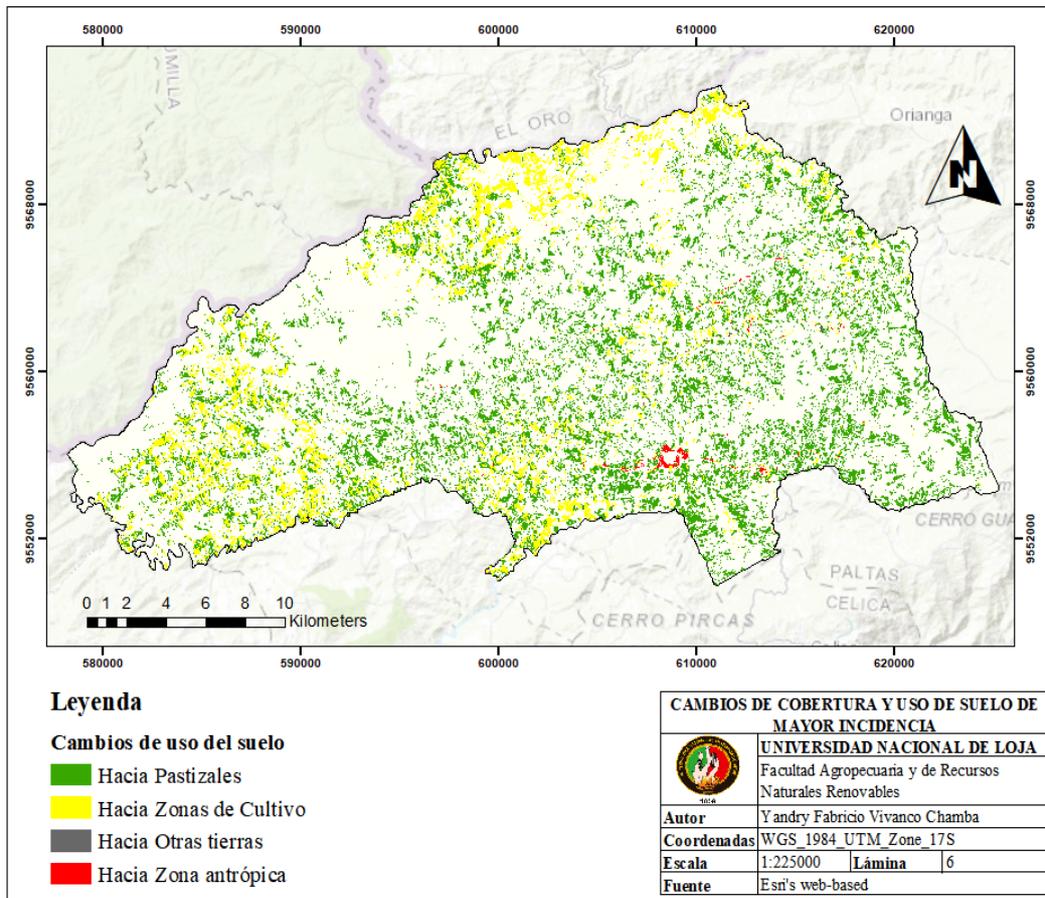


Anexo 10. Clasificación de pendientes a nivel parroquial.

Pendiente [%]	AL	CN	AR	LM	MC	VC	Total
0-5	19,61	0,83	1,31	3,34	0,00	1,39	26,48
5-12	444,65	35,52	41,02	195,66	54,39	21,28	792,53
12-25	5649,02	603,75	697,67	3438,64	670,44	824,99	11884,51
25-50	14445,09	4792,26	1762,40	13268,95	1628,97	3549,02	39446,70
50-70	2650,92	2078,30	277,56	2931,05	368,46	1012,20	9318,48
>70	661,66	594,82	79,42	542,15	65,30	264,60	2207,95
Total	23870,95	8105,49	2859,39	20379,79	2787,57	5673,47	63676,66

Nota. Unidad de medida: hectáreas [ha]

Anexo 11. Cambios de uso del suelo con mayor intensidad.



Anexo 12. Registro fotográfico del levantamiento de información en campo.



Anexo 13. Certificado de traducción del Abstract

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Zamora, 27 de Mayo de 2024

La suscrito, Lic. Adriana Nichol Soto Soto, **DOCENTE DE INGLÉS DE LA UNIDAD EDUCATIVA “12 de Febrero”**, a petición de la parte interesada y en forma legal,

CERTIFICA:

Que, la traducción del documento adjunto solicitado por la Sr. Yandry Fabricio Vivanco Chamba, con cédula de ciudadanía nro. 1105540866, cuyo tema de investigación se denomina: **“Valoración de impactos ambientales a escala espacio-temporal generados por el cambio de uso de suelo en el cantón Puyango, Loja”**, ha sido revisado y aprobado por mi persona Lic. Adriana Nichol Soto Soto, Docente de educación mención Inglés con registro de senescyt No. 1008-2016-1748836 y certificado FCE B2.

El apartado del Abstract es una traducción textual del resumen aprobado en español.

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes facultando al portador del presente documento hacer el uso legal pertinente.

Atentamente,



Adriana Nichol Soto Soto

C.I: 0704414820

EFL Teacher