



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

**ANALISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO
QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniera Ambiental

Autora:

Shigui Lema Kerly Dayanna

Tutor:

Rivera Moreno Marco Antonio

LATACUNGA – ECUADOR

Febrero 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Shigui Lema Kerly Dayanna, con cédula de ciudadanía No. 050464969-0, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”**, siendo el Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 13 de febrero del 2025



Kerly Dayanna Shigui Lema
C.C: 050464969-0
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **SHIGUI LEMA KERLY DAYANNA**, identificada con cédula de ciudadanía **050464969-0** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de INGENIERÍA AMBIENTAL, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre2020 – Marzo 2021

Finalización de la carrera: Octubre2024 – Marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 29 de febrero del 2024 Tutor:

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Tema“**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.**”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.

- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 13 días del mes de febrero del 2025.



Kerly Dayanna Shigui Lema

LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.

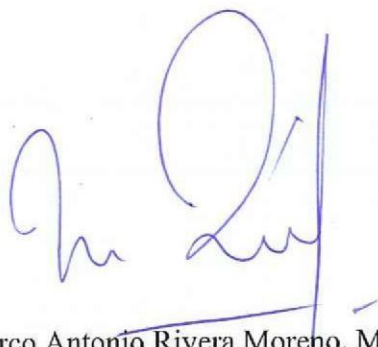
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”, de Shigui Lema Kerly Dayanna, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 13 de febrero del 2025



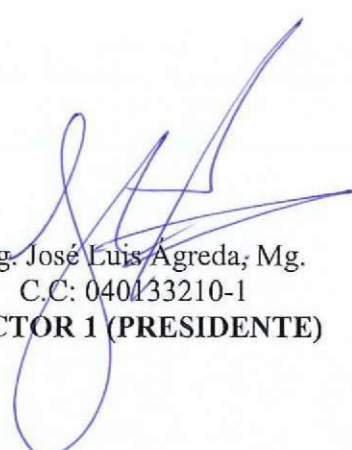
Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.
C.C: 050151895-5
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN


En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Shigui Lema Kerly Dayanna, con el título del Proyecto de Investigación: “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

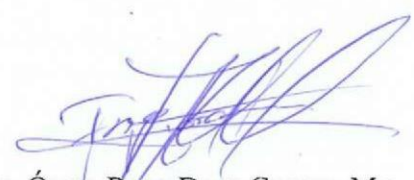
Latacunga, 13 de febrero del 2025



Ing. José Luis Agreda, Mg.
C.C: 040133210-1
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Lcdo. Jaime Rene Lema Pillalaza, Mg.
C.C: 171375993-2
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Óscar Rene Daza Guerra, Mg.
CC: 040068979-0
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por darme la vida y permitirme seguir aquí y compartir con mi familia.

Agradecer a mi madre y a su pareja, por todo el apoyo moral y económico que me han dado a lo largo de todos estos años, especialmente a mi madre Luz Lema, no me a de alcanzar la vida para agradecer todo lo que hace por mi y mis hermanos, por confiar en mi y enseñarme el valor del estudio y del trabajo, enseñarme a ser una persona de bien hacerme entender que aunque no somos perfectos es correcto hacer y dar lo mejor de nosotros en cualquier cosa que hagamos. A mis hermanos Jahir, Elly y Deyvid por sacarme sorisas en momentos de angustia, por apoyarme y acompañarme en cada pasito que doy.

Finalmente agradecer a toda mi familia, a mi padre que habito conmigo una parte de su vida y a todas las personas que estuvieron a mi lado apoyándome en este largo proceso y durate los malos momento que tuvimos que pasar antes de que esto se hicira posible.

Un dios le pague a todos!

- **Dayus**

DEDICATORIA

A mi “Mamisita” que mas que mi madre es como mi heramana, le dedico este y cada pequeño y gran logro que obtenga, porque sin ella nada de esto fuese posible. A mis 3 hermanos el “Nonito”, la “Illico” y el “Alda” que son todo para mi y me dan razones para seguir adelante. A mi Abuelita que es mi ser de luz, que me han acompañado en cada pasito, me protege y me da las fuerzas suficientes para seguir adelante.

- *Dayus*

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL (2013 AL 2023) DE LA PARROQUIA BELISARIO QUEVEDO, CANTON LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI.”

Autor:
Shigui Lema Kerly Dayanna

RESUMEN

En los últimos años, se ha observado cambios significativos en la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo, ubicada en el cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Estos cambios han sido ocasionados por diversos factores asociados a la intervención humana, tales como la deforestación, la expansión, la sobreexplotación agrícola y el crecimiento poblacional. El proyecto de investigación tuvo como objetivo analizar la evolución de la cobertura vegetal en el periodo 2013-2023 mediante el uso de herramientas de teledetección para comprender patrones y tendencias de cambio a lo largo del tiempo. Para el análisis, se emplearon imágenes satelitales y se aplicó el método Corine Land Cover, complementado con la matriz de confusión y la clasificación supervisada. La cobertura vegetal se divide en 5 clases: tierras herbáceas, tierras arbustivas, tierras agropecuarias, suelo sin cobertura vegetal y zonas antrópicas. Los datos fueron procesados mediante el software ArcGIS. Los resultados muestran una reducción significativa de las tierras herbáceas, que pasaron de 1689 Ha a 526,49 Ha, lo que representa una pérdida del 23,36%. Asimismo, el suelo sin cobertura vegetal disminuyó de 941 Ha a 475,14 Ha, con una reducción del 9,36%. En contraste, se registró un incremento en las tierras arbustivas, que aumentaron de 203,2 Ha a 279,34 Ha que representa una ganancia del 1,53%, en las zonas antrópicas, que crecieron de 202,8 Ha a 740,50 Ha con el 10,58% de ganancia, finalmente, en las tierras agropecuarias, cuya extensión pasó de 1940 Ha a 2954,51 Ha, representando un aumento del 20,39% en el periodo de estudio. Se concluye que la expansión agropecuaria ha sido el principal factor de cambio en la cobertura vegetal de la parroquia, debido a que constituye un sector productivo dedicado principalmente a la agricultura y la ganadería como fuente de ingresos económicos. Por ello, se evidencia la necesidad de implementar estrategias de conservación de suelos, mitigación y prácticas de agricultura sostenible, con el fin de reducir la pérdida de vegetación y promover un equilibrio ecosistémico.

Palabras clave: Cambio climático, clasificación, servicios ecosistémicos, SIG, sostenibilidad

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “DETALLAR EN MAYÚSCULAS Y ENTRE COMILLAS EL TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN”

Author:
Apellidos y Nombres completos del estudiante

ABSTRACT

In recent years, significant changes in vegetation cover have been observed in Belisario Quevedo parish, located in Latacunga canton, Cotopaxi province. These changes have been caused by various factors associated with human intervention, such as deforestation, expansion, agricultural overexploitation, and population growth. The research project aimed to analyze the evolution of vegetation cover in 2013-2023 using remote sensing tools to understand patterns and trends of change over time. For the analysis, satellite images were used, and the Corine Land Cover method was applied, along with the confusion matrix and supervised classification. Vegetation cover was categorized into five classes: herbaceous land, shrub land, agricultural land, soil without vegetation cover, and anthropogenic zones. Data processing was carried out using ArcGIS software. The results show a significant reduction in herbaceous land, decreasing from 1689 Ha to 526,49 Ha, representing a 23,36% loss. Similarly, land without vegetation cover declined from 941 Ha to 475,14 Ha, marking a 9.36% reduction. In contrast, shrub lands increased from 203,2 Ha to 279,34 Ha, representing a 1,53% gain, anthropogenic areas expanded from 202,8 Ha to 740,50 Ha with a 10,58% gain, while agricultural lands increased from 1940 Ha to 2954,51 Ha, representing an increase of 20,39% in the study period. In conclusion, agricultural expansion has been the primary driver of vegetation cover change in the parish, as the region is predominantly dedicated to agriculture and livestock as key sources of economic livelihood. Therefore, there is a need to implement soil conservation strategies, mitigation, and sustainable agricultural practices to reduce vegetation loss and promote an ecosystemic balance.

Keywords: Climate change, classification, ecosystem services, GIS, sustainability.

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | ii |
| CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR | iii |
| AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN | v |
| AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN | v |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> | vii |
| <i>DEDICATORIA</i> | viii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |

| | |
|---|---------------|
| INDICE DE CONTENIDO | xi |
| INDICE DE TABLAS | xv |
| INDICE DE FIGURAS | xvi |
| 1 INFORMACION GENERAL | 1 |
| 2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO | 2 |
| 3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO | 3 |
| 4 PROBLEMA DEL PROYECTO | 3 5 OBJETIVOS |
| | 4 |
| 5.1 Objetivo General: | 4 |
| 5.2 Objetivos Específicos | 4 |
| 6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS | 5 |
| 7 FUNDAMENTACION CIENTIFICATECNICA | 6 |
| 7.1 Biodiversidad | 6 |
| 7.2 Ecosistema | 6 |
| 7.3 Flora | 6 |
| 7.4 Fauna | 6 |
| 7.5 Cerro | 6 |
| 7.6 Importancia de un Cerro | 7 |
| 7.7 Característica de los cerros | 7 |
| 7.8 Cobertura vegetal | 8 |
| 7.9 Cambios de cobertura vegetal en los cerros | 8 |
| 7.10 Teledetección | 9 |
| 7.11 Importancia de la teledetección | 10 |
| 7.12 Índice de vegetación | 10 |
| 7.13 Imágenes satelitales | 10 |
| 7.14 Modelo Digital de Elevación (DEM) | 11 |
| 7.15 Software | 11 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.16 | ArcGIS | 11 |
| 7.17 | USGS Earth Explorer | 12 |
| 7.18 | Mapas cartográficos | 12 |
| 7.19 | Sistema de información geográfica | 12 |
| 7.20 | Clasificación de imágenes | 13 |
| 7.21 | Análisis multitemporal | 14 |
| 7.22 | Monitoreo de cambios en la cobertura vegetal | 14 |
| 7.23 | Uso de suelo | 14 |
| 7.24 | Clasificación del uso de suelo | 14 |
| 8 | VALIDACION DE LAS PREGUNTAS CIENTIFICAS | 15 |
| 9 | METODOLOGÍA | 16 |
| 9.1 | Área de estudio | 16 |
| 9.1.1 | CARACTERIZACION CLIMATICA | 17 |
| 9.2 | METODOS DE INVENSTIGACION | 18 |
| 9.2.1 | Método Bibliografico | 18 |
| 9.2.2 | Método descriptivo | 18 |
| 9.2.3 | Método cualitativo | 18 |
| 9.3 | MÉTODO CORINE LAND COVER | 19 |
| 9.4 | METODOLOGIA OBJETIVO 1 | 21 |
| 9.4.1 | Captura de datos | 21 |
| 9.4.2 | Adquisición imágenes LANDSAT | 21 |
| 9.4.3 | Clasificación de la cobertura vegetal nivel1/ asignación temática nivel1 | 24 |
| 9.5 | PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS | 24 |
| 9.5.1 | Combinación de bandas | 24 |
| 9.6 | PROCESAMIENTO DE DATOS | 25 |
| 9.6.1 | Recorte del área de estudio | 25 |
| 9.7 | POST-PROCESAMIENTO | 26 |
| 9.7.1 | Clasificación supervisada | 26 |

| | | |
|--------|---|----|
| 9.7.2 | EVALUACION DE EXACTITUD TEMATICA | 27 |
| 9.7.3 | Matriz de confusión | 28 |
| 9.7.4 | Índice de Kappa | 29 |
| 9.7.5 | Matriz de transición | 31 |
| 9.7.6 | Cálculo del cambio de la cobertura vegetal | 32 |
| 9.8 | METODOLOGIA DEL OBJETIVO 3 | 33 |
| 9.8.1 | METODO CARTOGRAFICO | 33 |
| 9.8.2 | ELABORACION DE MAPA CARTOGRAFICO | 33 |
| 10 | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 35 |
| 10.1 | ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL | 35 |
| 10.1.1 | Clasificación de la cobertura vegetal 2013 | 35 |
| 10.1.2 | Clasificación de la cobertura vegetal 2023 | 40 |
| 10.2 | Cambios de la cobertura vegetal entre el año 2013 y 2023 | 43 |
| 10.3 | Matriz de transición | 43 |
| 10.4 | Porcentaje y su dinámica de cambio de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo | 46 |
| 10.5 | Informaciones geográficas del cambio de cobertura vegetal | 49 |
| 10.6 | Mapas Cartograficos | 50 |
| 10.6.1 | Mapa Cartografico de la cobertura vegetal del año 2013 | 51 |
| 10.6.2 | Mapa Cartografico de la cobertura vegetal del año 2023 | 52 |
| 10.6.3 | Mapa Cartografico de las áreas que cambiaron | 53 |
| 10.6.4 | Mapa Cartografico de la las zonas que cambiaron y se mantuvieron | 54 |
| 11 | IMPACTOS SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS | 55 |
| 11.1 | Impactos sociales..... | 55 |
| 11.2 | Impactos ambientales | 55 |
| 11.3 | Impactos económicos | 56 |
| 12 | CONCLUSIONES | 56 |

| | |
|--------------------------|----|
| 13 RECOMENDACIONES | 57 |
| 14 BIBLIOGRAFIA | 58 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación | 3 |
| Tabla 2. Actividades relacionadas de acuerdo a los objetivos planteados..... | 5 |
| Tabla 3. Metadatos de las imágenes obtenidas..... | 22 |
| Tabla 4. Pre visualización y resumen de las principales características de las imágenes satelitales de la página USGS | 22 |
| Tabla 5. Clasificación de la cobertura y uso de tierras establecidas por el ministerio de agricultura | 24 |
| Tabla 6. Matriz de confusión | 28 |
| Tabla 7. Esquema del índice de Kappa..... | 30 |
| Tabla 8. Límite de valores de concordancia propuesto por Landis y Koch..... | 30 |
| Tabla 9. Matriz de transición para determinar los cambios de cobertura vegetal | 31 |
| Tabla 10. Esquema de la matriz a usarse para el cálculo de la cobertura vegetal | 33 |
| Tabla 11. Área total de la cobertura vegetal del año 2013 | 39 |
| Tabla 12. Matriz de confusión de la cobertura vegetal del año 2013..... | 40 |
| Tabla 13. Índice de Kappa..... | 40 |
| Tabla 14. Área total de la cobertura vegetal, año 2023..... | 43 |
| Tabla 15. Matriz de confusión del año 2023..... | 44 |
| Tabla 16. Índice de Kappa..... | 44 |
| Tabla 17. Matriz de transición entre el año 2013 y 2023 | 46 |
| Tabla 18. Áreas de cambio y conservación de la cobertura vegetal entre los años 2013 al 2023 | 49 |
| Tabla 19. Dinámica de cambio de cobertura vegetal del año 2013 al 2023..... | 50 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Espectro visible de las imágenes satelitales bajo el ojo humano | 9 |
| Figura 2. Mapa de Ubicación de la parroquia Belisario Quevedo..... | 17 |
| Figura 3. Esquema metodológica CLC para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo | 20 |
| Figura 4. Descarga de imágenes satelitales en Earth Explorer | 21 |
| Figura 5. Combinación de bandas mediante la herramienta “Imagen Analysis” | 25 |
| Figura 6. DEM recortado al tamaño del área de estudio. | 26 |
| Figura 7. Clasificación supervisada | 27 |
| Figura 8. Estándares de información geográfica | 34 |
| Figura 9. Cobertura vegetal del año 2013 y del año 2023 | 36 |
| Figura 10. Mapa de transición, 2013-2023. | 44 |
| Figura 11. Mapa del cambio y conservación de la cobertura vegetal del año 2013 al 2023 | 47 |
| Figura 12. Dinámica de la cobertura vegetal, ganancias y pérdidas de cobertura | 49 |

1 INFORMACION GENERAL

Título del Proyecto:

Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal (2013 al 2023) de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Fecha de inicio: 08 de abril del 2024 **Fecha de**

finalización: 20 de febrero del 2025

Lugar de ejecución:

Belisario Quevedo - Latacunga - Cotopaxi - Zona 3 - UTC

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Carrera que auspicia:

Ingeniería Ambiental

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Estudiante: Shigui Lema Kerly Dsyanna

Lector 1: Ing. José Ágrede, M.Sc.

Lector 2: Ing. Jaime Lema, Mg.

Lector 3: Ing. Óscar Daza, Mg.

Proyecto de investigación vinculado:

Área de Conocimiento:

Ciencias Forestales, Ciencias Naturales, Estadísticas, Ciencias sociales.

Línea de investigación:

Cambio climático, desarrollo urbano, Ordenamiento territorial, teledetección y sistemas de información integrados

2 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

El análisis de la dinámica de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo permite comprender los efectos de la actividad humana sobre el medio ambiente y sus consecuencias en los recursos naturales como la alteración de los ciclos hidrológicos y la estabilidad de los suelos (Domínguez et al., 2019). Belisario Quevedo cuenta con un alto índice de biodiversidad en sus tierras y sectores, principalmente en el Cerro Putzalahua, lugar que alberga una diversidad de vegetación, sin embargo, con el pasar de los años se proyecta un aumento de la población, cambiando así la cobertura vegetal natural por suelos con fines agrícolas, ganaderos o de construcciones.

Estudiar la cobertura vegetal y su cambio dinámico sirve para poder determinar las propiedades del suelo, la conservación de la biodiversidad y el funcionamiento del ecosistema (Giupponi et al., 2022), debido a que la vegetación interviene en la regulación del clima, protección de suelo, la flora y fauna, y conservación de la biodiversidad (Patiño et al., 2020). El análisis multitemporal ha sido fundamental en la determinación del cambio de cobertura vegetal a lo largo de los años, además, puede llegar a ser utilizado para recopilar y estudiar datos, comprendiendo sus patrones y cambios temporales (Hazas & Chiogna, 2023), proporcionando de esta manera información para la conservación, predicción de desastres y generación de estrategias de gestión sostenible (Morgan et al., 2020), y se complementa con la teledetección que permite extraer reflectancia espectral de las imágenes, la cual permite una clasificación precisa de la extracción de datos, en donde se incluye el análisis mediante el índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) para el monitoreo de la cobertura vegetal (Sekac et al., 2022), y un análisis multitemporal aparte aportan con la identificación de diferentes clases de vegetación y monitoreo de los cambios en la densidad de la vegetación (Santos et al., 2021).

El estudio se realizó con la finalidad de determinar el cambio que sufre la biodiversidad dentro del periodo de tiempo establecido, además este proporcionará información relevante sobre la disminución o recuperación de las áreas verdes, así mismo, servirá como herramienta para generar una base de datos de acceso abierto que sirva como referencia para futuras investigaciones y estudios ambientales del lugar, mediante el uso de SIG y el desarrollo de mapas comparativos que permitan evaluar tendencias a largo plazo, que fortalecerán la capacidad de análisis y seguimiento de los cambios ambientales de la parroquia.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Como beneficiarios directos del presente proyecto de investigación se puede considerar a los habitantes de la parroquia Belisario Quevedo, por otro lado los beneficiarios indirectos al proyecto de investigación son las personas del canton Latacunga. Según un censo realizado por el INEC (2010) se presenta el número de habitantes de la parroquia y del cantón respectivamente en la tabla 1.

Tabla 1. Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación

| | Hombres | Mujeres | Total |
|--------------------------|----------------|----------------|--------------|
| Belisario Quevedo | 2.991 | 3.368 | 6.359 |
| Latacunga | 82.301 | 88.188 | 170.489 |

4 PROBLEMA DEL PROYECTO

Ecuador es un país megadiverso de gran cobertura vegetal, sin embargo, a lo largo de los años esta ha sido deteriorada debido a diferentes factores. El país enfrenta diferentes desafíos entre los cuales se puede mencionar: deforestación, pastoreo excesivo, y el manejo indebido de las zonas forestales (Pacheco et al., 2020), mediante diversos estudios se ha visto que la cobertura vegetal ha disminuido significativamente, más específicamente en áreas boscosas, según una investigación realizada por Machado (2021) en un periodo de casi 30 años, en el Ecuador se ha talado cerca de 2 millones de hectáreas de bosques naturales lo que perjudica de gran manera la cobertura vegetal, además esto alerta que las cifras podrían aumentar a medida que pasan los años.

En la región sierra, lugar donde esta ubicado Belisario Quevedo, los bosques primarios han sido casi completamente reemplazados por áreas agrícolas o urbanas (Rodríguez & Leiton, 2021), en este, el cambio de uso de suelo lleva a la pérdida y fragmentación de hábitats que son dos amenazas principales de los paisajes boscosos (Sánchez et al., 2022), lo que señala que la parroquia, a lo largo de los años puede haber sufrido pérdidas significativas en la cobertura vegetal debido a la extensión agrícola.

La parroquia Belisario Quevedo, ubicada en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, enfrenta desafíos ambientales significativos, en la última década, relacionados con la dinámica de cambio en su cobertura vegetal. A pesar de ser un componente principal para la sostenibilidad

del ecosistema local, la cobertura vegetal ha experimentado transformaciones notables que afectan potencialmente la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la calidad de vida de la comunidad, además que se ha visto afectada por ciertos daños antropogénicos que han malogrado la flora y fauna local, resultado de la degradación de la tierra (Girijaveni et al., 2023).

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General:

- Analizar la evolución y transformación de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, durante el periodo 2013 al 2023, mediante el uso de herramientas de teledetección y análisis geoespacial, con el fin de comprender los patrones y tendencias de cambio a lo largo del tiempo.

5.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la dinámica multitemporal de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo entre los años 2013 y 2023, a través del procesamiento, clasificación y análisis comparativo de imágenes satelitales de alta resolución.
- Caracterizar los cambios en la cobertura vegetal utilizando técnicas de análisis geoespacial, incluyendo la identificación de tendencias de deforestación, regeneración y expansión de áreas vegetadas, con base en datos satelitales y herramientas SIG.
- Diseñar mapas cartográficos que representen la variabilidad en la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo durante el período 2013-2023, permitiendo la identificación de posibles factores antrópicos y naturales que han influido en su transformación.

6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACION A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades relacionadas de acuerdo a los objetivos planteados

| Objetivo | Actividades | Metodología | Resultados |
|--|--|---|--|
| Evaluar la dinámica espacio-temporal de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo entre los años 2013 y 2023, a través del procesamiento, clasificación y análisis comparativo de imágenes satelitales de alta resolución. | Selección y preprocesamiento de imágenes satelitales. | Uso de imágenes Landsat. | Mapas de cobertura vegetal en 2013 y 2023. |
| | Clasificación supervisada de la cobertura vegetal. | Algoritmos de clasificación en ArcGIS | Matriz de Confusión con precisión global y coeficiente Kappa. |
| | Evaluación de precisión de la clasificación. | Generación de Matriz de Confusión para evaluar la precisión de la clasificación. | |
| Caracterizar los cambios en la cobertura vegetal utilizando técnicas de análisis geoespacial, incluyendo la identificación de tendencias de deforestación, regeneración y expansión de áreas vegetadas, con base en datos satelitales y herramientas SIG. | Detección de cambios en la cobertura vegetal. | Comparación temporal de NDVI. | Mapas de cambio de cobertura. |
| | Cálculo de índices de vegetación (NDVI). | Uso de Matriz de Transición para cuantificar los cambios entre clases de cobertura vegetal. | Matriz de Transición con porcentajes de cambio de cada clase de cobertura. |
| | Análisis de cambios en clases de cobertura. | | |
| Generar cartografía temática que represente la variabilidad en la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo durante el período 2013-2023, permitiendo la identificación de posibles factores antrópicos y naturales que han influido en su transformación. | Procesamiento de imágenes satelitales para la generación de mapas temáticos. | Uso de software SIG (ArcGIS) para la elaboración de mapas. | Serie de mapas temáticos detallados sobre la cobertura vegetal en los períodos propuestos. |
| | Clasificación y segmentación de coberturas vegetales en mapas para una adecuada representación visual. | Representación cartográfica mediante mapas de cobertura vegetal, de cambio y de impacto. | |

7 FUNDAMENTACION CIENTIFICATECNICA

7.1 Biodiversidad

Refiere a la variedad y abundancia de seres vivos en un lugar determinado, incluyendo la diversidad entre especies. Diversidad de especies en un ecosistema y la diversidad de ecosistemas en espacios más libres (Delgado et al., 2023). Esta es importante para mantener el equilibrio de los ecosistemas, dar servicios ecosistémicos como la regulación del clima o producción de alimentos.

7.2 Ecosistema

Los ecosistemas son unidades fundamentales en diferentes campos, biología y ecología, esencial para vincular un ser vivo con un objeto abiótico representando la unidad estructural y el funcionamiento de la naturaleza (Gomez, 2022).

7.3 Flora

Vegetación o conjunto de especies vegetales que habitan o florecen en un lugar específico. La flora puede incluir diversidad de plantas que pueden ir desde especies herbáceas hasta árboles o arbustos que se adaptan a las condiciones climáticas la composición del suelo del lugar en donde crecen (Espinel et al., 2023).

7.4 Fauna

Es un conjunto de especies animales que habitan en un área geográfica determinada. Como en un cerro o una región montañosa. La fauna de este tipo puede albergar desde mamíferos y aves hasta insectos, reptiles y anfibios adaptados a las condiciones del habitat al que pertenezcan (Mosquera et al., 2022). Además, el estudio faunístico puede incluir la identificación de especies, comprensión de su interacción ecológica, distribución geográfica y su rol dentro de los procesos ecosistémicos ya sean estos en un páramo, montaña o cerro.

Aunque estos podrían verse amenazados por diversos motivos en su entorno natural, el principal es el daño antropogénico, el que es causado por las mismas personas, debido a las intervenciones para el uso de los suelos, la mala gestión de desechos o la caza o captura de los animales existentes en el lugar.

7.5 Cerro

De una manera geográfica y natural, un cerro es una elevación de terreno de menor altura que una montaña y puede tener una cima plana o redondeada, esta puede tener un paisaje

medianamente montañoso y llegan a ser el resultado de erosión, actividad volcánica o deformación tectónica (Mullo et al., 2022). En Ecuador, los cerros tienen roles significativos dentro de los ecosistemas tan topografía al medio ambiente como para el bienestar humano (Carrasco et al., 2022).

7.6 Importancia de un Cerro

La importancia de un cerro aborda aspectos como la gestión de agua, dinámica de la erosión de suelo, compensación ecológica y puede mitigar los riesgos de deslizamiento de suelo (Martínez et al., 2024), este último podría ser menos considerado ya que dependiendo de la pendiente que tenga puede existir o no riesgos de deslizamiento, también puede abordar temas como el turismo, desarrollo de temas de investigación o el patrimonio del lugar donde se halla.

- **Hábitat de biodiversidad:** Los hábitats de biodiversidad proporcionan recursos esenciales como alimento y servicios ecosistémicos (Ishtiaq & Zahid, 2024). En algunos casos especies únicas viven en este tipo de hábitat debido a sus características, como la altitud, clima o calidad de suelo, además su estudio puede proporcionar nueva información sobre flora y fauna o la conservación de especies y gestión de áreas protegidas (Chang et al., 2023).
- **Regulación de agua:** Los cerros pueden actuar como captadores naturales de agua, función que es propia de los páramos, además son reguladores de agua y la vegetación que los rodea ayudan a gestionar el agua que allí se puede llegar a almacenar, pueden controlar la erosión del suelo, provisionar de agua dulce a lugares aledaños mediante fuentes naturales u ojos de agua que brotan desde el interior de los cerros e incluso evita los desastres naturales como inundaciones o deslizamientos (You et al., 2023).
- **Investigación científica:** Debido a la alta concentración de biodiversidad en los cerros estos pueden ser tomados en cuenta para estudios de diferentes tipos, en donde se puede estudiarla ecología, climatología, flora y fauna, cobertura vegetal entre otras, proporcionando así mayor información del sitio (Picon et al., 2023).

7.7 Característica de los cerros

Los cerros llegan a gozar de diversa cantidad de características que se basan en las formaciones geológicas o la topografía del lugar, climatología o altitud, presentando diferentes ángulos de bajada de gradiente cuando o ángulos más empinados (Bellwald et al., 2022).

- **Altitud y pendiente:** Lo cerros, respectivamente, tienen alturas que van desde los 1500 m.s.n.m a 2500 m.s.n.m, es decir, deben tener medidas menores a las de una montaña (Núñez et al., 2020). Además, dependiendo de su pendiente, cambia la distribución vegetal y la estabilidad del terreno.
- **Suelo y geología:** La composición de suelo y geología son un punto clave que permiten determinar el soporte para la cobertura vegetal y la fauna, este suelo es formado mediante procesos como la congelación, descongelación y meteorización química. (Jungers & Heimsath, 2021).
- **Clima:** En consideración la exposición del cerro, en cuanto al sol y viento, influyen en su clima local, también por su altitud que en el lugar varía entre los 1500 y 3000 m.s.n.m, lo que hace que su temperatura varíe de los 8°C a los 20°C, con un aumento de temperatura de 5°C por cada 1000 metros de altura (Varela & Ron, 2018).
- **Hidrología:** Un cerro es parte integral de una red hidrológica, captando y regulando el flujo de agua, además tienen la capacidad de recargar acuíferos, ojos de agua y proveer agua dulce a las comunidades más cercanas.

7.8 Cobertura vegetal

Refiere a la cantidad de distribución espacial de la vegetación en un área o lugar determinado. Describe la cantidad y tipo de vegetación presente en el área de estudio, este estudio se representa generalmente en porcentajes numéricos del área total, esta también puede variar e identificar desde bosques densos hasta zonas pedregosas (Rodríguez, 2022).

7.9 Cambios de cobertura vegetal en los cerros

Se refiere a la modificación en diferentes aspectos de la cobertura, ya sea en la cantidad distribución o la composición de la vegetación que ocurren en estas zonas. Los cambios que puedan ocurrir en estos lugares pueden ser por diversos motivos entre los principales está la intervención de las personas (agricultura, ganadería, deforestación, construcción), cambios climáticos (altas precipitaciones, variación de temperatura) o fenómenos naturales (plagas. Incendios, factores naturales) (Villota, 2022).

- Causa de los cambios:

Expone diferentes cambios que llevan a la alteración de la cobertura vegetal en los cerros, como la deforestación para la expansión agrícola o la urbanización, disminuyendo de mayor manera la reforestación natural

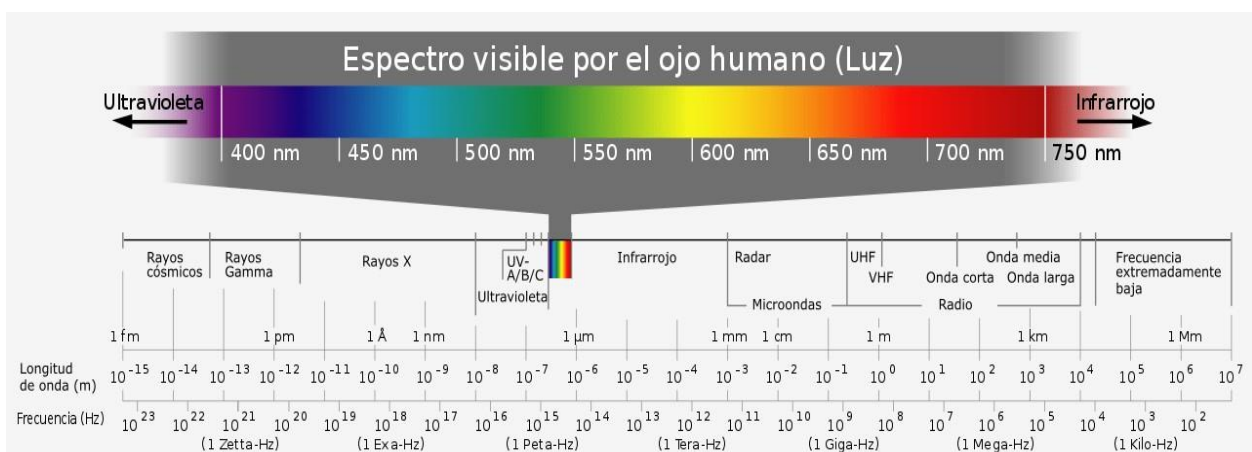
- **Impactos ecológicos:** Analizar como los cambios de la cobertura vegetal afectan a la biodiversidad, la erosión del suelo, la calidad del agua entre otros procesos naturales de los cerros.

7.10 Teledetección

La teledetección es una técnica que permite la adquisición de información sobre objetos o áreas situadas en la superficie terrestre sin estar en contacto con aquellos, además, podría llegar a relacionarse de diversas maneras con estudios ambientales con estudios que utilizan imágenes satelitales de plataformas como Landsat o Sentinel, evaluando datos como la salud de la vegetación, monitoreo de la biodiversidad, detección del cambio de uso de suelos entre otras funciones (Sancho et al., 2024), (Crespo et al., 2024).

Según Alonso (2023) los datos captados por satélites de teledetección se registran en diferentes bandas del espectro electromagnético. Lo que genera una imagen monocroma que se puede visualizar en escala de grises con una paleta de 256 tonos, mediante esto en la Figura 1 se observa que por cada pixel de la imagen puede contener un valor que oscila entre el negro (valor 0) y el blanco (valor 256)

Figura 1 Espectro visible de las imágenes satelitales bajo el ojo humano



Nota: Interpretación de la reflectancia para la clasificación de las imágenes satelitales.

Fuente: (Alonso, 2023)

7.11 Importancia de la teledetección

La teledetección llega a ser una técnica fundamental en la observación y análisis del medio ambiente, proporcionando datos para aplicaciones en diferentes campos y ámbitos ambientales.

- **Monitoreo Ambiental:** Mediante la teledetección permite que el monitoreo pueda llegar a ser continuo y a gran escala de la superficie terrestre, facilitando la observación de cambios en la cobertura vegetal, deforestación, la desertificación u otros procesos ambientales (SGS, 2022).
- **Gestión de recursos naturales:** A través de la teledetección, se puede obtener datos precisos sobre la distribución y estado de recursos naturales como el agua, los bosques y suelo. Estos datos son de suma importancia para la planificación y gestión sostenible de estos recursos (Sharma et al., 2024).
- **Respuesta a desastres:** En caso de desastres naturales, la teledetección proporciona información rápida y precisa acerca de las áreas afectadas facilitando operaciones de emergencia y evaluación de daño.
- **Estudios climáticos:** En cuanto a los estudios climáticos, la teledetección es una herramienta clave para el estudio del clima y la interacción entre el clima y la tierra (Alvarez & Govind, 2024).
- **Urbanización y planificación territorial:** Permite analizar patrones de urbanización y identificar áreas de crecimiento y planificación de infraestructuras de manera mucho más eficiente (González, 2021).

7.12 Índice de vegetación

Según (Mayorga et al., 2019), para analizar la cobertura vegetal, se utiliza el índice de vegetación que se calcula a partir de las bandas espectrales de las imágenes satelitales, entre estos los índices NDVI y EVI

7.13 Imágenes satelitales

Imágenes capturadas por satélites que proporcionan una vista aérea de la superficie terrestre que proporciona información sobre paisajes urbanos, detección de sombras para estimar la altura (Cociancic et al., 2021). Determinar impactos ambientales o actividades industriales. Las imágenes satelitales pueden ser de diferentes tipos, imágenes ópticas (captura de luz visible), imágenes de radar (utilizan ondas de radar para penetrar las nubes y obtener datos acerca de la

estructura de los terrenos) e imágenes hiperespectrales (capturan múltiples bandas espectrales para análisis detallados) (Oña, 2016).

7.14 Modelo Digital de Elevación (DEM)

Es la representación digital de elevación de la superficie terrestre o del relieve de un área geográfica que describe y contempla la variación de altura de los elementos terrestres, topografía y cobertura natural (Díaz, 2021). De estas resultan datos recogidos por satélites u otros sensores remotos y divide un espacio en malla regular de puntos o celdas y cada una tiene altura o elevación (Portilla et al., 2023)

7.15 Software

Conjunto de programas, procedimientos y documentación que generan ciertas actividades dentro de un sistema informático e incluye procesamiento de hojas de cálculo, análisis de datos, modelado geoespacial y procesamiento de imágenes satelitales (Cardoso et al., 2023). Es fundamental tener en cuenta cada una de sus funciones en cada una de sus aplicaciones:

- **Aplicación ambiental:** Fundamental para el análisis de datos ambientales como las imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y datos de cobertura, para estos están involucrados los programas de GIS (sistema de información geográfica) entre ellas el ArcGIS. Qgis o softwares de procesamiento como ENVI, GEOBIA, SCP procesing como herramientas utilizadas para estos estudios.
- **Análisis espacial y modelado:** Mediante el software se permite realizare el análisis espacial, modelar los procesos ambientales y visualizar resultados a travez de interfaces graficas interactivas, de esta manera, facilitando la integración de datos de diferentes fuentes.
- **Herramienta de procesamiento y análisis:** Además de las herramientas GIS o software de procesamiento de imágenes, existen herramientas estadísticas que se pueden emplear como R, Python, Matlab o softwares específicos para el modelado de cobertura o dinámica el paisaje.

7.16 ArcGIS

El ArcGIS es un sistema de información geográfica (SIG) desarrollado por esri, utilizado para crear, gestionar, analizar y visualizar datos geoespaciales (Medeiros et al., 2024). Este software permite a los usuarios trabajar con mapas y datos geográficos de manera eficiente, ofreciendo

herramientas avanzadas para el análisis espacial, la gestión de datos, la creación de mapas y la publicación de resultados (Rodríguez et al., 2024). En cuanto al estudios de teledetección y análisis multitemporal, ArcGIS es especialmente valioso para procesar y analizar imágenes satelitales, facilitando la identificación y cuantificación de cambios en la cobertura vegetal y otros parámetros ambientales, parte de sus características más especiales esta: análisis espacial, gestión de datos, visualización y herramientas de elaboración de mapas, modelado y simulación.

7.17 USGS Earth Explorer

USGS Earth Explorer es una plataforma desarrollada por el servidor geológico de estados unidos (USGS), esta plataforma genera una gran colección de datos geoespaciales, permitiendo la búsqueda, visualización y descarga de imágenes satelitales y otros tipos de datos geográficos. Ofrece acceso a datos de varios satélites, como, por ejemplo: Landsat, Sentinel y MODIS, lo que facilita la búsqueda por ubicación, rango de fechas, tipo de sensor y otros criterios. Además, proporciona herramientas para visualización de imágenes antes de la descarga e incluye opciones básicas de procesamiento y análisis de imágenes (Ustin & Middleton, 2021).

7.18 Mapas cartográficos

Los mapas cartográficos son representaciones graficas de las superficies terrestres diseñada con el fin de brindar información geoespacial de manera clara (Andrade et al., 2022). Los mapas cartográficos utilizan, tanto símbolos, colores o escalas para ser representados en diferentes categorías. Las aplicaciones que pueden llegar a tener los mapas cartográficos podrían dividirse en planificación regional, transporte, educación, gestión de recursos (Loayza et al., 2020).

7.19 Sistema de información geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es una herramienta informática que permite capturar, almacenar, analizar, gestionar y visualizar datos geoespaciales. Estos sistemas integran diversas tecnologías y métodos para trabajar con la información geográfica y espacial, además, los sistemas SIG son importantes en cuanto a estadística de campo, lo que incluye gestión de recursos, agricultura y respuesta de desastres (Gámez et al., 2024).

Los componentes que pueden integrar un sistema SIG son:

- **Hardware:** Se trata de todos los equipos físicos que se encargan de procesamiento y almacenamiento de datos geoespaciales de gran escala.
- **Software:** Consiste en las aplicaciones que se requiere para el procesamiento de los datos, estos pueden ser ArcGIS, QGIS u otros programas que tengan el mismo fin.

- **Datos:** Mediante los datos se logra comprender los datos geoespaciales, los datos pueden ser proporcionados por un programa o software y como parte de los datos puede incluir, imágenes satelitales, datos GPS mapas topográficos, datos censales y base de datos ambientales.
- **Metodología:** En general, incluye todos los procedimientos y técnicas utilizadas para llegar al resultado de la investigación

7.20 Clasificación de imágenes

La clasificación de imágenes es un proceso que permite categorizar los píxeles de la imagen en una o diferentes temáticas, además, es una herramienta de teledetección que facilita la elaboración de mapas temáticos, el mismo permite transformar imágenes de satélite o imágenes ráster en archivos shapefile de polígonos, puntos, líneas, etc. (Castelo et al., 2022). Existen diferentes métodos para la clasificación de las imágenes, esta se puede dividir en:

- **Clasificación supervisada:** La clasificación supervisada requiere de la intervención de una persona para poder seleccionar las diferentes temáticas a clasificarse, de esta manera el algoritmo utiliza estas áreas para clasificar la imagen proporcionada, en el procesamiento de este tipo existen dos procesos que se pueden seguir:
 - **Maxima Verosimilitud (Maximum likelihood):** Este proceso asume que cada dato proporcionado sigue una distribución normal multivariada.
 - **Maquina de soporte vectorial (Support Vector Machine, SVM):** Encuentra el hiperplano optimo que separa la clase en un proceso de alta dimensión
- **Clasificación no supervisada:** La clasificación no supervisada no requiere de alguien para señalar las temáticas dentro la imagen, es decir, los propios algoritmos del software se encargan de agrupar automáticamente los píxeles en clases basadas en la similitud espectral de la imagen.
- **Clasificación basada en objetos:** Este método, divide la imagen en segmentos u objetos, que representan las áreas homogéneas y clasifica los objetos seleccionados en píxeles individuales. El proceso a seguir para la clasificación de este tipo es de: segmentación y clasificación.

- **Clasificación híbrida:** Combina la técnica de clasificación supervisada y no supervisada, aprovechando de esta manera la funcionalidad de ambas técnicas.

7.21 Análisis multitemporal

El análisis multitemporal es una técnica utilizada en teledetección que implica la comparación y el análisis de imágenes satelitales tomadas en diferentes momentos para identificar y comprender los cambios en la superficie terrestre o realizar un análisis de su cambio a lo largo del tiempo (Figueredo et al., 2020). Esta técnica llega a ser fundamental para monitorear y dinámicas ambientales, evaluar el impacto de actividades humanas y naturales.

7.22 Monitoreo de cambios en la cobertura vegetal

El monitoreo de cambio cobertura vegetal es un proceso crítico en la gestión ambiental, conservación de la biodiversidad y planificación de uso de suelo. Mediante esta técnica se permite evaluar el estado del ecosistema y gestionar los recursos naturales, a través de este monitoreo, se pueden obtener datos críticos para entender la dinámica de los ecosistemas, evaluar los impactos de actividades humanas y naturales (Ceceña et al., 2021).

7.23 Uso de suelo

El uso de suelo se refiere a la manera en la que se utiliza y gestiona la superficie terrestre por parte de la sociedad. Involucra la clasificación y caracterización y categorización de las tierras según sus actividades y funciones principales, como agricultura, áreas urbanas o industriales (Abad, 2020). El estudio de uso de suelo es fundamental para la planificación territorial, la gestión de recursos naturales y la sostenibilidad ambiental.

7.24 Clasificación del uso de suelo

La clasificación de uso de suelo es un proceso que categoriza la tierra en función de como se utiliza y gestiona. Estas clasificaciones son fundamentales para la planificación territorial, la gestión de recursos naturales y desarrollo sostenible

- **Agricultura**
 - **Cultivos anuales:** Áreas o terrenos utilizados para el cultivo de plantas como cereales, legumbres hortalizas u otro tipo de planta de aprovechamiento humano que pueda ser cultivado en el lapso máximo de un año
 - **Cultivos Perenne:** Área o terrenos utilizados para el cultivo de arboles frutales, plantaciones u otro tipo de planta que vivan más de 2 años.

- **Pastizales:** Terrenos destinados a pastoreo de ganado y producción de hierba de animales.
- **Áreas urbanas:** Esta se refiere a las áreas en donde se asienta cierta cantidad de personas, esta categoría se puede dividir en área residencial, Comercial, industrial e infraestructura.
- **Áreas recreativas:** Las áreas recreativas tienen que ver con todas aquellas que están conformadas por parques, jardines o incluso áreas deportivas.
- **Áreas de conservación natural:** Son zonas protegidas para la conservación de la biodiversidad y ecosistemas, áreas con presencia de aguas superficiales o subterráneas protegidas por su importancia ecológica.

8 VALIDACION DE LAS PREGUNTAS CIENTIFICAS

¿De qué manera ha cambiado la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo durante el periodo de estudio 2013 a 2023 y como ha afectado esto a la parroquia?

Entre 2013 y 2023, la parroquia Belisario Quevedo ha experimentado cambios significativos en su cobertura vegetal, lo que refleja una transformación considerable en el uso del suelo. La superficie de tierra herbácea ha disminuido drásticamente, de 1689 hectáreas (33,94%) en 2013 a 526,49 hectáreas (10,58%) en 2023, con una reducción del 23,36%. En este caso, mediante los estudios sobre las amenazas a la biodiversidad de peces en Ecuador de Aguirre et al. (2021), destaca que la deforestación y la expansión agrícola no solo afectan los ecosistemas terrestres, sino también los acuáticos, alterando la calidad del agua y los hábitats de especies endémicas. La cobertura de tierra arbustiva ha aumentado ligeramente, pasando de 203,2 hectáreas (4,08%) a 279,34 hectáreas (5,61%), con un incremento del 1,53%. Aunque el crecimiento es modesto, indica una tendencia hacia una mayor presencia de árboles y arbustos en la región. Este cambio puede ser resultado de procesos naturales o de la falta de gestión activa en algunas áreas, que permiten la proliferación de arbustos (Castro et al., 2021).

El cambio más significativo se observa en la categoría de tierras agropecuarias, que ha visto un aumento considerable de 1940 hectáreas (38,99%) a 2954,51 hectáreas (59,38%), representando un incremento del 20,39%. Esta expansión refleja una conversión importante de otras categorías de uso del suelo a usos agrícolas y ganaderos, sugiriendo un aumento en la producción agrícola y una mayor presión sobre los recursos naturales. Por ejemplo, la investigación realizada en el

Macizo de Bijagual demuestra que la expansión de actividades agropecuarias ha resultado en la pérdida de áreas naturales y en la fragmentación del hábitat, afectando la conectividad ecológica y la integridad del ecosistema (Gil-Leguizamón et al., 2024). Además, el suelo sin cobertura vegetal ha disminuido de 941 hectáreas (18,91%) a 475,14 hectáreas (9,55%), con una variación del 9,36%. Este patrón es consistente con los cambios observados en Belisario Quevedo, donde la expansión agropecuaria ha reducido significativamente las tierras herbáceas y las áreas sin cobertura vegetal. A pesar que esto indica una recuperación o restauración de áreas que previamente estaban desprovistas de vegetación, también puede significar un cambio en la forma en que se clasifica y gestiona el suelo en la región.

Realizando un estudio general, se determinó en el periodo de tiempo estudiado existe un cambio del 56,79% principalmente en la expansión de áreas agropecuarias y zonas antrópicas, afectando la biodiversidad, la calidad del suelo, los recursos hídricos y la conversión de tierras herbáceas y la urbanización pueden influir negativamente en la capacidad de la parroquia para proporcionar servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del clima y el suministro de agua, subrayando la necesidad de una planificación y gestión sostenibles para mitigar estos impactos.

9 METODOLOGÍA

9.1 Área de estudio

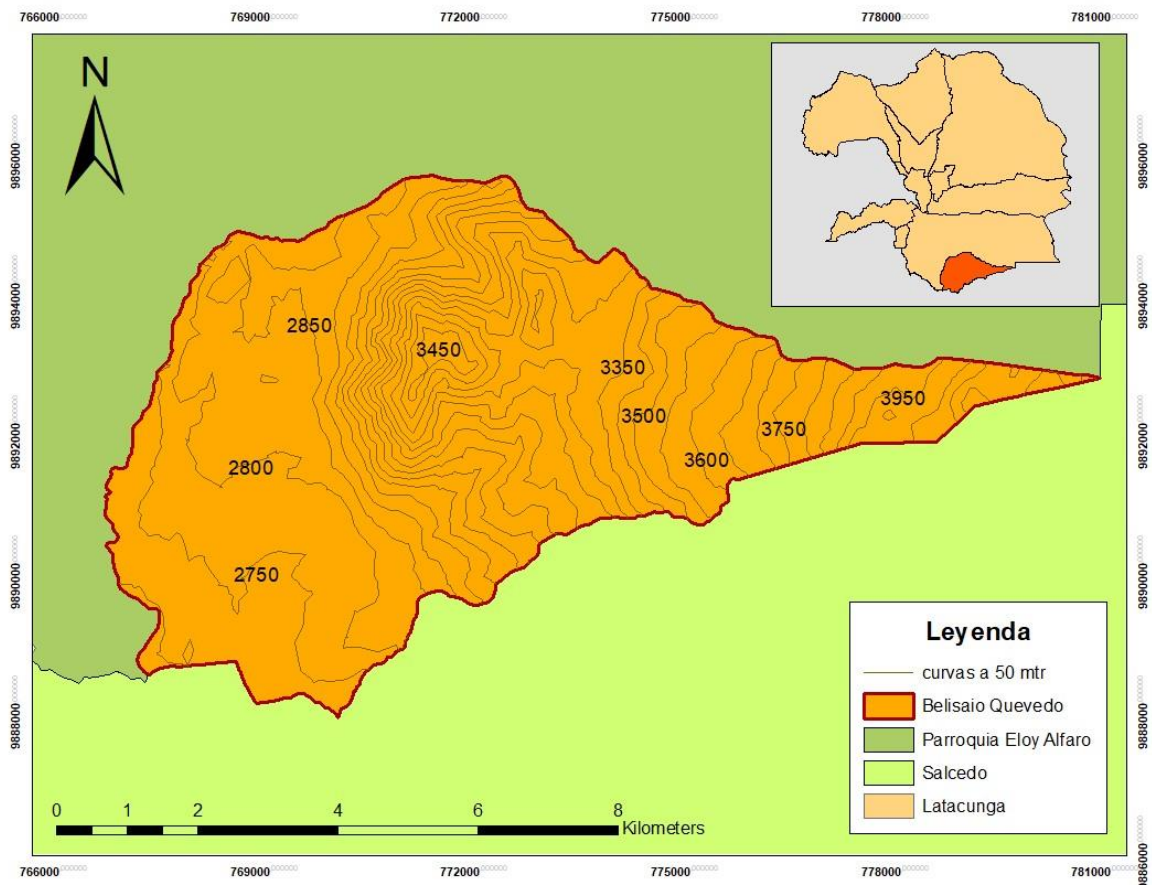
La Parroquia Rural de Belisario Quevedo, se ubica al sureste del Cantón Latacunga perteneciente a la Provincia de Cotopaxi. Actualmente existen varios accesos, el principal es tomando la vía panamericana Latacunga - Salcedo hasta el kilómetro 5 a unos 15 minutos de la ciudad ingresando por la Comunidad Illuchi, se extiende por una superficie de topografía irregular y montañosa, de 49.76 Km², y se ubica en las coordenadas geográficas 0° 56' 19" de latitud, y 78° 35' 49" longitud Oeste (CONALI) 2019. Se encuentra en un rango altitudinal de entre 2680 a 3960 msnm y la temperatura varía dependiendo de la zona baja y alta de 10° C a 16° C (Pullopaxi Yugla, 2023).

Según la página del GAD Parroquial de Belisario Quevedo (2024) esta se encuentra delimitada de la siguiente manera:

Al norte la parroquia Belisario Quevedo colinda con la Parroquia Urbana Ignacio Flores del Cantón Latacunga, por el sur con el Cantón Salcedo, en la unión del río Cutuchi e Isinche,

propiedad de la Universidad Central, Rumipamba de Navas y Guanailín San pedro hasta el cerro Puctín del mismo cantón, desde aquí por el este colinda por la cumbre del cerro Unabana y la acequia Carrillos y finalmente por el oeste delimita con el rio Cutuchi, rio Illuchi y el rio Isinche.

Figura 2. Mapa de Ubicación de la parroquia Belisario Quevedo



Nota: Mapa geográfico de la parroquia Belisario Quevedo **Elaborado por:** Shigui (2024)

9.1.1 CARACTERIZACION CLIMATICA

La caracterización climática de la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, según el GAD Parroquial de Belisario Quevedo (2024) está a una altitud aproximada de 2800 m.s.n.m. y su clima está influenciado por y ubicación en los Andes Ecuatorianos y por su cercanía a el volcán Cotopaxi, debido a esta misma la parroquia de Belisario Quevedo está expuesta a una proporción alta de nubosidad su temperatura entre máxima y mínima es de 27.5° y 6° respectivamente dependiendo si la época del año en la que se esté, esta es una zona agrícola y ganadera desuelo fértil y fuentes de agua superficiales, además puede llegar a tener heladas y tormentas eléctricas.

9.2 METODOS DE INVESTIGACION

9.2.1 Método Bibliográfico

Según, (Mohammed et al., 2022), el método bibliográfico implica sintetizar los estudios existentes, identificar tendencias y evaluar metodologías.

Mediante este método se recopiló información pertinente para la investigación con la finalidad de establecer criterios técnicos y geospaciales para poder realizar el estudio respectivo de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo.

Además este método implica el análisis estadístico de publicaciones, que ayudan en la búsqueda según el interés (García, 2023), ayudo a delimitar el área de estudio de manera correspondiente.

9.2.2 Método descriptivo

Este método se manejó para la descripción respectiva de la clasificación de la cobertura vegetal de los mapas una vez obtenidos el resultado del procesamiento de las imágenes satelitales. Este método se centra en la descripción general de los datos procesados con relevancia en los cambios que se han dado durante el paso de los años.

Cabe mencionar que la investigación descriptiva es la encargada de definir las características de una población que se ha estudiado, además, esta puede ser utilizada cuando se desea descubrir una realidad entre todos sus componentes (Guevara et al., 2020)

9.2.3 Método cualitativo

Se empleo este método en la investigación mediante análisis de datos no numéricos e imágenes satelitales, con la revisión de documentos y recopilación de datos para la comprensión del cambio de la cobertura vegetal.

El método de la investigación cualitativa sirve para obtener información sobre diferentes disciplinas, que comprenden los datos del entorno desde una perspectiva más contextual (Millán, 2018). Este tipo de metodología es de más utilidad en este tipo de investigación además que funciona de mejor manera en conjunto con otras metodologías que la complementan. En definitiva, la investigación cualitativa engloba diferentes técnicas para conseguir información que han dejado una clara evidencia de su conveniencia para conocer, aprender e instruirse sobre la vida de las personas, su comportamiento, las relaciones sociales, los sistemas de reproducción (Piza et al., 2019)

9.3 MÉTODO CORINE LAND COVER

El método Corine Land Cover (CLC) se utiliza para categorizar y cartografiar el uso de suelos y cobertura terrestre en diferentes regiones con la finalidad de inferir la evolución del medio natural (Gonzalez et al., 2020), es decir, proporciona una clasificación uniforme y detallada de las áreas terrestres. El método CLC usa una combinación de procesamiento digital de imágenes, índices espectrales, algoritmos de clasificación, matrices de transición y evaluación de precisión para analizar cambios en la cobertura del suelo (Demir & Musaoglu, 2023). De esta manera, permitiendo la comparación y clasificación de las áreas boscosas, agrícolas, cuerpos de agua o zonas urbanas de la parroquia Belisario Quevedo por medio de la comparación de las imágenes satelitales y la utilización de fórmulas que ayudan a transformar datos satelitales en información útil para la gestión ambiental y planificación territorial.

- **NDVI (Índice de vegetación de diferencia Normalizada):** Se trata del índice más comúnmente utilizado para evaluar la salud y densidad de la vegetación. Esta se calcula mediante la ecuación

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

En donde:

NIR: Bandas de infrarrojo cercano

RED: Banda roja

Los valores altos de NDVI muestran que la vegetación del lugar es saludable y densa, por otro lado, los valores bajos indican que en el área existe poca vegetación

- **EVI (Índice de vegetación mejorado):** Este índice genera una estimación precisa de la densidad vegetal en un lugar específico, esto mediante el ajuste de la atmósfera y el suelo y se calcula mediante la ecuación

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{+ C1 \times RED - C2 \times BLUE + L} (NIR$$

Donde:

G: Factor de ganancia

NIR: Bandas del infrarrojo cercano

RED: Banda roja

C1 y C2: Coeficiente que corrige los efectos atmosféricos

BLUE: Banda azul

L: Termino de corrección de fondo

En el proyecto se empleó este método para crear mapas de cobertura vegetal a partir de imágenes satelitales tipo Landsat. Esta metodología se ajusta al “Protocolo metodológico para la elaboración de mapa de cobertura y uso de la tierra continental (MAE, 2015)”, permitiendo la adquisición, análisis e interpretación de datos sobre clases de cobertura y generación de mapas. Iniciamos utilizando imágenes satelitales a escala 1:100.00 para obtener una visión detallada de la parroquia Belisario Quevedo. Se recopiló información de fuentes primarias y secundarias como la descarga de imágenes satelitales de tipo Landsat y datos ráster. En la figura 3 se presenta la metodología jerárquica para el desarrollo de procedimiento y buena obtención de resultados.

Figura 3. Esquema metodológica CLC para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo



Nota: Modelo conceptual de diseño metodológico. Elaborado por: Shigui (2024)

9.4 METODOLOGIA OBJETIVO 1

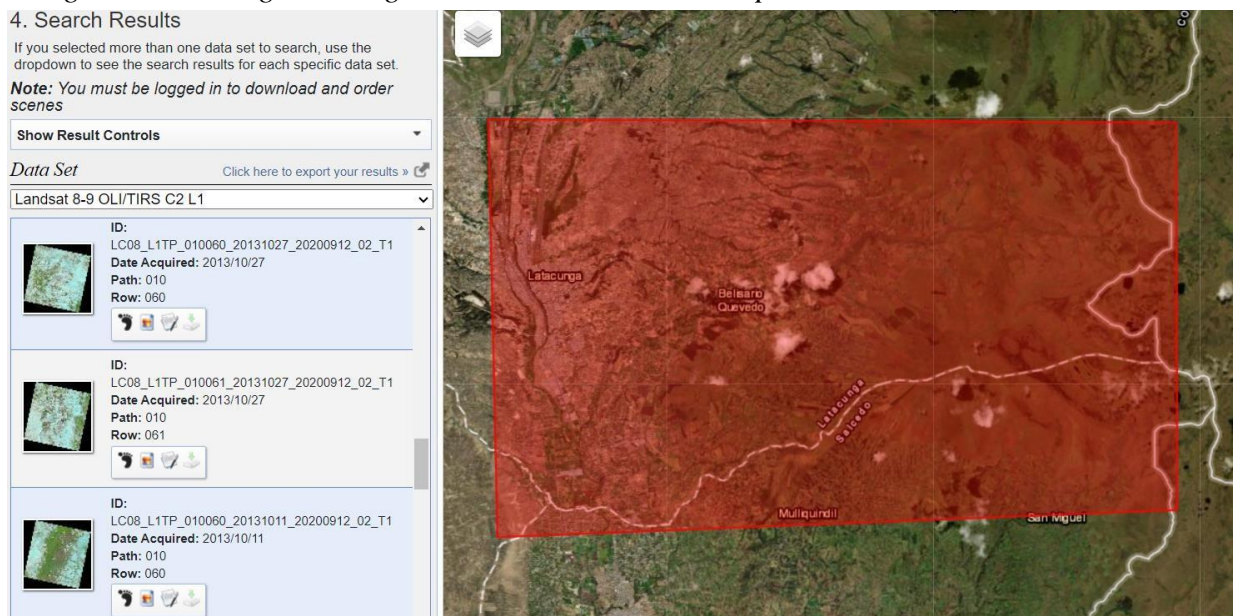
9.4.1 Captura de datos

Para la adquisición de datos shapefile de delimitación local, uso de suelos y agricultura se accedió a la página de Información Espacial del Ecuador, para posterior a este procesarlos mediante el software ArcGIS, de las capas de la parroquia Belisario Quevedo.

9.4.2 Adquisición imágenes LANDSAT

Con el fin de realizar el análisis multitemporal de la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo del año 2013 hasta el año 2023, se accedió a la página de servicio geológico de Estados Unidos (USGS), del siguiente link: <https://earthexplorer.usgs.gov/>, además se utilizaron imágenes satelitales con bajo porcentaje de nubosidad y una resolución de 30 metros, en el satélite landsat 8 proporcionados de Earth Explorer garantizando datos de calidad y utilizando su interfaz eficiente para definir el área de interés, configurar los parámetros de búsqueda y explorar los resultados de manera detallada garantizando la obtención de datos, el análisis y la comparación de los mismos.

Figura 4. Descarga de imágenes satelitales en Earth Explorer



NOTA: Portal USGS para descarga de imágenes satelitales **Fuente:** (USGS, 2024)

Para realizar la comparación de dato se descargaron imágenes satelitales con diferentes fechas en los años 2013 y 2023 las mismas que se presentan en la siguiente tabla con datos detallado de la obtención

Tabla 3. Metadatos de las imágenes obtenidas

| METADATA FILE NAME | Fecha De Captura | Hora | Azimuth | Angulo De Elevacion Del Sol |
|---|------------------|----------|--------------|-----------------------------|
| LC08_L1TP_010061_20131128_20200912_02_T1 | 2013/11/28 | 10:23 am | 132.49908811 | 59.46121807 |
| LC09_L1TP_010061_20231218_20231218_02_T1 | 2023/12/18 | 15:26 pm | 132.87492883 | 56.44410531 |

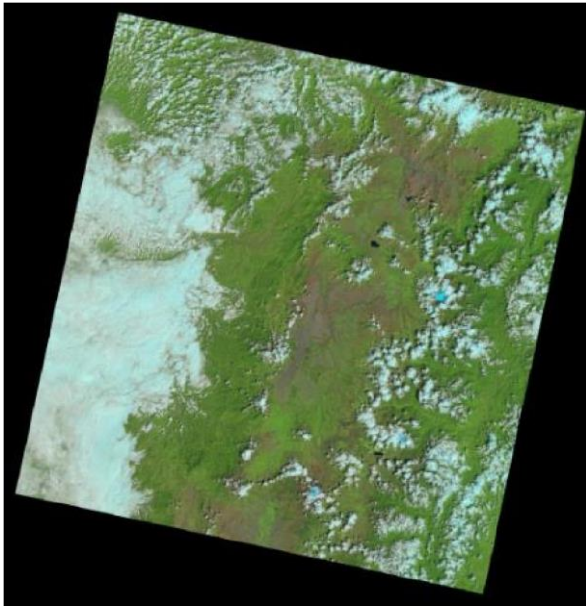
Nota: Archivo MTL de las imágenes adquiridas en el portal USGS, Elaborado por Shigui 2024

Lo más importante en cuanto a las imágenes obtenidas es que estas cubren la zona de interés para realizar los siguientes procedimientos, cuenta con una resolución de 30 metros y además presentan un porcentaje bajo de nubosidad en el área de interés, mismo que después será procesado y recortado ajustándose a la necesidad de estudio, cabe recalcar que estas imágenes fueron obtenidas bajo el portal USGS (portal de Servicios geológicos de Estados Unidos). En cuanto a la previsualización de las imágenes descargadas y sus datos generales están expuestos en la tabla 4.

Tabla 4. Pre visualización y resumen de las principales características de las imágenes satelitales de la página USGS

| PRE VISUALIZACIÓN | DATOS DE LAIMAGEN |
|-------------------|-------------------|
|-------------------|-------------------|

Imágenes Satelitales 2013



Origen de la Imagen: Earth Explorer del USGS

Código USGS:

LC08_L1TP_010061_20131128_20200912_02_T1

Fecha de captura: 2013/11/28

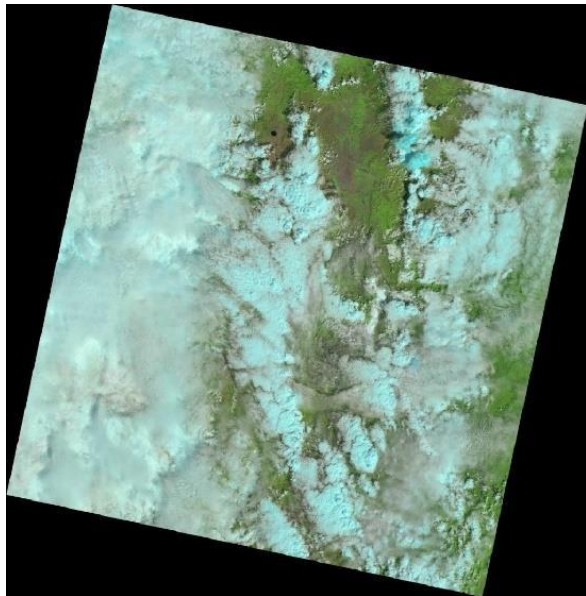
Satélite: Landsat 8

Orientación: hemisferio sur

DATUM: WGS84

Zona UTM: 17

Imágenes Satelitales 2023



Origen de la Imagen: Earth Explorer del USGS

Código USGS:

LC09_L1TP_010061_20231218_20231218_02_T1

Fecha de captura: 2023/12/18

Satélite: Landsat 8

Orientación: hemisferio sur

DATUM: WGS84

Zona UTM: 17

9.4.3 Clasificación de la cobertura vegetal nivel1/ asignación temática nivel1

La clasificación de cobertura vegetal nivel 1 refiere al componente estructural y funcional de los ecosistemas, el nivel 1 es de la fisonomía del suelo que es el primer y mas detectable de los factores (Ministerio del Ambiente, 2012). Para la asignación de temática de cobertura vegetal se basó en la “METODOLOGIA UNIFICADA DEL LEVANTAMIENTO DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA Y SISTEMAS PRODUCTIVOS AGROPECUARIOS DEL ECUADOR CONTINENTAL” escala 1:25.000 del año 2020, la que se usó específicamente para la clasificación de la cobertura vegetal y uso de suelo de la parroquia Belisario Quevedo, la clasificación que lleva este nivel se detalla en la tabla 5 que es la categorización del tipo de cobertura vegetal.

Tabla 5. Clasificación de la cobertura y uso de tierras establecidas por el ministerio de agricultura

| LEYENDA DE COBERTURA Y USO DE SUELO EN ESCALA 1:25.000 | | |
|---|-----------------------------|---------------|
| Nivel | Clase | Código |
| NIVEL I | Tierra herbácea | 1 |
| | Tierra arbustiva | 2 |
| | Tierras agropecuarias | 3 |
| | Suelo sin cobertura vegetal | 4 |
| | Zona antrópica | 5 |

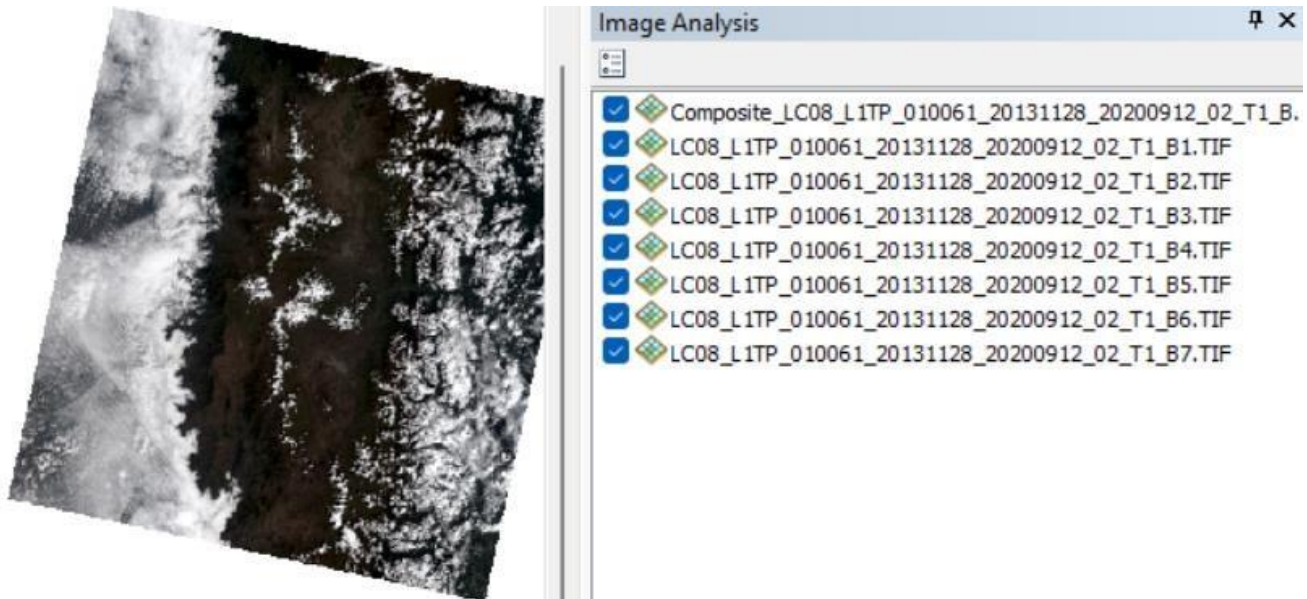
Nota: Leyenda del nivel I para cobertura vegetal y uso de suelo **Fuente:** (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020)

9.5 PRE-PROCESAMIENTO DE DATOS

9.5.1 Combinación de bandas

En cuanto al procesamiento de las imágenes satelitales se realizó mediante el programa ArcGIS en combinación de las bandas mediante la herramienta de “IMAGE ANALYSIS”, este proceso implica la combinación de bandas para conseguir los colores naturales. En la figura 5 se muestra el procesamiento realizado mediante el software para el procesamiento de las bandas descargadas.

Figura 5. Combinación de bandas mediante la herramienta “Imagen Analysis”



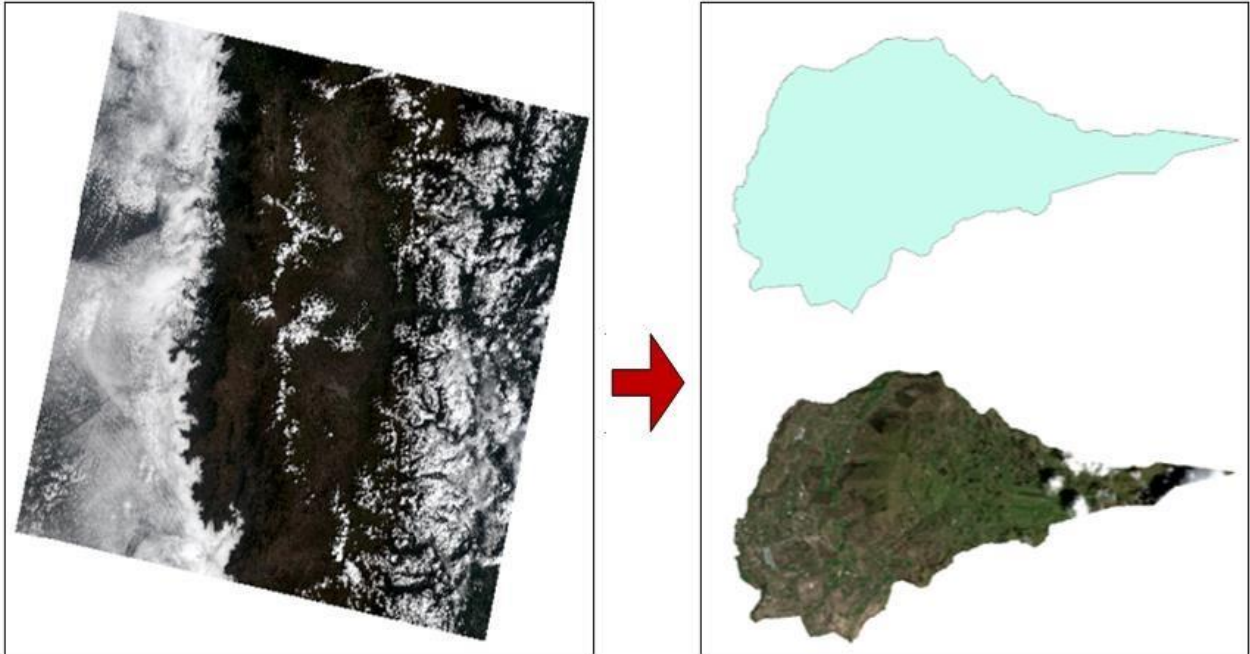
Nota: Captura de pantalla del software ArcGIS en el procesamiento de combinación de bandas
Elaborado por: Shigui (2024).

9.6 PROCESAMIENTO DE DATOS

9.6.1 Recorte del área de estudio

Seguido se recortaron las bandas resultantes en polígonos de tal forma que quedaran en delimitación al área de estudio, la parroquia Belisario Quevedo. Para llevar a cabo este método se utilizó la herramienta CLIP del arctoolbox mediante un archivo shapefile que se utiliza como base para el recorte de las bandas, misma que se muestra en la figura 6.

Figura 6. DEM recortado al tamaño del área de estudio.



Nota: Captura de pantalla del DEM recortado. **Elaborado por:** Shigui (2024).

9.7 POST-PROCESAMIENTO

9.7.1 Clasificación supervisada

La clasificación supervisada es un enfoque ampliamente utilizado en el análisis de imágenes de teledetección para asignar etiquetas a píxeles en función de características espectrales (Gómez et al., 2024). Se denomina supervisada porque requiere que el investigador proporcione ejemplos previos (áreas de entrenamiento) de cada clase de cobertura del suelo antes de ejecutar el proceso de clasificación (Syed & Lokhande, 2024), existen varios algoritmos de clasificación supervisada, pero la que se utilizó es la de Máxima Verosimilitud (Maximum likelihood classification)

De acuerdo con Maroto et al. (2022) el algoritmo de Máxima Verosimilitud asigna un píxel a la clase que tiene la mayor probabilidad de pertenencia, dadas las características espectrales del píxel. La probabilidad de que un píxel X pertenezca a la clase i se calcula utilizando la función de densidad de probabilidad multivariada:

$$P(C_i | X) = \frac{P(X | C_i)P(C_i)}{P(X)}$$

Donde:

$P(C_i | X)$ = Probabilidad de que el píxel X pertenezca a la clase i.

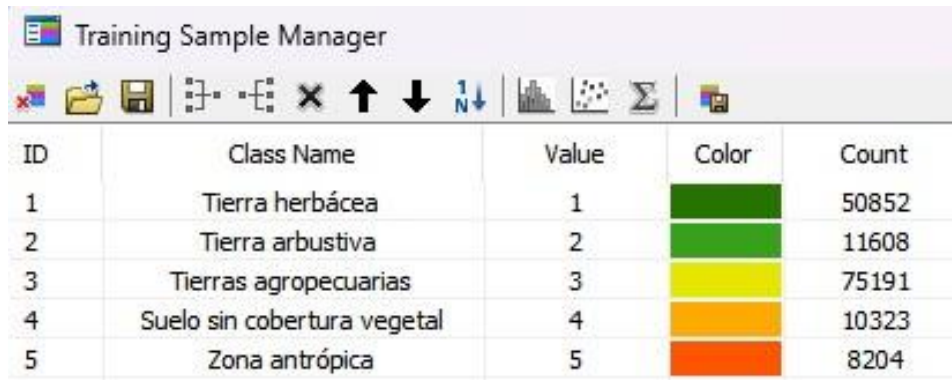
$P(X | C_i)$ = Función de densidad de probabilidad condicional (distribución espectral para cada clase).

$P(C_i)$ = Probabilidad a priori de la clase i (frecuencia relativa de la clase en los datos de entrenamiento).

$P(X)$ = Probabilidad total de las características espectrales (se normaliza).

Para llevar a cabo esta metodología se continuo en el software ArcGIS mediante la herramienta “IMAGEN CLASIFICACION” (Maximum likelihood classification) que funciona asignando categorías específicas a los pixeles de las imágenes procesadas, de la que se sacaron 50 muestras de cada categoría para la division. De esta manera dándoles una clasificación a cada área, segmentando lo dato espectrales en los lugares asociados con clases específicas de cobertura de suelo (Lemenkova, 2021). Este proceso se realizó bajo la supervisión de bandas de color natural (banda 4, banda 3, banda 2) del satélite landsat 8, resultando así en la clasificación programada (Alonso, 2023). En la figura 7, se observa la toma de muestras de los pixeles para la clasificación supervisada.

Figura 7. Clasificación supervisada



| ID | Class Name | Value | Color | Count |
|----|-----------------------------|-------|-------------|-------|
| 1 | Tierra herbácea | 1 | Green | 50852 |
| 2 | Tierra arbustiva | 2 | Light Green | 11608 |
| 3 | Tierras agropecuarias | 3 | Yellow | 75191 |
| 4 | Suelo sin cobertura vegetal | 4 | Orange | 10323 |
| 5 | Zona antrópica | 5 | Red | 8204 |

Nota: Clasificación supervisada mediante la herramienta imagen clasificacion. **Elaborado por:** Shigui (2024)

9.7.2 EVALUACION DE EXACTITUD TEMATICA

La evaluación de exactitud temática en el mapeo de la cubierta terrestre implica el análisis de la calidad de los mapas temáticos clasificados obtenidos que resultan a partir de los datos de teledetección, estos, destacan la importancia de seleccionar unidades de evaluación adecuada como, por ejemplo, elegir bloques de pixeles en lugar de pixeles individuales, lo que minimiza

los errores temáticos que se dan por imprecisiones posicionales (Gu & Congalton, 2021), es decir, mide la precisión y confiabilidad de la asignación de las categorías en los mapas a desarrollarse mediante la utilización de datos de muestras terrestres y técnicas de muestreo estadístico, para lo cual se empleó el cálculo de la matriz de confusión que contribuye a lograr altos niveles de precisión temática en mapas y derivados de imágenes satelitales (Castillo et al., 2022).

9.7.3 Matriz de confusión

La matriz de confusión se aplicó con la finalidad de evaluar el rendimiento predictivo, de esta manera, organiza los resultados de las clasificaciones mostrando una tasa de verdaderos positivos, verdaderos negativos, falsos positivos y falsos negativos del modelo de clasificación (Amin, 2022)

Mediante esto se estableció la metodología seguida por (Chuvieco, 2010) para lo que se estableció 50 muestras al azar por categoría, dando un total de 250 muestras, establecidas por la matriz de filas y columnas, estructuradas en una capa de puntos shape. El modelo de tabla que se sigue esta establecida en la siguiente presentada a continuación.

Tabla 6. Matriz de confusión.

| CLASES MAPA | Clases De Muestreo | | | | | | |
|-------------|--------------------|----------|-----|----------|----------|-----------|--------------------------|
| | A1 | A2 | ... | Am | Total | Precision | Error Comisión |
| ... | | | | | | | |
| Am | | | | | | | |
| Total | | | | | | | |
| A1 | a_{11} * | a_{12} | ... | a_{1m} | $a_{.1}$ | % | $1 - (a_{.1}/\alpha...)$ |
| A2 | a_{21} | a_{22} | ... | a_{2m} | $a_{.2}$ | | $1 - (a_{.2}/\alpha...)$ |

| | | | | | |
|---------------|----------------------------|----------------------------|----------|----------------------------|-------------------------------|
| | a_{m1} | ... | a_{mm} | $a_{.m}$ | $1 - (a_{.m} / \alpha_{...})$ |
| | a_1 | a_2 | ... | a_2 | $\alpha_{...}$ |
| Error Omisión | $1 - (a_1 / \alpha_{...})$ | $1 - (a_2 / \alpha_{...})$ | ... | $1 - (a_m / \alpha_{...})$ | |

Nota: Plantilla de matriz de confusión a seguir para la clasificación de la cobertura vegetal

Fuente: (Chuvienco, 2010)

En donde:

A1 y A2 = a tipos de clase de la cobertura vegetal.

AM = Número de clases existentes.

Total, muestreo = Es la suma de columnas de cada una de las clases. Total,

mapa = Es la suma de filas de cada una de las clases.

Precisión = Es la precisión de la clasificación de la cobertura vegetal

Error comisión = elemento que no pertenece a la clase aparece en ella.

Erro emisión = elemento que perteneciendo a la clase no aparece en ella y está apareciendo en otra clase no correspondiente.

$\alpha_{...}$: Total de muestras

9.7.4 Índice de Kappa

Mediante el índice de Kappa (Índice k) sirve como una métrica sólida para cuantificar la concordancia y los cambios en diferentes puntos temporales en diversos dominios de investigación, se puede aplicar la índice kappa para evaluar la confiabilidad de los resultados categóricos a lo largo del tiempo (Sergeyeva et al., 2021). Mediante este se procedió a evaluar la concordancia con la matriz de confusión para la que se llevó a cabo bajo la siguiente ecuación.

$$Kappa = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

En donde

Po: Concordancia observada

Pe: Concordancia esperada al azar

Para obtener el valor de Po lo que se hizo fue sumar los valores de las muestras en la diagonal de la matriz de confusión, la misma que se dividió para el total de muestras tomadas, resultando en la exactitud global. Mediante la estructura de la ecuación la ecuación para obtener el Po fue:

$$Po = am_{11} + am_{22} + \dots/\alpha$$

Y la ecuación para obtener el Pe se realiza mediante la multiplicación del total de muestras de la primera clase horizontal por el total de muestras de la primera clase vertical sumado por la multiplicación del total de muestras de la segunda clase horizontal por el total de muestras de la segunda clase vertical, hasta terminar el total de muestras de cada clasificación y finalmente se lo divide por la potencia del total general de muestras, así como se presenta en la ecuación:

$$Pe = (a_1 * a_{.1}) + (a_2 * a_{.2}) \dots/\alpha^2$$

En la tabla 7 se ubican los valores permisibles para el índice de Kappa

Tabla 7. Esquema del índice de Kappa

| Ítem | Índice | % |
|--------------------------|--------|------|
| Exactitud global (Po) | 1 | 100% |
| Porcentaje esperado (Pe) | 0,2 | 20% |
| Índice de Kappa (K) | 1 | 100% |

Nota: Tabla base para los resultados del índice de Kappa **Elaborado por:** Shigui (2024)

Como se observa en la tabla 8, se muestra un límite del grado de acuerdo estimado con el resultado del cálculo del índice de Kappa, para obtener una evaluación cuantitativa de la similitud entre dos metodologías (Vergni et al., 2021), en el mapeo de uso de suelos, el índice de kappa evalúa la precisión temática, comparando clasificaciones automáticas con imágenes satelitales (De Carvalho et al., 2024), es decir que mide el grado de concordancia entre dos conjuntos de datos categóricos, demostrando su confiabilidad

Tabla 8. Límite de valores de concordancia propuesto por Landis y Koch

| Kappa | Estimación del grado de acuerdo |
|-------|---------------------------------|
| <0 | No acuerdo |

| | |
|---------|----------------|
| 0.0-0.2 | Insignificante |
| 0.2-0.4 | Bajo |
| 0.4-0.6 | Moderado |
| 0.6-0.8 | Bueno |
| 0.8-1.0 | Muy bueno |

Nota: valores para validar la matriz de confusión. Fuente: Rubiales (2018)

9.7.5 Matriz de transición

La matriz de transición, o también conocida como la matriz de Pontius, consiste en describir la transición que dos zonas distinguidas por un intervalo de tiempo pueden llegar a tener, lo que permite la comprensión de la evolución de los patrones mediante el tiempo (Yuan et al., 2023). Para emplear esta metodología se crea una tabla con arreglos simétricos, en esta las columnas van ordenadas por la cobertura vegetal del año actual y las filas están ordenadas por el primer año de estudio, mientras que, los valores en diagonal de la matriz representan el área de cada clase de cobertura del periodo de estudio y finalmente los datos al exterior de la diagonal representan áreas en transición o que, a su vez, cambiaron de cobertura (Benito et al., 2021). Mediante la sumatoria de todas las filas y columnas, el resultado tiene que ser igual al área total de la zona de estudio. La matriz de transición se utilizó con la finalidad de visualizar los cambios en la cobertura vegetal entre los años 2013 al 2023.

La estructura de la matriz de transición que se observa en la tabla 9, de acuerdo con Farfán et al. (2016), cuenta con las ganancias (G_j) como la diferencia de las celdas de las áreas totales de la cobertura para el Año 2, que refiere al más actual, (Columnas) mientras que las pérdidas (L_i) se encuentran representada entre las celdas de las áreas totales de la cobertura para el Año 1, que es el año más antiguo de estudio (fila) y la persistencia.

Tabla 9. Matriz de transición para determinar los cambios de cobertura vegetal

| | | Año 2 | | | Suma total fecha 1 1(Pi+) | Pérdida (Li) |
|-------|---|-------|---|---|---------------------------------|-----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | |
| Año 1 | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | |
| | 3 | | | | | |

| | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|---------|-----|--------|
| 1 | P11 | P12 | P13 | P1+ | P1-P11 |
| 2 | P21 | P22 | P23 | P2+ | P2-P22 |
| 3 | P31 | P32 | P33 | P3+ | P3-P33 |
| Suma total fecha 2 (P+j) | P+1 | P+2 | P+3 | 1 | |
| Ganancia (Gj) | P+1-P11 | P+2-P22 | P+3-P33 | | |

Nota: Esquema de matriz de transición para estimación de ganancia y pérdida de cobertura vegetal. Fuente: (Farfán et al., 2016)

En donde:

Gj: Ganancia i y j: Diferencia del área total de una clase o tipo de cobertura

P+j: Año 2

Li: Perdida

Pi: Año 1

Pjj: Diagonal de la matriz

Así mismo Farfán et al. (2016), propone las ecuaciones para calcular la pérdida y ganancia de áreas dependiendo la clase. Y para el cálculo de la ganancia, se requiere de la diferencia del área total de una clase o tipo de cobertura perteneciente del año más actual y de la persistencia que se encuentran en la diagonal de la matriz, lo que genera la siguiente ecuación:

$$Gj = (P + j) - (Pjj)$$

Por otro lado, para la estimación de la pérdida se utilizó de la diferencia del área total de una clase o tipo de cobertura que pertenece al primer año generado por la siguiente ecuación:

$$(Pjj), Li = (Pi +) - (Pjj)$$

9.7.6 Cálculo del cambio de la cobertura vegetal

Para calcular el cambio de la cobertura vegetal se realizó una resta entre el área y porcentaje del primer año y el año más actual y el resultante del mismo sería el porcentaje de cambio de

cobertura vegetal en comparativa de los años, en este caso si el valor de la resta es negativo es porque existe una pérdida de vegetación, en cambio, si la superficie y tasa anual de cambio (t) es mayor de cero hay un aumento de cobertura vegetal.

Tabla 10. Esquema de la matriz a usarse para el cálculo de la cobertura vegetal

| Clases | Año 2013 | | Año 2013 | | Superficie y tasa anual de cambio (t) | |
|-----------------------|----------|---|----------|---|---------------------------------------|-----|
| | Ha | % | Ha | % | Ha | TAC |
| 1 Tierra herbácea | a1 | | b1 | | a1-b1 | % |
| 2 Tierra arbustiva | a2 | | b2 | | a2-b2 | % |
| 3 Tierra agropecuaria | a3 | | b3 | | a3-b3 | % |
| 4 Suelo den cobertura | a4 | | b4 | | a4-b4 | % |
| 5 Zona antrópica | a5 | | b5 | | a5-b5 | % |
| Área total | | | | | | |

Nota: Matriz para calcular el cambio de cobertura vegetal mediante el área de cada tipo.

Elaborado por: Shigui (2024)

9.8 METODOLOGIA DEL OBJETIVO 3

9.8.1 METODO CARTOGRAFICO

Este método se ocupó para establecer los mapas cartográficos, delimitación de área, cobertura vegetal, cambios ocurridos y uso de suelos de la parroquia Belisario Quevedo, mediante el procesamiento de bandas e imágenes satelitales. Para desarrollar esta metodología y crear los mapas se optó por el software ArcGIS lo que facilito la presentación visual de los mapas. El método cartográfico se refiere a el conjunto de técnicas y procedimientos utilizados en la

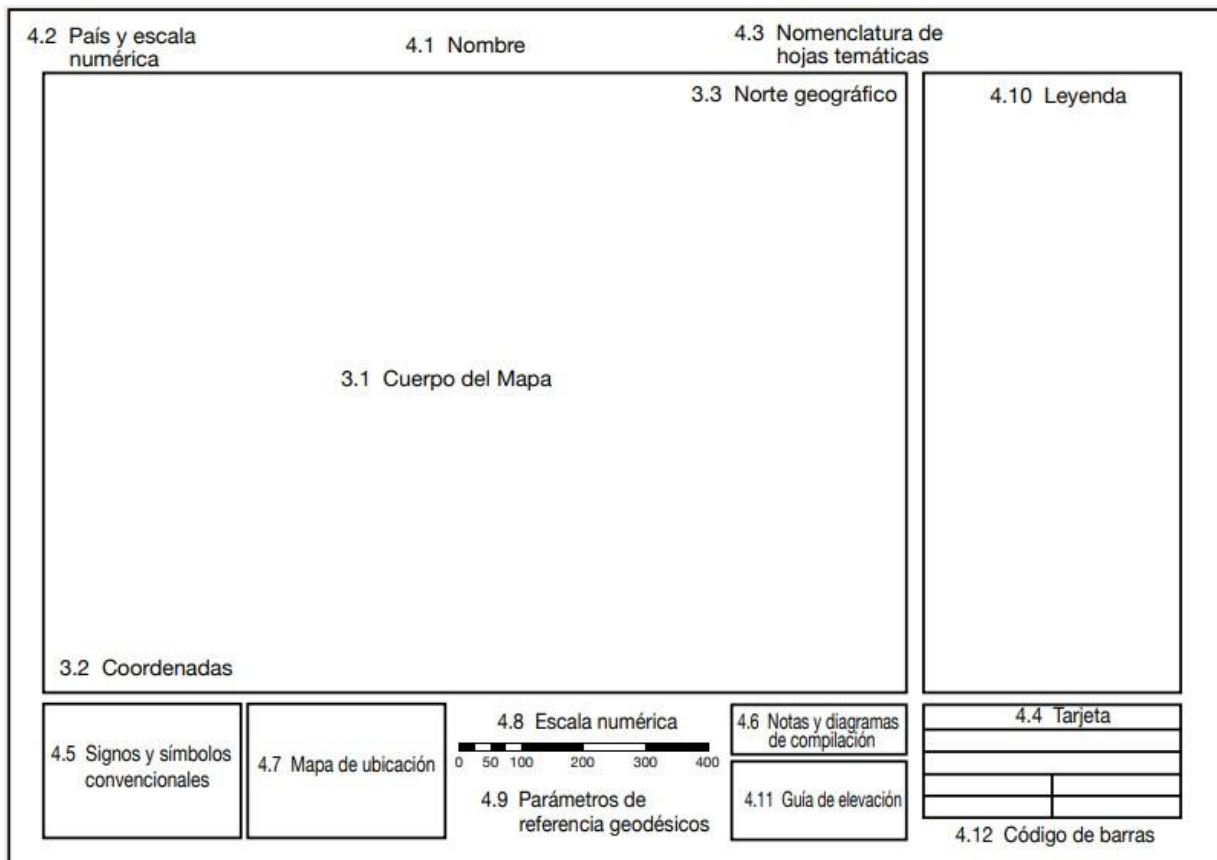
elaboración, análisis e interpretación de mapas, este método es fundamental en la representación espacial de datos (López et al., 2022).

9.8.2 ELABORACION DE MAPA CARTOGRAFICO

La elaboración de mapas se realiza con la ayuda del software ArcGIS, la elaboración de los mapas fueron realizadas con los detalles de las metodologías antes propuestas, estas presentan sus respectivas leyendas, respectivamente, para identificar las características del mapa cartográfico.

Se presenta una sugerencia grafica del diseño, configuración y ubicación de la cartografía y los datos marginales mínimos, los elementos expuestos podrían ser opcionales al momento de realizar los mapas.

Figura 8 Estándares de información geográfica



Nota: Guía para realizar mapas cartográficos. **Fuente:** Sistema de información geográfica (2012)

Según Cubides (2022), los mapas se enfocan en diferentes partes según su función o lo que muestren, sin embargo, tienen en común algunos elementos, las partes principales de un mapa podría ser:

- Ubicación
- Coordenadas
- Norte geográfico
- Información marginal
- País y escala numérica
- Tarjeta de membrete
- Mapa de ubicación

- Escala de impresión
- Leyenda

10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

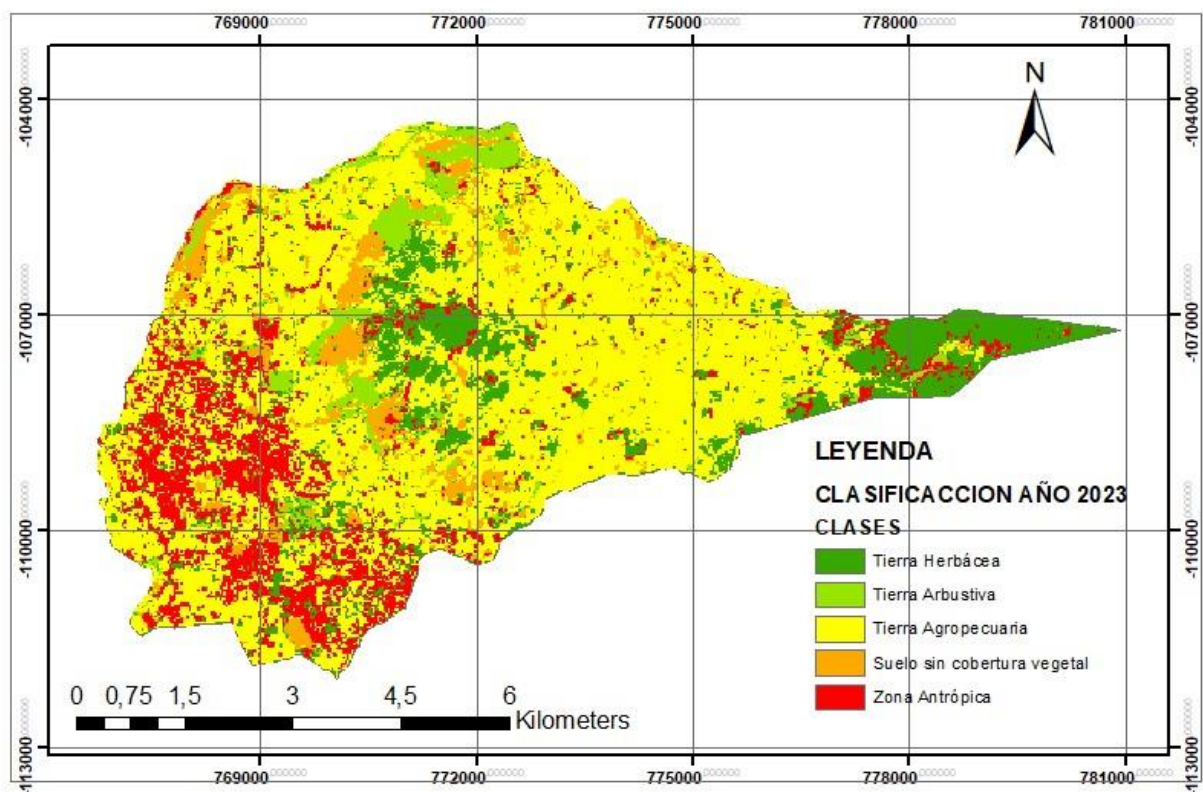
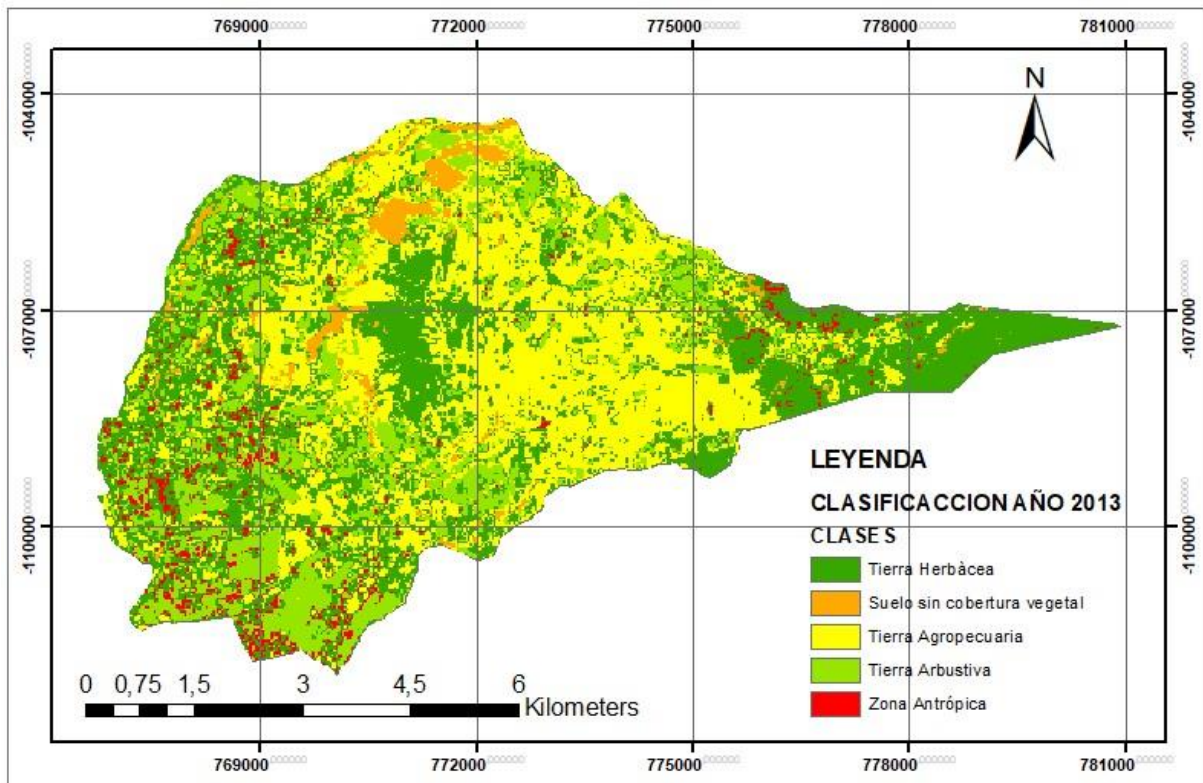
Principalmente, a partir de los resultados de las bandas ya procesadas se procedió a realiza el estudio de cambio de cobertura vegetal y uso de suelos en un intervalo de tiempo de 10 años (2013-2023)

10.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL CAMBIO DE LA COBERTURA VEGETAL

10.1.1 Clasificación de la cobertura vegetal 2013

En la figura 9 se puede observar el mapa cartográfico de la cobertura vegetal del año 2013 y del 2023 correspondientemente y su distribución a lo largo de su área total, estas se clasifican mediante la temática propuesta de 5 niveles que están compuestas por: Tierra herbácea, Tierra arbustiva, Tierras agropecuarias, Suelo sin cobertura vegetal y Zona antrópica, las que se pueden distinguir en las leyendas de cada mapa. En el mapa de la cobertura vegetal del año 2013 se observa que existía una gran extensión de suelos que se usaban para la agricultura y ganadería, le siguen las tierras herbáceas y arbustivas, tiene un bajo índice de zonas antrópicas y finalmente los suelos sin cobertura vegetal, esto debido a que hasta el año 2013 en la parroquia Belisario Quevedo la extensión de población era baja y se dedicaban en gran escala a la siembra de diferentes productos para la comercialización. Según Granja (2024), menciona que Latacunga es un canton dedicado a la producción agropecuaria, con cultivos de papa, cereales, leguminosas y la crianza de ganado, además Belisario Quevedo se ve involucrado en esta producción, adicionalmente se suma a las áreas herbáceas con pajonales, y pasto de tallo corto en extensión de paramos.

Figura 9 Cobertura vegetal del año 2013 y del año 2023



Nota: Imagen comparativa entre la cobertura vegetal del año 2013 y 2023 de la parroquia

Belisario Quevedo Elaborado por: Shigui (2024)

En la tabla 11 se ubica el cálculo de la división temática, separada por cinco clases con sus respectivas áreas, estas representan la clasificación supervisada del año 2013 de la parroquia

Belisario Quevedo. De acuerdo con Pino y Ortega (2024), el PIB de Ecuador en el sector agropecuario aporta un poco más del 7% y el ganadero un 35%, lo que refuerza los resultados obtenidos, en donde la clase que más destaca es la tierra agropecuaria con un total de 1940 Ha (38,98%) reflejando la productividad de la parroquia en legumbres (frijol, habas), verduras (papas, maíz, acelga, lechuga, apio, perejil, zanahoria) y productos pecuarios (cuyes, conejos, gallinas, chanchos, vacas y producción de leche). Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2024) los productores de diferentes cantones, se capacitan en la producción de especies menores, es decir, cría y manejo de especies como cuyes, pollos y cerdos, lo que es un punto favorable de la producción agrícola y pecuaria en la sostenibilidad económica que genera para la población, ya que dicha producción sirve de consumo propio y a la vez de comercialización en las plazas y mercados del cantón generando ingresos para los pobladores. La tierra herbácea se determinó con una extensión total de 1689 Ha (33,94%) cubierta en su mayoría por paja, musgo, picuyo, pastizales, senecio, plantago entre otros tipos, estas especies se encuentran situadas a mayor escala en el área que abarca el cerro Putzalahua, con un ecosistema diversificado y similar al de los páramos andinos. La tierra arbustiva que conforma un 941 Ha (18,91%) conformada por matorrales como el chilco o áreas boscosas conformadas por Eucalipto, pino y la familia arbórea del *Polylepis*, los que son considerados grandes receptores de agua que hacen que los suelos se mantengan húmedos y sean aptos para realizar actividades ligadas con el uso del suelo fértil, además los ecosistemas ayudan a regular el clima y reducen las emisiones (Campos et al., 2022), lo que permite el desarrollo de la flora y fauna diversas. La expansión del suelo sin cobertura vegetal 203.2 Ha (4.8%) dentro de este porcentaje se puede mencionar la erosión de suelo, deforestación o terrenos abandonados que han dejado de ser productivos. Finalmente, la zona antrópica con un área de 202,8 Ha (4,07%) representando las zonas de viviendas, o construcciones de diferentes tipos, lugares intervenidos por las personas de la parroquia. De esta manera, se determinó que la clasificación y su amplitud en cada una de sus clases, indicando que existe un predominio de las tierras agropecuaria en el año 2013.

Tabla 11 Área total de la cobertura vegetal del año 2013

| ÁREA CLASIFICADA | | | |
|------------------|-----------------------------|-----------|--------|
| | Clasificación | Área (Ha) | % |
| 1 | Tierra Herbácea | 1689 | 33,94% |
| 2 | Tierra Arbustiva | 941 | 18,91% |
| 3 | Tierra Agropecuaria | 1940 | 38,98% |
| 4 | suelo sin cobertura vegetal | 203,2 | 4,08% |
| 5 | Zona antrópica | 202,8 | 4,07% |
| Total | | 4976 | 100% |

Nota: Superficie total de la parroquia Belisario Quevedo año 2013, dividida por clases y calculada mediante el software ArcGIS **Elaborado por:** Shigui (2024)

En la tabla 12, se aprecia la matriz de confusión que valida la precisión de los resultados de la calificación supervisada realizada para la cobertura vegetal del año 2013, en la que se realizó 50 muestras por cada una de las clasificaciones de tierras, además esta cuenta con errores de comisión que representan las muestras que están en una clasificación que no pertenece a la suya y error de omisión que pertenece a muestras que pertenecen a esa clasificación pero están contabilizadas en otra clase. Asimismo se realizó el conteo de las muestras totales de las 5 categorías, que representa un total de 250 muestras.

Mediante los resultados conseguidos en la matriz de confusión se puede determinar que existe ciertas muestras tanto que pertenecen y que no pertenecen a algunas de las clasificaciones temáticas, sin embargo, son menores y no generan problema en los resultados obtenidos, en los errores de Omisión esta: Tierra herbacea (0), Tierra arbustiva (1), Tierra agropecuaria (0), Suelo sin cobertura vegetal(1), Zona antrópica (7) y en los errores de Comision: Tierra herbacea (4) precisión 92,54%, Tierra arbustiva (0) precisión 100%, Tierra agropecuaria (1) precisión 98,04%, Suelo sin cobertura vegetal(3) 94,23, Zona antrópica (1) precisión 97,73%, con un total de precisión del 96,52%, lo que demuestra la alta eficiencia en la clasificación supervisada realizada para este año.

Tabla 12. Matriz de confusión de la cobertura vegetal del año 2013

| | | CLASES DE MUESTREO | | | | | Total | Precisión | Error Comisi ón |
|----------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|------------|-----------|--------------------|
| | | Tierra herbácea | Tierra arbustiva | Tierras agropecuarias | Suelo sin cobertura vegetal | Zona antrópica | | | |
| CLASES DE MAPA | Tierra herbácea | 50 | 1 | 0 | 0 | 3 | 54 | 92,59 | 4 |
| | Tierra arbustiva | 0 | 49 | 0 | 0 | 0 | 49 | 100,00 | 0 |
| | Tierras agropecuarias | 0 | 0 | 50 | 0 | 1 | 51 | 98,04 | 1 |
| | Suelo sin cobertura vegetal | 0 | 0 | 0 | 49 | 3 | 52 | 94,23 | 3 |
| | Zona antrópica | 0 | 0 | 0 | 1 | 43 | 44 | 97,73 | 1 |
| Total | | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 250 | 96,52 | |
| Error Omisión | | 0 | 1 | 0 | 1 | 7 | | | |

Nota: Validación de la cobertura vegetal del año 2013 mediante la matriz de confusión

Elaborado por: Shigui (2024)

Atraves del resultado de la matriz de confusión, en la tabla 13 se obtiene el índice de kappa de un 95,5% que según su ponderación este porcentaje demuestra una alta concordancia entre el muestreo y los valores reales presentados.

Tabla 13. Índice de Kappa

| Ítem | Índice | % |
|--------------------------|--------|------|
| Exactitud global (Po) | 0,964 | 96,4 |
| porcentaje esperado (Pe) | 0,2 | 20 |
| Índice de Kappa (K) | 0,955 | 95,5 |

Nota: Índice de kappa obtenido mediante el cálculo de la matriz de confusión **Elaborado por:** Shigui (2024)

10.1.2 Clasificación de la cobertura vegetal 2023

En la figura 9 que representa la cobertura vegetal del año 2023 de la parroquia, se observa que la zona antrópica se expandió de gran manera en el lado oeste de la parroquia, dejando a visibilidad la cabecera parroquial y el aumento de las construcciones, según un estudio realizado por Cevallos et al. (2020), señala que el acercamiento de la Universidad de las fuerzas armadas-ESPE se puede considerar como una promotora socioeconómica en la parroquia, destacando el emprendimiento como uno de los principales productores, dentro de los emprendimientos que son relacionados con la expansión antrópica esta la construcción de infraestructuras como viviendas temporales para estudiantes foráneos, tiendas, salones de comida, papelerías entre otros tipo de edificaciones. De la misma manera el crecimiento de las zonas de actividad agropecuaria, se visibiliza en la mayor parte de extensión del mapa, aun más que hace 10 años, lo que hizo que tanto las áreas herbáceas, arbustivas y suelos sin cobertura vegetal disminuyera sus superficies, lo que representa un gran problema debido a la disminución de la flora endémica. Sin embargo se identificó otro problema que disminuyó las zonas herbáceas y arbustivas, debido a que su principal medio turístico se vio afectado por la deforestación, incidente que involucra un incendio que se extendió 89 hectáreas alrededor de las caras del cerro Putzalahua (Sandoval, 2020), todo esto teniendo en cuenta que un suelo que es dañado después de un incendio toma meses o incluso años para poder regenerarse y volver a ser fértil, dependiendo de la intensidad del incendio forestal (Díez, 2024).

De acuerdo con la información de la tabla 14, se puede determinar que la clase que más ocupa espacio en el área de la parroquia es la Tierra agropecuaria 2954,51 Ha (59,38%), en la que se aumenta la producción de maíz, papas, producción de alfalfa, entre otros productos que son destinados a comercialización o consumo propio de las personas productoras. La zona antrópica 740,50 Ha (14,88%) esto debido al aumento de la población que hubo a lo largo del periodo de los años. La tierra herbácea 526,49 Ha (10,58%) desapareció de manera alarmante, ya que dichas zonas se utilizaron para utilizarse como zonas agropecuarias. El suelo sin cobertura vegetal 475,14 Ha (9,55%), por otro lado, aumento debido al gran índice de deforestación y causas naturales en la zona más afectada que se reconoce como el cerro Putzalahua, que tiene gran probabilidad de ser afectada por este tipo de fenómenos. Finalmente, la tierra arbustiva 279,34 Ha (5,61%), afectada por la tala indiscriminada de los bosques y los incendios forestales.

| | | | | | |
|------|------------------|-----------------------------|-----------|-------|--|
| | 1 | Tierra Herbácea | 526,49 | 10,58 | |
| | 2 | Tierra Arbustiva | 279,34 | 5,61 | <i>Tabla 14. Área total de la cobertura vegetal, año</i> |
| | 3 | Tierra Agropecuaria | 2954,51 | 59,38 | |
| | 4 | suelo sin cobertura vegetal | 475,14 | 9,55 | |
| 2023 | AREA CLASIFICADA | | | | |
| | | | Área (Ha) | % | |
| | | | | 14,88 | |
| | | Total | 4975,99 | 100 | |

5

Zona antrópica 740,50

Nota: Superficie total en hectáreas de la cobertura vegetal de la parroquia Belisario Quevedo, año 2023, con sus respectivos porcentajes **Elaborado por:** Shigui (2024)

Se observa la tabla de confusión perteneciente al año 2023, mediante la tabla 15, misma que valida precisión de los resultados obtenidos mediante la clasificación supervisada, que es de 96,51%.

En los errores de Omisión esta: Tierra herbácea (5), Tierra arbustiva (2), Tierra agropecuaria (0), Suelo sin cobertura vegetal(1), Zona antrópica (1) y en los errores de Comisión: Tierra herbácea (1) precisión 97,83%, Tierra arbustiva (3) precisión 94,12%, Tierra agropecuaria (4) precisión 92,59%, Suelo sin cobertura vegetal (1) precisión 98,00%, Zona antrópica (0) precisión 100%, con un total de precisión del 96,51%, lo que demuestra la alta eficiencia en la clasificación supervisada realizada para este año.

En esta tabla se observa una alteración en la precisión de la tierra herbácea con la tierra arbustiva y agropecuaria, y en la zona antrópica con la cobertura vegetal, obteniendo una validación con porcentaje alto para la clasificación supervisada del año 2023 de la parroquia Belisario Quevedo.

Tabla 15. Matriz de confusión del año 2023

| CLASES DE MUESTREO | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----|-----------------|------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|------------|-----------|----------------|
| | | Tierra herbácea | Tierra arbustiva | Tierras agropecuarias | Suelo sin cobertura vegetal | Zona antrópica | Total | Precisión | Error Comisión |
| | | CLASES DE MAPA | Tierra herbácea | 45 | 1 | 0 | 0 | 0 | 46 |
| Tierra arbustiva | 3 | | 48 | 0 | 0 | 0 | 51 | 94,12 | 3 |
| Tierras agropecuarias | 2 | | 1 | 50 | 1 | 0 | 54 | 92,59 | 4 |
| Suelo sin cobertura vegetal | 0 | | 0 | 0 | 49 | 1 | 50 | 98,00 | 1 |
| Zona antrópica | 0 | | 0 | 0 | 0 | 49 | 49 | 100,00 | 0 |
| Total | 50 | | 50 | 50 | 50 | 50 | 250 | 96,51 | |
| Error Omisión | 5 | 2 | 0 | 1 | 1 | | | | |

Nota: Validación de la clasificación supervisada, del año 2023 de la parroquia Belisario Quevedo, mediante el software ArcGIS **Elaborado por:** Shigui (2024)

En la tabla 16 se destaca el índice de Kappa que fue útil para evaluar la consistencia de las evaluaciones y clasificaciones para la cobertura vegetal, en donde se determina que, a pesar de las pocas inconformidades de la clasificación, el índice de Kappa da un 95,5% de certeza.

Tabla 16. Índice de Kappa

| Ítem | Índice | % |
|--------------------------|--------|-------|
| Exactitud global (Po) | 0,96 | 96,40 |
| porcentaje esperado (Pe) | 0,20 | 20,00 |
| Índice de Kappa (K) | 0,96 | 95,50 |

NOTA: Índice de kappa a partir de la matriz de confusión, año 2023. **Elaborado por:** Shigui (2024)

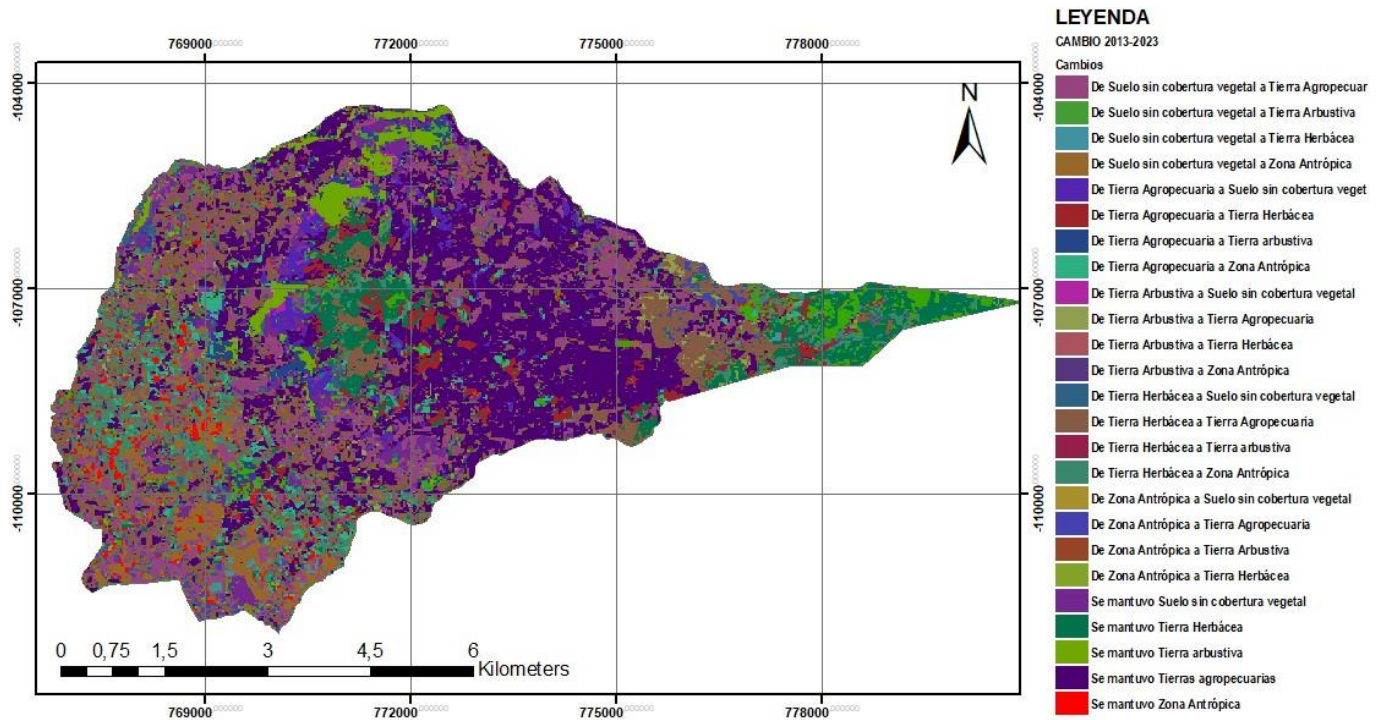
10.2 Cambios de la cobertura vegetal entre el año 2013 y 2023

La gran diferencia que se presencia entre el año 2013 al 2023 en cuanto a tierras agropecuaria e intervención antrópica demuestran la sobreexplotación agropecuaria a los suelos en el periodo de estudio, también se evidencia una disminución considerable en la tierra herbácea y arbustiva. Según datos de una encuesta realizada por el Instituto Nacional De Estadística Y Censos (2021), indican que entre los principales productores agropecuarios se encuentra Cotopaxi, tanto en compas como en ventas de los productos, lo que coincide con los resultados conseguidos en cuanto a la actividad productiva determinados dentro de la parroquia, en producción de: papas, maíz, habas, también existe la producción pecuaria de vacas, cerdos, cuyes y conejos. El aumento de la zona antrópica se debe a el aumento de población y construcción en la zona, teniendo en cuenta la llegada de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE, la construcción de nuevas vías para el transporte de productos, fabricas de producción de lácteos y otras extensiones que generaron un alto impacto en socioeconómico en la parroquia, sumado a esto, el crecimiento cantonal hace que la parroquia se vea afectada por la suma de población, afectándola directamente y haciendo que a lo largo de los años, el lugar se haya ido urbanizando de manera descontrolada.

10.3 Matriz de transición

Una vez validados los datos de la clasificación supervisada se elaboro la matriz de transición, mediante la información revelada en la figura 10, se presenta la matriz de transición del año 2013 al 2023, lo mas relevante de esta tabla es la expansión de la tierra agropecuaria y la zona antrópica, también se ve que algunos lugares mantuvieron la temática inicial, partes como las tierras herbáceas y agropecuarias.

Figura 10. Mapa de transición, 2013-2023.



Nota: Mapa cartográfico en donde se indica la transición de cobertura vegetal del año 2013 al 2023

Los principales factores que inciden en los cambios de la cobertura vegetal suelen ser incendios forestales, expansión de la frontera agrícola, tala de bosque, uso de leña, y los procesos urbanizadores, se ha comprobado, según (ONU, 2021), que el cambio climático es uno de los problemas que más podrían afectar en cuanto al cambio de la cobertura vegetal respecta.

Por otro lado, se necesita tener en cuenta la estabilidad que alguna de las clases a llegado a tener, ya que en algunos lugares se a mantenido y en otras incluso se a aumentado dejando ver la que podría ser la principal fuente económica de la parroquia. En la tabla 17 se puede comprender de manera mas detallada los diferentes cambios que se han dado en la cobertura vegetal en el periodo de tiempo ente el 2013 y 2023.

Tabla 17. Matriz de transición entre el año 2013 y 2023

Año 2023

| | | Tierra arbustiv | Tierra agropecuaria | Tierras cobertur a | Suelo sin Zona antrópica a vegetal a | herbáce 1(Pi+) (Li) | a | |
|-------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|--------------------------|--|---------------------------|---------------|---------|
| Año 2013 | Tierra herbácea | 303,57 | 40,64 | | 68,21 | 282,17 | 1594,66 | 1291,08 |
| | Tierra arbustiva | | 120,29 | | 900,05 39,72 | 17,16 | 195,60 | 75,31 |
| | Tierras agropecuarias | 5,65 | | | | 12,79 | 1893,21 | 473,55 |
| | Suelo sin cobertura vegetal | 154,26 | 82,55 | 1419,66 | 126,17 | 110,57 | 917,15 | 767,33 |
| | Zona antrópica | 35,49 | 13,43 | | 149,82 | 236,28 | 192,30 | 114,72 |
| | | 13,92 | 2,04 | 482,13 95,16 | 3,61 | 77,58 | | |
| | Suma total total | 4792,9 | | fecha 2 (P+j) 2 | Ganancia | (Gj) | Cambio | |
| | 512,89 | 258,95 | 2936,71 | 364,97 | 719,40 | | | |
| | 209,31 | 138,66 | 1517,06 | 215,14 | 641,82 | | | |
| (Ct) | 1500,40 | 213,97 | 1990,61 | 982,47 | 756,54 | | | |
| Cambio neto (Cn) | 1081,77 | -183,64 | -2463,16 | 402,36 | -604,68 | | | |

Nota: Matriz de transición del año 2013 al año 2023 mediante cálculo de áreas en el software ArcGIS. **Elaborado por:** Shigui (2024).

Mediante los resultados obtenidos, mostrados en la tabla 17 se determinan los cambios en la cobertura del suelo en la Parroquia Belisario Quevedo entre los años 2013 y 2023, en esta se examinan los resultados mediante la Ganancia (Gj), Cambio Total (Ct) y Cambio Neto (Cn). Estos cálculos nos ayudan a entender cómo han cambiado las diferentes categorías de cobertura del suelo.

La Tierra herbácea ha aumentado su área significativamente, de 303,57 ha en 2013 a 512,89 ha en 2023. La ganancia neta de 209,31 ha y el cambio neto positivo de 1081,77 ha indican una expansión notable de esta categoría durante el período. Tierra arbustiva también muestra un incremento en su área, pasando de 40,64 ha en 2013 a 258,95 ha en 2023. Sin embargo, el cambio neto es negativo (-183,64 ha), indicando que, a pesar del aumento en el área, ha habido una

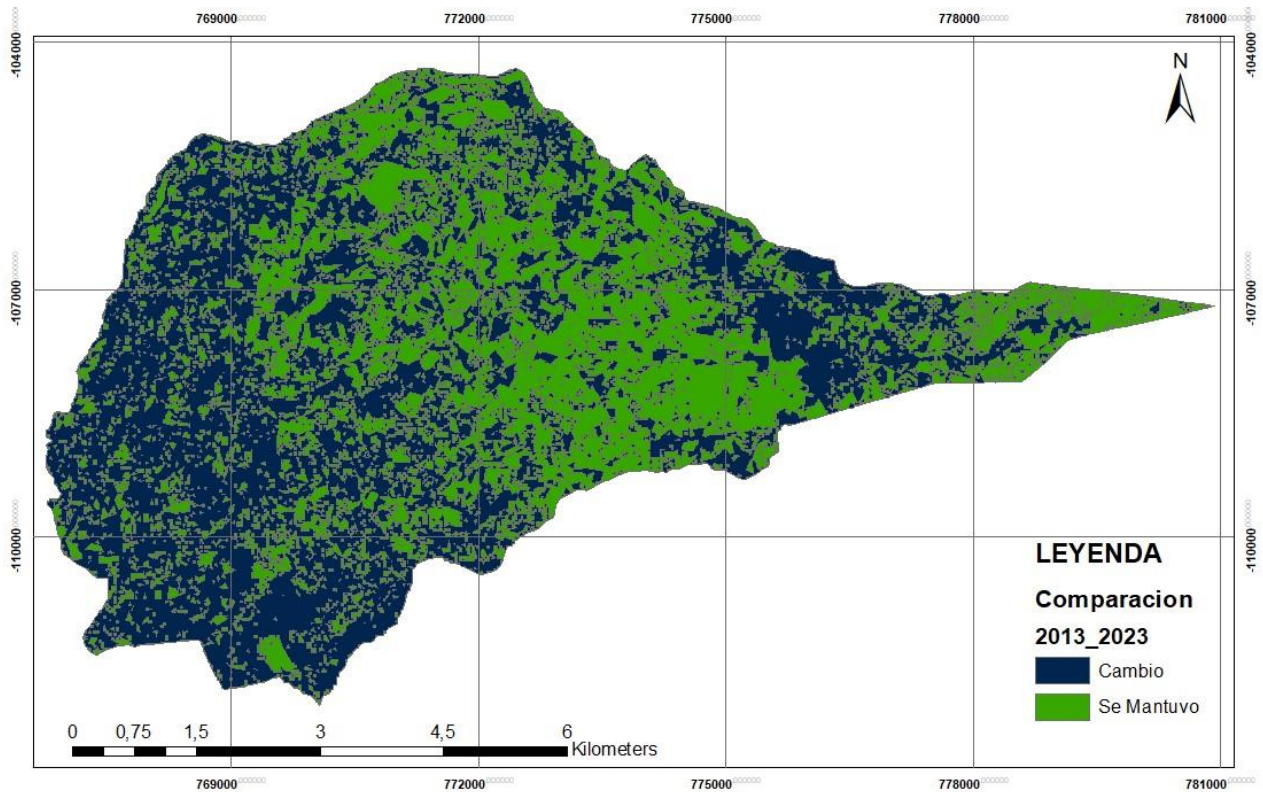
pérdida neta en comparación con otras categorías o un cambio en el uso del suelo que afecta negativamente a esta categoría. Tierras agropecuarias ha tenido un aumento significativo en su área, de 900,05 ha en 2013 a 2936,71 ha en 2023. Aunque la ganancia neta es de 1517,06 ha, el cambio neto negativo de -2463,16 ha indica una reducción considerable en otras áreas que se han convertido en tierras agropecuarias, posiblemente reflejando una conversión masiva de otras categorías. El Suelo sin cobertura vegetal ha aumentado su área de 68,21 ha en el año 2013 a 364,97 ha en el año 2023. La ganancia neta de 215,14 ha y el cambio neto positivo de 402,36 ha sugieren una expansión de áreas desprovistas de vegetación, lo que puede indicar deforestación o degradación del suelo. Finalmente, la Zona antrópica ha experimentado un aumento significativo, de 3,61 ha en el año 2013 a 192,30 ha en el año 2023. Aunque la ganancia es de 641,82 ha, el cambio neto negativo de -604,68 ha indica una conversión de otras áreas en zona antrópica, reflejando posiblemente una expansión urbana o de infraestructuras.

Bajo la interpretación de los resultados podemos inferir que, en cuanto a la expansión de Tierra Herbácea y Tierras Agropecuarias ambas categorías han visto un crecimiento significativo en su cobertura, pero la categoría de Tierras Agropecuarias muestra una conversión significativa de otras áreas. Por otra parte, existe una reducción Relativa en Tierra Arbustiva y Zona Antrópica a pesar de un incremento absoluto, hay una reducción neta en comparación con otras categorías. Finalmente, se observó un aumento en Suelo Sin Cobertura Vegetal, lo que refleja un incremento en áreas sin vegetación, lo que podría indicar deforestación o degradación. De esta manera se destaca la expansión en áreas agropecuarias y herbáceas, y una pérdida neta en otras categorías, posiblemente debido a la conversión de estas áreas en nuevas formas de uso del suelo y cobertura vegetal.

10.4 Porcentaje y su dinámica de cambio de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo

De acuerdo con la figura 11, se puede apreciar que mayor parte de la cobertura vegetal cambio a lo largo de un periodo de 10 años que inicia desde el año 2013 hasta el año 2023, esta se puede ver en el mapa con un color azul marino, mientras que con un color verde oscuro se muestra la superficie del área que se mantuvo

Figura 11. Mapa del cambio y conservación de la cobertura vegetal del año 2013 al 2023



Nota: Mapa de comparación entre las áreas que e mantuvieron y se cambiaron entre los años 2013 al 2023. **Elaborado por:** Shigui (2024).

De acuerdo con los datos de la tabla 19 se determina que el área que se mantuvo entre los años 2013 al 2023 es de 2070,92 ha (43,21%), por otro lado el área que se cambio fue de 2721,99 ha (56,79%) que ocupa un porcentaje mayor de los procesos en el periodo de estudio.

Tabla 18. Áreas de cambio y conservación de la cobertura vegetal entre los años 2013 al 2023

| 2013_2023 | | |
|------------|---------|--------|
| | Área | % |
| Cambio | 2721,99 | 56,79 |
| Se Mantuvo | 2070,92 | 43,21 |
| Total | 4792,92 | 100,00 |

Nota: Superficies calculadas mediante el software ArcGIS. **Elaborado por:** Shigui (2024).

La tabla 19 muestra el área clasificada en hectáreas (Ha) de diferentes categorías de cobertura del suelo entre los años 2013 y 2023, así también, su cambio porcentual, diferencia entre los dos años, compara el área y el porcentaje de cobertura de las diferentes categorías de uso del suelo.

Tabla 19. Dinámica de cambio de cobertura vegetal del año 2013 al 2023

| | | 2013 | | 2023 | | |
|--------------|--------------------------------|----------------------|-------|------------------------|-------|------------|
| | AREA CLASIFICADA | Área (Ha) 1689 | % | Área (Ha) 526,49 | % | Diferencia |
| 1 | Tierra Herbácea | | 33,94 | | 10,58 | 23,36 |
| 2 | Tierra Arbustiva | 203,2 | 4,08 | 279,34 | 5,61 | -1,53 |
| 3 | Tierra Agropecuaria | 1940 | 38,99 | 2954,51 | 59,38 | -20,39 |
| 4 | Suelo sin cobertura vegetal | 941 | 18,91 | 475,14 | 9,55 | 9,36 |
| 5 | Zona antrópica | 202,8 | 4,08 | 740,50 | 14,88 | -10,81 |
| Total | | 4976 | 100 | 4975,99 | 100 | |

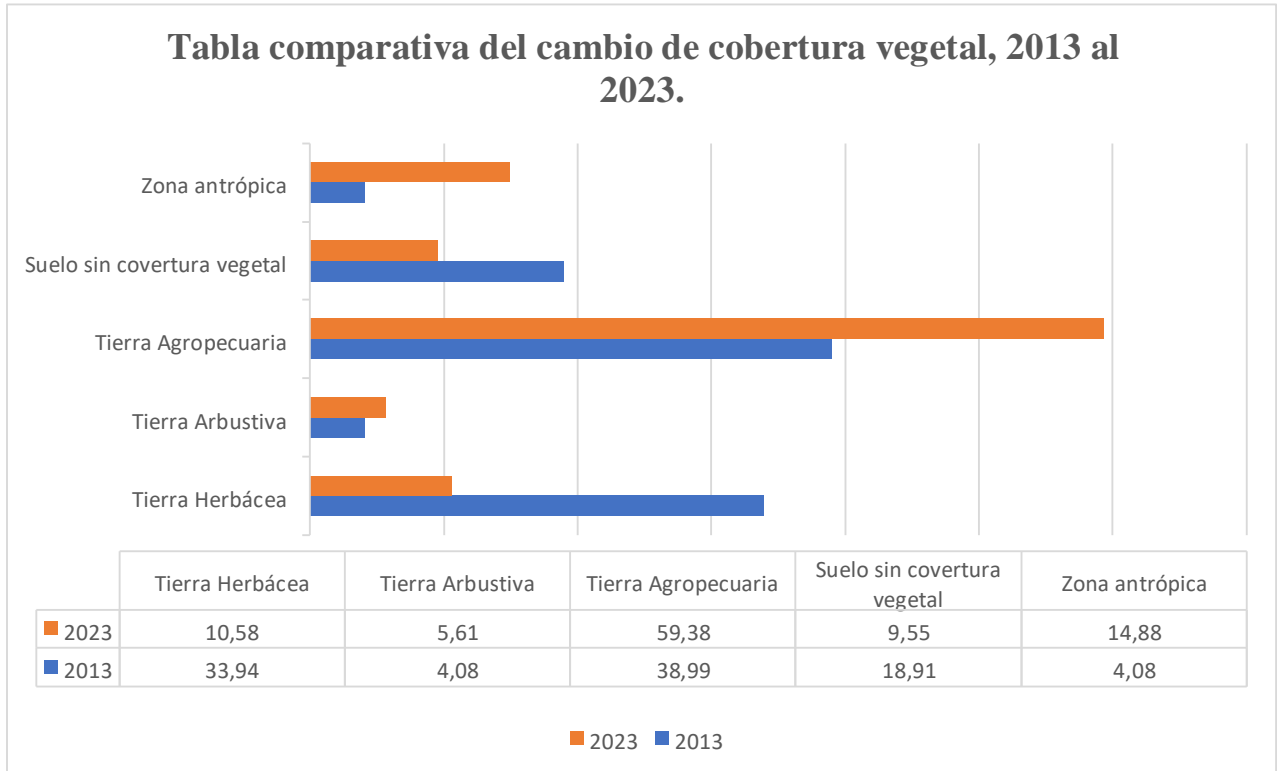
Nota: Comparación de las áreas de cobertura vegetal creadas en una tabla de Excel. **Elaborado por:** Shigui (2024)

La Tierra herbácea muestra una disminución significativa en área y porcentaje. Pasó de ser el 1689 Ha (33,94%) de la cobertura en 2013 a solo el 526,49 Ha (10,58%) en 2023, lo que indica una pérdida neta del -23,36% importante en esta categoría. La Tierra arbustiva ha aumentado ligeramente en área y porcentaje pasando de tener 203,2 Ha (4,08%) en el año 2013, a tener 279,34 Ha (5,61%) para el año 2023. Aunque la ganancia es moderada (+1,53%), muestra una tendencia hacia un incremento en la cobertura arbustiva. Las Tierras agropecuarias han experimentado un aumento considerable pasando de tener 1940 Ha (38,99%) en el año 2013 a un incremento de 2954,51 Ha (59,38%) en el año 2023. Este incremento refleja una expansión significativa (+20,39%) en el uso del suelo para actividades agropecuarias, lo que también indica que existió una conversión de otras categorías hacia uso agropecuario. Suelo sin cobertura vegetal ha disminuido tanto en área como en porcentaje, en el año 2013 contaba con un total de 941 Ha (18,91%) y para el año 2023 disminuyó a 475,14 Ha (9,55%). Esto promueve una diferencia medianamente significativa (-9,36%) y podría sugerir una rehabilitación o cobertura de áreas previamente desprovistas de vegetación. Finalmente, la Zona antrópica ha visto un aumento notable en área y porcentaje, indicando una expansión en áreas urbanas o modificadas por actividades humanas, pasando de 202,8 Ha (4,08%) en el año 2013 a 740,50 Ha (14,88%) en el año 2023 con un aumento significativo (+10,81%) en esta categoría.

10.5 Informaciones geográficas del cambio de cobertura vegetal

Por medio de la figura 12, se observa con mayor detalle el cambio de la dinámica de cobertura vegetal de la parroquia.

Figura 12. Dinámica de la cobertura vegetal, ganancias y pérdidas de cobertura



Nota: Comparativa de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal mediante porcentajes en los años 2013 al 2023 de la parroquia Belisario Quevedo. **Elaborado por:** Shigui (2024).

Mediante el análisis se puede inferir que, primeramente, la Tierra Herbácea disminuyó y ha perdido una gran proporción de su cobertura, lo que sugiere una transformación importante en el uso del suelo. Sin embargo, hubo un incremento en Tierra Agropecuaria, lo que puede indicar una conversión de otras categorías en tierras agrícolas. El aumento en Zona Antrópica refleja una urbanización o desarrollo urbano creciente. La reducción en Suelo sin Cobertura Vegetal podría indicar una mejora en la cobertura del suelo o restauración de áreas.

10.6 Mapas Cartográficos

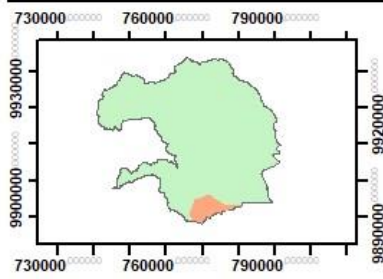
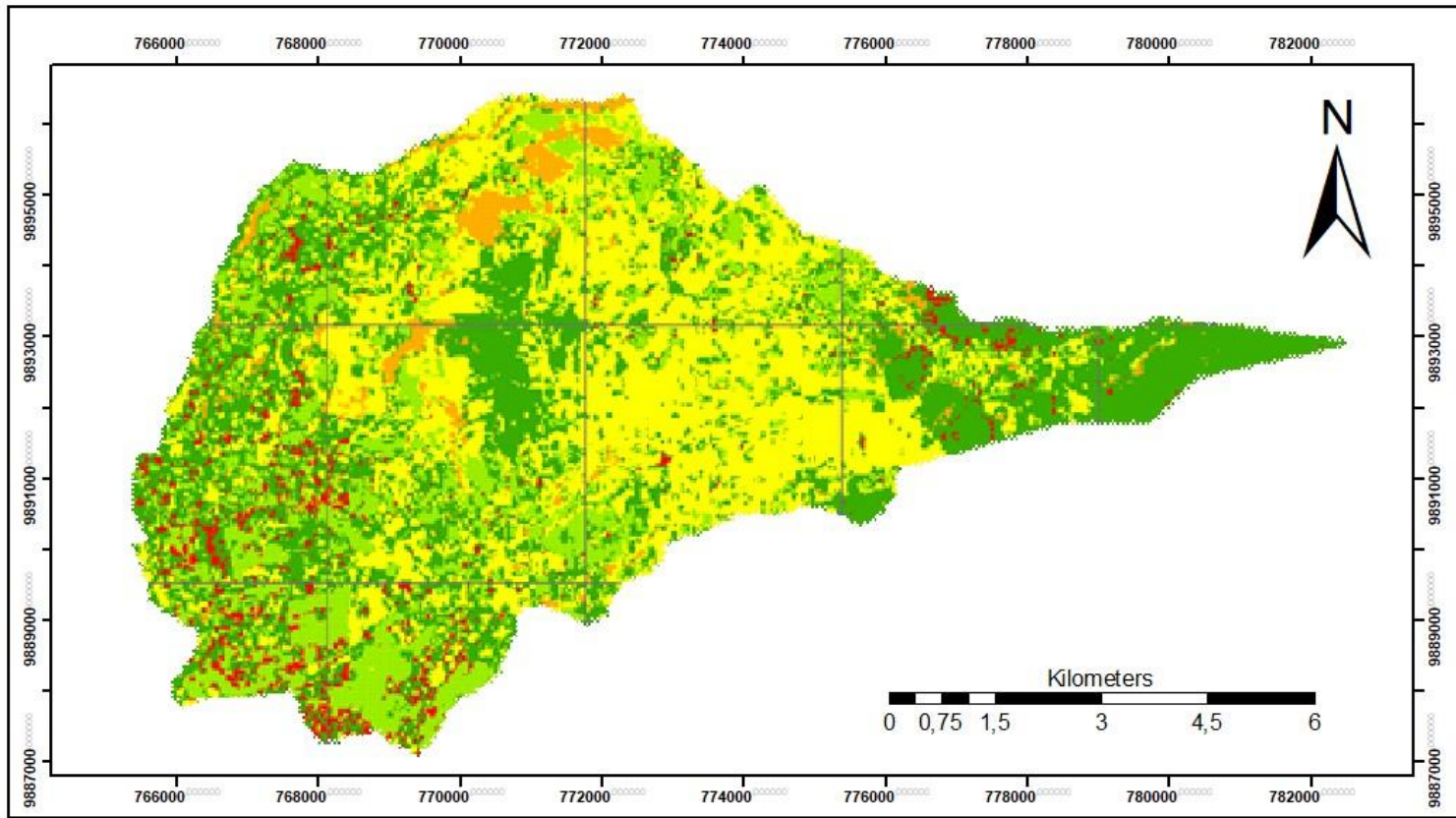
La creación de mapas cartográficos del cambio de cobertura vegetal es una herramienta que puede llegar a resolver problemas ambientales, socioeconómicos y de planificación territorial. Según Chen (2023) los mapas cartográficos son de gran ayuda para la planificación urbana, ya que detallan las divisiones y estructuras para la planificación del desarrollo sostenible. Estos

mapas permiten el monitoreo y gestión ambiental, ya que facilitan la detección de la deforestación y degradación del suelo, identificando áreas donde la cobertura vegetal ha disminuido debido a actividades humanas como la expansión agrícola, la urbanización o la falta de cobertura vegetal. Desde la perspectiva del ordenamiento territorial de Frederick (2024), los mapas cartográficos son esenciales en la planificación urbana debido a su diseño e información proporcionada, como la planificación del uso del suelo, que relativamente es el propósito de la creación de los mapas de cobertura en Belisario Quevedo, ya que facilitan la toma de decisiones sobre el aprovechamiento sostenible de la tierra y evitan su sobreexplotación identificando áreas críticas y zonas vulnerables a la desertificación (Silva et al., 2024). Otro aspecto importante es su aplicación en la evaluación del impacto del cambio climático, pues permiten estimar la reducción de cobertura vegetal que, eventualmente, afecta la temperatura, humedad y disponibilidad de agua en determinadas zonas. (Valle et al., 2023),

En la parroquia Belisario Quevedo, la cobertura agropecuaria ha aumentado significativamente en los últimos 10 años, los mapas pueden identificar las áreas más afectadas por la expansión agrícola y mediante esta información proponer zonas de reforestación o conservación. Estos hallazgos coinciden con lo descrito por Zahra et al. (2023), en el ámbito de la sostenibilidad agrícola y gestión de recursos hídricos ya que los mapas cartográficos podrían prevenir la expansión descontrolada de la agricultura, lo que ayuda a regular el crecimiento de la frontera agrícola y evitar la sobreexplotación del suelo. Además, facilitan la gestión del agua, ya que permiten la identificación de cuencas hidrográficas afectadas por la deforestación y la reducción de cobertura vegetal, aspectos esenciales para el equilibrio ecológico (Bajirao et al., 2024).

10.6.1 Mapa Cartografico de la cobertura vegetal del año 2013

COBERTURA VEGETAL 2013



Leyenda

Clasificación Temática
Class_Name

- Tierra herbácea
- Tierra arbustiva
- Tierras agropecuarias
- Suelo sin cobertura vegetal
- Zona antrópica

| AREA CLASIFICADA | |
|-----------------------------|-----------|
| Clasificación | Área (Ha) |
| Tierra Herbácea | 1689 |
| Tierra Arbustiva | 941 |
| Tierra Agropecuaria | 1940 |
| suelo sin cobertura vegetal | 203,2 |
| Zona antrópica | 202,8 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

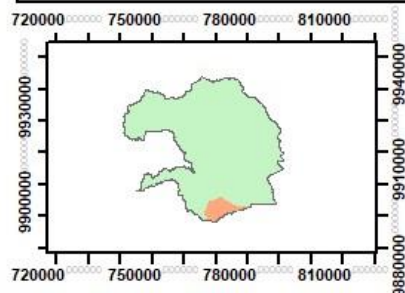
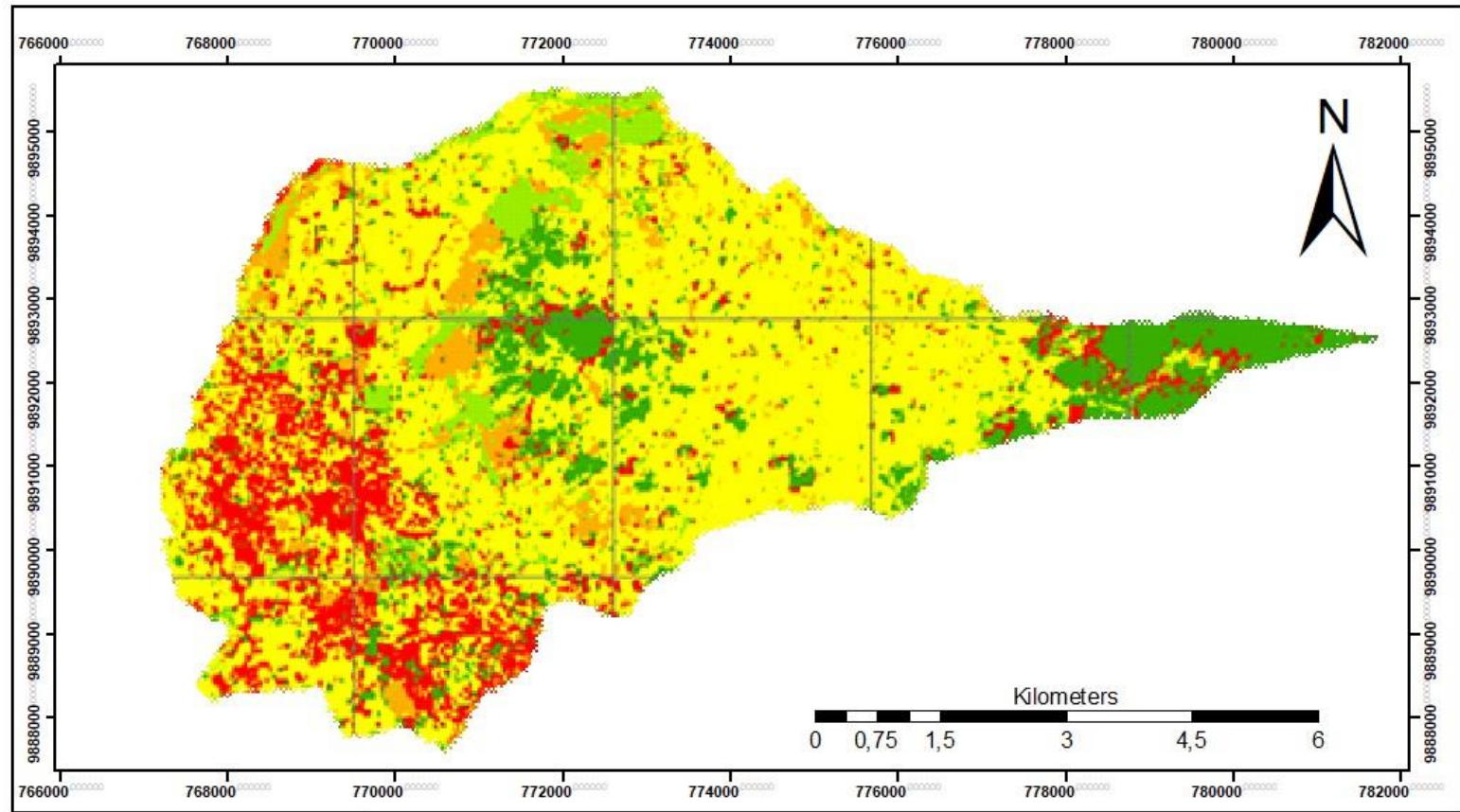
Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal (2013 al 2023) de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Elaborado por:
KERLY DAYANNA SHIGUI LEMA

ESCALA: 1:100.000

10.6.2 Mapa Cartografico de la cobertura vegetal del año 2023

COBERTURA VEGETAL 2023



Leyenda

Clasificación Temática

Class_Name

- Tierra herbácea
- Tierra arbustiva
- Tierras agropecuarias
- Suelo sin cobertura vegetal
- Zona antrópica

| AREA CLASIFICADA | |
|-----------------------------|-----------|
| | Área (Ha) |
| Tierra Herbácea | 526,49 |
| Tierra Arbustiva | 279,34 |
| Tierra Agropecuaria | 2954,51 |
| suelo sin cobertura vegetal | 475,14 |
| Zona antrópica | 740,50 |

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

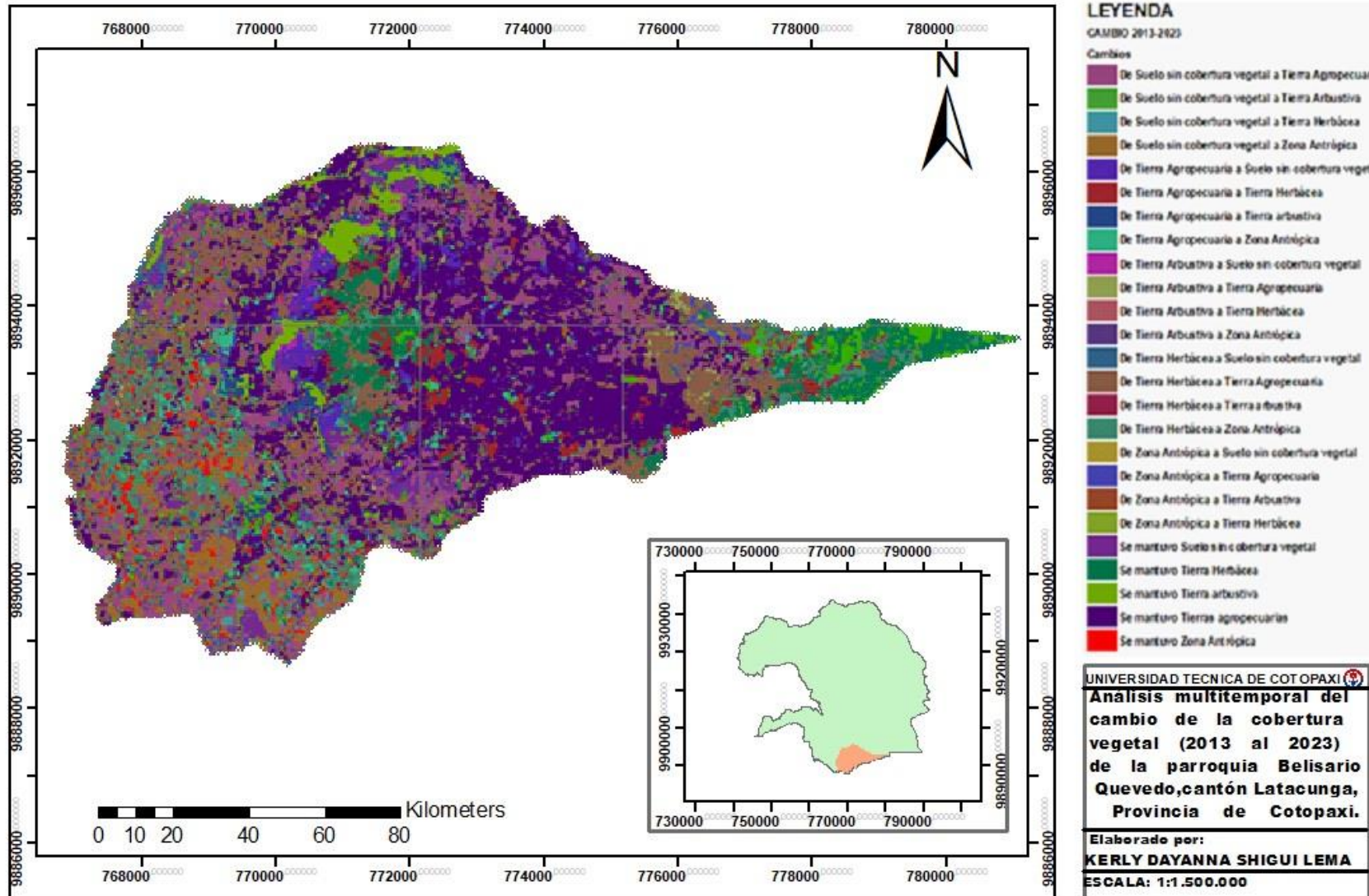
Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal (2013 al 2023) de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Elaborado por:
KERLY DAYANNA SHIGUI LEMA

ESCALA: 1:100.000

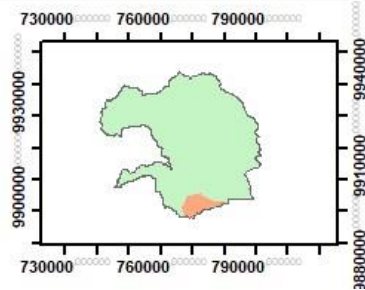
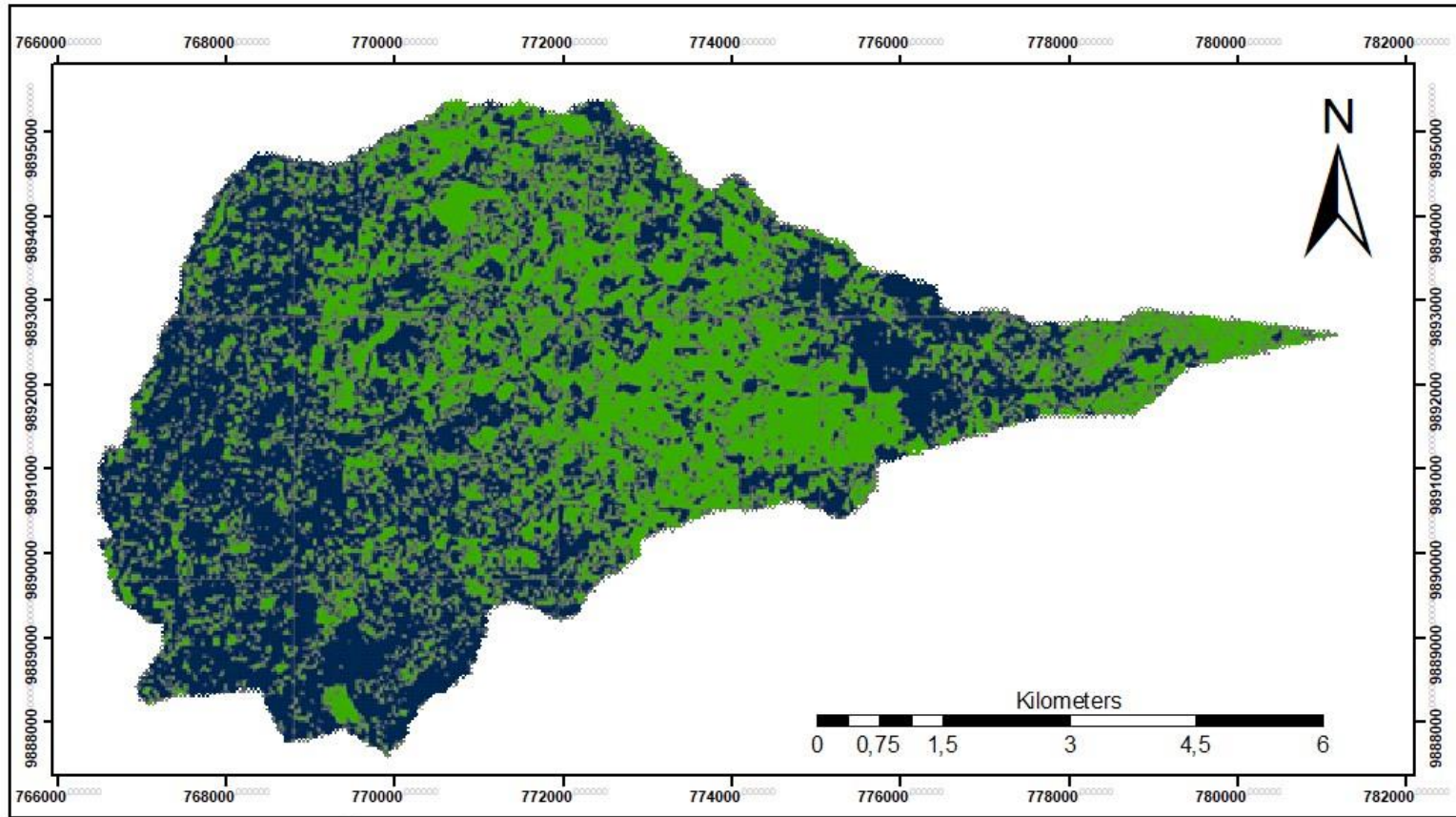
10.6.3 Mapa Cartografico de las áreas que cambiaron

CAMBIOS DE LA VEGETACION (2013 AL 2023)



10.6.4 Mapa Cartografico de la las zonas que cambiaron y se mantuvieron

ZONAS DE CAMBIO ENTRE EL AÑO 2013 AL 2023



LEYENDA

Comparacion

2013_2023

- Cambio
- Se Mantuvo

| 2013_2023 | | |
|--------------|----------------|---------------|
| | Area | % |
| Cambio | 2721,99 | 56,79 |
| Se Mantuvo | 2070,92 | 43,21 |
| Total | 4792,92 | 100,00 |

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal (2013 al 2023) de la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

Elaborado por:
KERLY DAYANNA SHIGUI LEMA

ESCALA: 1:100.000

11 IMPACTOS SOCIALES, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS

11.1 Impactos sociales

Mediante los resultados obtenidos, se puede determinar para los impactos sociales que se pueden generar por el cambio de uso de suelos y cobertura vegetal, se encuentra en primer lugar, el desplazamiento y reasentamiento de la población local, ya sea para expansión agrícola o urbanización de la zona. Otra de las razones es el cambio en la calidad de vida, esto debido a las pérdidas de áreas naturales que afectan de cualquier manera a las comunidades. En esta se da la oportunidad para concientizar y generar más conocimiento acerca de la educación ambiental, lo que podría disminuir este tipo de traslados, además, se puede realizar un programa de participación y concientización del lugar, de esta manera se genera una participación parroquial y por lo tanto una responsabilidad para la gestión y disminución de los impactos generados a la biodiversidad que existe. Los datos y hallazgos obtenidos mediante la investigación podrían ser utilizados con fines de mejorar el uso de los suelos en la parroquia Belisario Quevedo, e incluso podría servir como una base de reglamentación ambiental que se puede fomentar y utilizar dentro del lugar lo que puede contribuir en la valoración de las culturas y tradiciones de las comunidades mas cercanas.

11.2 Impactos ambientales

Con la ayuda del análisis multitemporal de la parroquia Belisario Quevedo se ha podido obtener información importante que contribuye con estudios a futuro, el área principal de conservación es el área del cerro Putzalahua, este tiene un impacto significativo con los datos obtenidos, debido a la tala indiscriminada y la expansión agrícola que afectan la conservación de sus ecosistemas. La información permite identificar las áreas críticas que necesitan remediación, protección de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que pueden aportar. Los resultados de esta evaluación influyen en la toma de decisiones para salvaguardar las especies que en esta podrían habitar.

Desde otra perspectiva, la identificación de las áreas degradadas facilita la planificación de actividades de restauración, como la reforestación y la creación de zonas protegidas. En cuanto al cerro Putzalahua, podría ser de gran importancia tanto como fuente de agua de consumo o de riego. Finalmente, mediante la conservación y manejo sostenible del cerro se pueden crear beneficios y servicios ecosistémicos, como la captura de carbono, lo que es esencial para mitigar el cambio climático, el mantenimiento de la calidad de aire y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

11.3 Impactos económicos

Gracias a los datos obtenidos, se puede definir que la parroquia Belisario Quevedo puede tener un alto impacto económico por su potencial turístico, esta es una practica que se ha llevado a cabo desde tiempos anteriores incluso en el cerro putzalahua se puede encontrar actividades como: parapente, ciclismo, excursiones o campamentos. Otra de las actividades que impulsa la economía en el lugar es destacada debido a la Universidad de las fuerzas armadas ESPE, por la cual se ha extendido la urbanización y el comercio dentro de la parroquia.

12 CONCLUSIONES

- La evaluación multitemporal de la cobertura vegetal en Belisario Quevedo se realizo mediante la combinación de bandas espectrales y el manejo del software ArcGIS para la clasificación de diferentes tipos de coverturas en el área, para mayor precisión se determino un periodo de estudio para la obtención de las imágenes satelitates del año que contengan buena visivilidad y baja nubosidad con la finalidad de que se genere un correcto análisis y obtención de resultados en el periodo de estudio.
- El análisis de la cobertura vegetal en la parroquia Belisario Quevedo durante el período 2013 al 2023 revela una transformación considerable en el uso del suelo. La superficie de tierra herbácea a disminuido en un 23,36%, la cobertura de tierra arbustiva a aumentado en un 1,53%, en la categoría de tierras agropecuarias, se a visto un aumento considerable representando un incremento del 20,39% y el suelo sin cobertura vegetal ha disminuido en un 9,36%, mediante estos resultados se concluye que en un lapso de 10 años la cobertura vegetal de la parroquia a cambiado en varios aspectos, sin embargo existe un aunmento considerable en el área agrícola y ganadera.
- El incremento en la superficie de tierras agropecuarias y la ligera expansión de zonas antrópicas indica un aumento en la presión humana sobre los recursos naturales, la expansión agropecuaria a superado el crecimiento de todas las categorías, mientras que la categoría de tierra arbustiva es la de menor porcentaje de cambio. Esto señala la necesidad de estrategias efectivas de manejo y conservación para mitigar los impactos negativos sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, La combinación de políticas de conservación, reforestación y desarrollo agrícola podrían ser esenciales para abordar los desafíos actuales y proteger la integridad ecológica de la parroquia Belisario Quevedo en el futuro

13 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la creación de áreas protegidas para conservar los remanentes de tierra herbácea y otros ecosistemas críticos. Estas áreas protegidas deben incluir zonas de alta biodiversidad y funciones ecológicas esenciales, como la regulación del agua y el hábitat de especies promoviendo la resiliencia de los ecosistemas frente a la expansión agrícola y la urbanización.
- Promover la adopción de prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental de la expansión agropecuaria. Se debe incentivar el uso de técnicas como la agricultura de conservación, que mejora la salud del suelo y reduce la erosión, y la integración de sistemas agroforestales que combinan cultivos con áreas de vegetación natural. Además, la implementación de programas de capacitación para agricultores sobre prácticas sostenibles y gestión de recursos puede ayudar a minimizar la deforestación y promover la restauración de áreas degradadas.
- Fortalecer la participación activa de las comunidades locales en la gestión y conservación de los recursos naturales, involucrar a los sectores en la toma de decisiones sobre el uso del suelo, la protección de áreas naturales y la implementación de proyectos de restauración, además la educación sobre la importancia de conservar la cobertura vegetal y los ecosistemas pueden empoderar a la comunidad para que participe de manera efectiva en la protección y gestión de su entorno natural, garantizando así que las medidas de conservación sean adecuadas y sostenibles a largo plazo.

14 BIBLIOGRAFIA

Abad, A. (2020). El cambio de uso de suelo y la utilidad del paisaje periurbano de la cuenca del río Guayllabamba en Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(2), 68-91.

<https://doi.org/10.15359/rca.54-2.4>

- Aguirre, W. E., Alvarez, G., Anaguano, F., Burgos, R. B., Cucalón, R. V., Escobar, D., Jácome, I., Jiménez, P. J., Laaz, E., Miranda, K., Navarrete-Amaya, R., Nugra, F. N., Revelo, W., Rivadeneira, J., Valdiviezo, J. V., & Zárate, E. Z. (2021). Conservation threats and future prospects for the freshwater fishes of Ecuador: A hotspot of Neotropical fish diversity. *Journal Of Fish Biology*, 99(4), 1158-1189. <https://doi.org/10.1111/jfb.14844>
- Alonso, D. (2023, 8 febrero). *Combinación de bandas en imágenes de satélite Landsat y Sentinel*. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2019/05/combinaciones-de-bandas-en-imagenes-de-satelite-landsat-y-sentinel/>
- Alvarez, C. I., & Govind, A. (2024). Using Remote Sensing Data in the Cloud to Monitor Climate Change in Senegal Regions Based on Seasonal Variables from 2000 to 2020. An Opportunity to Sustainable Policies. *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium*, 12735, 921-925. <https://doi.org/10.1109/igarss53475.2024.10641322>
- Amin, M. F. (2022). Confusion Matrix in Binary Classification Problems: A Step-by-Step Tutorial. *Journal Of Engineering Research - Egypt/Journal Of Engineering Research*, 6(5), 0. <https://doi.org/10.21608/erjeng.2022.274526>
- Andrade, S. D., Saltos, E., Nogales, V., Cruz, S., Lee, G., & Barclay, J. (2022). Detailed Cartography of Cotopaxi's 1877 Primary Lahar Deposits Obtained by Drone-Imagery and Field Surveys in the Proximal Northern Drainage. *Remote Sensing*, 14(3), 631. <https://doi.org/10.3390/rs14030631>
- Bajirao, S., Patel, N. R., Danodia, A., Pokhariyal, S., & Ranjan, B. (2024). Geospatial Technology for Sustainable Agricultural Water Management in India—A Systematic Review. *Geomatics*, 4(2), 91-123. <https://doi.org/10.3390/geomatics4020006>
- Bellwald, B., Stokke, H., Winsborrow, M., Planke, S., Sættem, J., Lebedeva, N., Hafeez, A., Kurjanski, B., Myklebust, R., & Polteau, S. (2022). Structural and fluid-migration control on hill-hole pair

formation: Evidence from high-resolution 3D seismic data from the SW Barents Sea. *Geomorphology*, 420, 108502. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108502>

Benito, I., Pace, I., Cristeche, E., & Casellas, K. (2021, 1 octubre). *Matriz de transición para espacialización de cambios en el uso del suelo: nota metodológica*. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10495>

Campos, J., Rodrigues, S., Sil, Â., Hermoso, V., Freitas, T., Santos, J., Fernandes, P., Azevedo, J., Honrado, J., & Regos, A. (2022). Climate regulation ecosystem services and biodiversity conservation are enhanced differently by climate- and fire-smart landscape management. *Environmental Research Letters*, 17(5), 054014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac64b5>

Cardoso, R., Pires, W. G., Mendes, I., De Macedo Rodrigues, E., & Bernardino, M. (2023). Avaliação das Funcionalidades de Softwares de Auxílio à Empresas de Gestão e Consultoria Ambiental: Um Survey. *SBCOPENLIB*. <https://doi.org/10.5753/eres.2023.237747>

Carrasco, J., Carrasco, D., & Caballero, V. (2022). New geographic distribution area of the specie *Nototriche hartwegii* A.W. Hill, 1909 (Malvaceae: Malvales) in the wetlands of Central Ecuador. *Global Journal Of Ecology*, 7(2), 040-044. <https://doi.org/10.17352/gje.000057>

Castelo, M., Piedra, J. A., & Ayala, R. (2022). Deep learning for land use and land cover classification from the Ecuadorian Paramo. *International Journal Of Digital Earth*, 15(1), 1001-1017. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2088872>

Castillo, M. Á., Mondragón, E., & Domínguez, R. (2022). Sample Data for Thematic Accuracy Assessment in QGIS. En *Springer eBooks* (pp. 85-96). https://doi.org/10.1007/978-3-030-90998-7_6

Castro, P., Alonso, Á., Saldaña, A., & Granda, E. (2021). Effects of widespread non-native trees on regulating ecosystem services. *The Science Of The Total Environment*, 778, 146141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146141>

- Ceceña, M. L., Eaton, R., Breceda, A., Delgadillo, J., Mendoza, L., & Ortega, A. (2021). Evaluación de cambios en la cobertura vegetal en Isla Guadalupe mediante índices de vegetación. *Madera y Bosques*, 27(1). <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2712018>
- Cevallos, C., Navarrete, C., Quiñonez, M., Montenegro, V., Montaluisa, E., Pavón, D., & Urbina, M. (2020). *El emprendimiento como base del desarrollo socio económico en las comunidades rurales de la parroquia Belisario Quevedo: Una mirada desde la cotidianidad*. [Universidad de las fuerzas armadas-ESPE]. https://www.researchgate.net/profile/Amparo-Alvarez-3/publication/357636641_EL_EMPRENDIMIENTO_COMO_BASE_DEL_DESARROLLO_SOCIO_ECONOMICO_2019/links/61d7843fb6b5667157cf2ac2/EL-EMPRENDIMIENTO-COMO-BASE-DEL-DESARROLLO-SOCIO-ECONOMICO-2019.pdf
- Chang, Y., Gelwick, K., Willett, S. D., Shen, X., Albouy, C., Luo, A., Wang, Z., Zimmermann, N. E., & Pellissier, L. (2023). Phytodiversity is associated with habitat heterogeneity from Eurasia to the Hengduan Mountains. *New Phytologist*, 240(4), 1647-1658. <https://doi.org/10.1111/nph.19206>
- Chen, W. (2023). Cartography as a tool to analyze city planning and development. *Journal Of Geography And Cartography*, 6(2), 6367. <https://doi.org/10.24294/jgc.v6i2.6367>
- Chuvieco, E. (2010). *Teledeteccion ambiental*. Google Books. <https://books.google.com.ec/books?id=aKsNXCVCtQC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Cociancic, P., Torrusio, S. E., Garraza, M., Zonta, M. L., & Navone, G. T. (2021). Intestinal parasites in child and youth populations of Argentina: Environmental factors determining geographic distribution. *Revista Argentina de Microbiología*, 53(3), 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.11.004>

- Crespo, X. L., Monge, L. E., Sancho, J. V., & Vega, O. (2024). Calculation of carbon sequestered through remote sensing in a metropolitan park in the city of Quito, Ecuador. *Sapienza*, 5(1), e24021. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i1.743>
- Cubides, K. (2022). *¿Cuáles son las partes de un Mapa?* Mastergis. <https://mastergis.com/blog/partes-de-un-mapa>
- De Carvalho, L., De Oliveira, G. M., Ferreira, H., & Nero, M. (2024). Using of high spatial resolution images to evaluate the thematic accuracy of land use and occupation maps with the Kappa index. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 9(5), 220-228. <https://doi.org/10.15406/mojes.2024.09.00329>
- Delgado, M. E., León, M., Cantos, C., & Guzmán, M. (2023). Efecto de la actividad minera sobre la biodiversidad en un sector del cantón Paquisha, provincia de Zamora Chinchipe-Ecuador. *La Granja/la Granja*, 38(2), 106-123. <https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.08>
- Demir, & Musaoglu. (2023). AUTOMATIC CLASSIFICATION OF SELECTED CORINE CLASSES USING DEEP LEARNING BASED SEMANTIC SEGMENTATION. ~ *The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences/International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, XLVIII-M-3-2023*, 71-75. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlviim-3-2023-71-2023>
- Díaz, O. A. (2021, 30 abril). *Modelos de Elevación Digital - DEM*. <https://es.linkedin.com/pulse/modelos-de-elevaci%C3%B3n-digital-dem-oscar-alberto-diazbocanegra>
- Díez, R. (2024, 1 julio). *¿Cuánto tarda un bosque quemado en recuperarse?* *El Debate*. https://www.eldebate.com/sociedad/sociedad-medio-ambiente/20240701/cuanto-tardabosque-quemado-recuperarse_208778.
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente*

y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/e43ad745-6b7d-48e4-a016b753fdd3b659/content>

Espinel, D., Muriel, P., Romoleroux, C., Romoleroux, K., Sklenář, P., & Ulloa, C. (2023). La flora de los páramos ecuatorianos: Orígenes, diversidad y endemismo. En *La flora de los páramos ecuatorianos: orígenes, diversidad y endemismo* (pp. 104-123).
<https://doi.org/10.18272/usfqpress.71.c260>

Farfán, M., Rodríguez, G., & François Mas, J. (2016). Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas/Investigaciones Geográficas - Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México*, 90.
<https://doi.org/10.14350/rig.48600>

Figueredo, J. L., Puebla, A. M., & Barrero, H. (2020). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de manejo «Los Números» Guisa, Granma. *SCIELO*, 8(1), 1-15.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000100001

Frederick, L. (2024). Cartography in Colonial Africa. *Oxford Research Encyclopedia Of African History*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190277734.013.632>

GAD Parroquial de Belisario Quevedo. (2024). *Datos generales*. GAD Parroquial de Belisario Quevedo. https://belisarioquevedo.gob.ec/cotopaxi/datos-generales/#_ftn1

Gámez, M. R., Pérez, A. V., Falcones, V. A. M., Bazurto, J. J. B., Álava, L. A. C., Molina, L. A. V., García, Í. H. N., Pupo, L. P., Macias, J. C. M., & Moreno, J. A. V. (2024). Los sistemas de información geográfica como estrategia para el desarrollo sostenible en la provincia de Manabí. En *Seven Editora eBooks*. <https://doi.org/10.56238/sevened2023.002-011>

Gao, G., Liu, B., Zhang, X., Jin, X., & Gu, Y. (2022). Multitemporal Intrinsic Image Decomposition With Temporal–Spatial Energy Constraints for Remote Sensing Image Analysis. *IEEE*

Transactions On Geoscience And Remote Sensing, 60, 1-16.
<https://doi.org/10.1109/tgrs.2021.3078171>

García, M. (2023). *EL MÉTODO BIBLIOGRÁFICO (1). LAS TÉCNICAS BIBLIOGRÁFICAS y SU EVOLUCIÓN HISTÓRICA*. RECENSIÓN. <https://revistarecension.com/2023/08/02/el-metodo-bibliografico-1-las-tecnicas-bibliograficas-y-su-evolucion-historica>

Gil-Leguizamón, P. A., Pereña-Ortiz, J. F., Sánchez-Mata, D., Salvo-Tierra, Á. E., Mercado-Gómez, J. D., & Morales-Puentes, M. E. (2024). Spatial and Temporal Dynamics of the Vegetation Cover from the Bijagual Massif, Boyacá, Colombia, during the 1986–2021 Period. *Plants*, 13(7), 948. <https://doi.org/10.3390/plants13070948>

Girijaveni, V., Reddy, S., Prasad, J., Singh, V., & Kumar, C. (2023). Regaining the Essential Ecosystem Services in Degraded Lands. *Wiley*, 277-301.
<https://doi.org/10.1002/9781119911999.ch12>

Giupponi, L., Leoni, V., Pedrali, D., Zuccolo, M., & Cislighi, A. (2022). Plant cover is related to vegetation and soil features in limestone screes colonization: A case study in the Italian Alps. *Plant And Soil*, 483(1-2), 495-513. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05760-3>

Gomez, J. (2022). A New Look at the Concept of Ecosystem. *Preprints*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202202.0202.v1>

Gómez, J., Mendoza, J. D., Aguilar, A. L., & Serna, M. (2024). Remote sensing of illegal dumps through supervised classification of satellite images: application in Oaxaca, Mexico. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. <https://doi.org/10.18172/cig.6273>

González, E. R. (2021). Reseña: SIG Revolution. Ordenación del territorio, urbanismo y paisaje. *Ciudades*, 24, 251-255. <https://doi.org/10.24197/ciudades.24.2021.251-255>

Gonzalez, S., Saquicela, V., & Lupercio, L. (2020). LAND COVER CLASSIFICATION OF HIGH RESOLUTION IMAGES FROM AN ECUADORIAN ANDEAN ZONE USING DEEP CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS AND TRANSFER LEARNING. *REVISTA*

INVESTIGACION OPERACIONAL. <https://rev-inv-ope.pantheonsorbonne.fr/indice-vol-41-2020>

Graham, G., Larrea, C., & Farrow, A. (2020). Ecuador.zip [Conjunto de datos]. En *Harvard Dataverse*. <https://doi.org/10.7910/dvn/dqqixz/1ypcfq>

Granja, F. (2024). *Análisis multitemporal de los cambios de cobertura vegetal en el cantón Latacunga durante el periodo 2015-2023*. Digital Repository Technical University Of Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11905>

Gu, J., & Congalton, R. G. (2021). Analysis of the Impact of Positional Accuracy When Using a Block of Pixels for Thematic Accuracy Assessment. *Geographies*, 1(2), 143-165. <https://doi.org/10.3390/geographies1020009>

Guevara, G. P., Verdesoto, A. E., & Castro, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *RECIMUNDO*. <https://doi.org/10.26820/recimundo>

Hazas, M. B., & Chiogna, G. (2023). Multitemporal analysis of hydropeaking and surface groundwater interaction at regional scale. *EGU23-874*. <https://doi.org/10.5194/egusphereegu23-874>

INEC. (2010). *POBLACIÓN POR SEXO, SEGÚN PROVINCIA, PARROQUIA Y CANTÓN DE EMPADRONAMIENTO*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/search/POBLACI%C3%93N+POR+SEXO,+SEG%C3%93N+PROVINCIA,+PARROQUIA+Y+CANT%C3%93N+DE+EMPADRONAMIENTO/>

Instituto Nacional De Estadística Y Censos. (2021). *Encuesta de Producción agropecuaria continua*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-deproduccion-agropecuaria-continua/>

Ishtiaq, A., & Zahid, R. (2024). Conservation Biology: Protecting Species and Habitats. En *Zoology: Advancements and Research Trends* (pp. 246-254). <https://doi.org/10.61748/zool.2024/31>

- Jungers, M., & Heimsath, A. (2021). Mountain and Hillslope Geomorphology | Processes, Transport, Deposition and Landforms: Controls on Rates of Soil Creep. En *Elsevier eBooks* (pp. 33-45).
<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818234-5.00208-x>
- Lemenkova, P. (2021). ISO Cluster classifier by ArcGIS for unsupervised classification of the Landsat TM image of Reykjavík. *Bulletin Of Natural Sciences Research*, 11(1), 29-37.
<https://doi.org/10.5937/bnsr11-30488>
- Loayza, N. V., Sevilla, V., Olivera, C., Guevara, M., Olmedo, G., Vargas, R., Oyonarte, C., & Jiménez, W. (2020). Digital mapping of organic carbon in Ecuador soils. *Ecosistemas*, 29(2).
<https://doi.org/10.7818/ecos.1852>
- López, M., Linares, M., & Tejedor, A. (2022). Definición de un método cartográfico para intervenir en paisajes patrimoniales periurbanos. *EGA/EGA. Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica*, 27(44), 136-147. <https://doi.org/10.4995/ega.2022.15354>
- Machado, J. (2021, 20 noviembre). Dos millones de hectáreas de bosque se han talado ilegalmente en el país. *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/sociedad/dos-millones-bosque-talaecuador/>
- MAE. (2015). *PROTOCOLO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA DEL ECUADOR CONTINENTAL 2013 – 2014, ESCALA 1:100.000*. Secretaria Nacional de Planificación. Recuperado 7 de julio de 2024, de https://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/Portal%20SNI%202014/USO%20DE%20LA%20TIERRA/02-ANEXO_1_PROTOCOLO%20DE%20LEYENDA%20TEMATICA.pdf
- Maroto, J., Bovet, G., & Frossard, P. (2022). Maximum Likelihood Distillation for Robust Modulation Classification. *arXiv (Cornell University)*.
<https://doi.org/10.48550/arxiv.2211.00748>

- Martinez, R., Nam, K., DePace, A. H., & Gunawardena, J. (2024). The Hill function is the universal Hopfield barrier for sharpness of input–output responses. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences*, *121*(22). <https://doi.org/10.1073/pnas.2318329121>
- Mayorga, D., Pazos, M., & Uvidia, M. (2019). LOS PROYECTOS ESCOLARES: ALTERNATIVA PARA DESARROLLAR LA FORMACIÓN LABORAL. *Opuntia Brava*, *11*(2), 1-13. <https://doi.org/10.35195/ob.v11i2.736>
- Medeiros, C., Braga, J., Araújo, A., Beltrão, I. M., & Soares, V. (2024). ArcGIS em ação: desenvolvendo aplicações com uma plataforma inovadora. *Diversitas Journal*, *9*(1). <https://doi.org/10.48017/dj.v9i1.2820>
- Millán, M. J. R. (2018). *La finalidad de la metodología cualitativa*. Fundación iS+D. <https://isdfundacion.org/2018/09/26/la-finalidad-de-la-metodologia-cualitativa/>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Metodología unificada, Cobertura y uso de la tierra y Sistemas productivos agropecuarios, Escala 1:25.000, 2020*. FlipHTML5. https://fliphtml5.com/wtae/gwtg/Metodologia_unificada%2C_Cobertura_y_uso_de_la_tierra_y_Sistemas_productivos_agropecuarios%2C_Escala_1%3A25.000%2C_2020/
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2024). *Productoras de Cotopaxi se capacitan en producción de especies menores*. <https://www.agricultura.gob.ec/productoras-de-cotopaxi-se-capacitan-en-produccion-de-especies-menores/>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Sistema de clasificación de los ecosistemas del Ecuador Continental*. MAATE. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf
- Mohammed, D., Prawiyog, A. G., & Dewi, E. R. (2022). Environmental Management/Marketing Research: Bibliographic analysis. *Startupreneur Business Digital*, *1*(2), 191-197. <https://doi.org/10.33050/sabda.v1i2.127>
- Morgan, B. E., Chipman, J. W., Bolger, D. T., & Dietrich, J. T. (2020). Spatiotemporal Analysis of

Vegetation Cover Change in a Large Ephemeral River: Multi-Sensor Fusion of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Landsat Imagery. *Remote Sensing*, 13(1), 51.

<https://doi.org/10.3390/rs13010051>

Mosquera, J. D., Zapata, S., Spinelli, G., Gualapuro, M., León, R., & Augot, D. (2022). An updated list of the Culicoides (Diptera, Ceratopogonidae) fauna from Ecuador. *Parasite*, 29, 63.

<https://doi.org/10.1051/parasite/2022061>

Mullo, A., Oquendo, C., Velastegui, A., Merchan, B., Chávez, M., Herrera, V., & Carrión, P. (2022). Hill Dam Design to Improve Water Use in Rural Areas—Case Study: Sacachún, Santa Elena. *Sustainability*, 14(19), 12268. <https://doi.org/10.3390/su141912268>

Núñez, A., Gómez, A., Terrazas, T. M., Vargas, J., & Villanueva, J. (2020). Analysis of basal area increment of *Pinus hartwegii* Lindl. at different altitudes and aspects on Jocotitlán Mountain, State of Mexico. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (En Línea)/Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(1), 73-88. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.10.074>

ONU. (2021, 24 octubre). *Más de la mitad de la población mundial reconoce que el cambio climático es una emergencia*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2021/01/1487162>

Oña, M. (2016). *TIPOS DE IMÁGENES SATELITALES*. prezi.com. <https://prezi.com/wpszyotlbnc3/tipos-de-imagenes-satelitales/>

Pacheco, H. A., Zamora, E., & Jarre, E. J. (2020). Variaciones de la cobertura vegetal empleando el índice normalizado de diferencia de vegetación para monitorear ODS en Manabí - Ecuador. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia/Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, ve2020(2), 12-18. <https://doi.org/10.22209/rt.ve2020n2a02>

Patiño, D. R., De Oliveira, N. S. M. N., & Mourao, P. R. (2020). Cointegrated land use and CO2 emissions—the silent Columbian cattle revolution. *Environmental Science And Pollution Research International*, 28(9), 11030-11039. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11133-z>

- Picon, M., De la Barrera, F., Contreras, C., Reyes, S., & Berrizbeitia, A. (2023). Cerros isla en las ciudades de Chile: oportunidades para una planificación ecológica. *Revista INVI*, 38(108), 255-298. <https://doi.org/10.5354/0718-8358.2023.66953>
- Pino, S., & Ortega, K. (2024). Analysis of the main socioeconomic indicators of the Ecuadorian Agricultural Sector (2000-2022). *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 22(43), 1-32. <https://doi.org/10.15359/prne.22-43.12>
- Piza, N., Amaiquema, F., & Beltrán, G. (2019). *Métodos y técnicas en la investigación cualitativa. Algunas precisiones necesarias*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442019000500455
- Portilla, O., Leiva, C., Luna, M., & Gonzáles, I. (2023). Evaluación de los modelos digitales de terreno y geopotenciales en el Ecuador. *La Granja/la Granja*, 38(2), 59-81. <https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.05>
- REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. Lexis S.A. <https://www.lexis.com.ec/>
- Rodríguez, F. (2022). *Reconstruction of late Quaternary landscape dynamics in the Podocarpus National Park region southern Andes of Ecuador*. <https://doi.org/10.53846/goediss-3837>
- Rodríguez, J., & Leiton, M. (2021). Pérdida y fragmentación de ecosistemas boscosos nativos y su influencia en la diversidad de hábitats en el hotspot Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92(0), 923449. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3449>
- Rodríguez, M., Vázquez, A., Martínez, V. A., Bravo, J. J., Cuenca, L. A., Valarezo, L. A., Navarrete, Í. H., Peña, L., Mera, J. C., & Viguera, J. A. (2024). Los sistemas de información geográfica como estrategia para el desarrollo sostenible en la provincia de Manabí. En *Seven Editora eBooks*. <https://doi.org/10.56238/sevened2023.002-011>
- Sánchez, A., Contreras, A., Corrales, J. C., & De la Fe, C. (2022). En el principio fue la zoonosis: One Health para combatir esta y futuras pandemias. Informe SESPAS 2022. *Gaceta*

Sanitaria, 36, S61-S67. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2022.01.012>

Sancho, J. V., Samaniego, R. A., Sancho, M. P., & Crespo, X. L. (2024). Comparative analysis between spectral indices obtained in the Guangüiltagua metropolitan park in Quito – Ecuador, using remote sensing. *Sapienza*, 5(1), e24011. <https://doi.org/10.51798/sijis.v5i1.732>

Sandoval, C. (2020, 15 agosto). El incendio en el cerro Putzalahua, en Latacunga, fue extinguido. *El Comercio*. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/extincion-incendio-cerroputzalahua-latacunga.html>

Santos, E. D., Santos de Oliveira, B. L., Corrêa, R. S., Da Silva Carneiro, F., Magno, A. P., Dos Santos, M. G., Braga, M., & De Souza Garcia, T. (2021). Multitemporal evaluation of the vegetation cover of the Tapirapé biological reserve, Pará. *Research, Society And Development*, 10(4), e50910414345. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14345>

Sekac, T., Jana, S. K., & Pal, I. (2022). Spatio-temporal vegetation cover analysis to determine climate change in Papua New Guinea. *International Journal Of Disaster Resilience In The Built Environment*, 15(1), 116-140. <https://doi.org/10.1108/ijdrbe-05-2022-0045>

Sergeyeva, N., Gvishiani, A., Soloviev, A., Zabarinskaya, L., Krylova, T., Nisilevich, M., & Krasnoperov, R. (2021). Historical K index data collection of Soviet magnetic observatories, 1957–1992. *Earth System Science Data*, 13(5), 1987-1999. <https://doi.org/10.5194/essd-13-1987-2021>

SGS. (2022, 7 diciembre). *¿De qué se trata un monitoreo ambiental?* SGSCorp. <https://www.sgs.com/es-pe/noticias/2022/12/que-es-monitoreo-ambiental>

Sharma, S., Beslity, J. O., Rustad, L., Shelby, L. J., Manos, P. T., Khanal, P., Reinmann, A. B., & Khanal, C. (2024). Remote Sensing and GIS in Natural Resource Management: Comparing Tools and Emphasizing the Importance of In-Situ Data. *Remote Sensing*, 16(22), 4161. <https://doi.org/10.3390/rs16224161>

Silva, K. B., Rodrigues, A. F., Valézio, É. V., De Alencar Almeida, M., & Oliveira, S. (2024). A

CARTOGRAFIA DO RELEVO e SUAS CONTRIBUIÇÕES AO PLANEJAMENTO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS à DESERTIFICAÇÃO: APLICAÇÕES NO SUBMÉDIO VALE DO SÃO FRANCISCO. *Revista Contexto Geográfico*, 9(18).

<https://doi.org/10.28998/contegeo.9i.18.16844>

Sistema de información geográfica. (2012). Requisitos Mínimos de Información Marginal para Cartografía Temática. En *Estandares de Información Geográfica* (p. 54).

https://iedg.sni.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/06/Estandares_de_informacion_geografica_cap3.pdf

Suqui, A., Céleri, R., Crespo, P., & Carrillo-Rojas, G. (2021). Interacciones entre índice de área foliar, densidad del dosel y precipitación efectiva de un bosque de *Polylepis reticulata* ubicado en un ecosistema de páramo. *La Granja/la Granja*, 34(2), 63-79.

<https://doi.org/10.17163/lgr.n34.2021.04>

Syed, I., & Lokhande, V. (2024). AN OVERVIEW OF THE SUPERVISED MACHINE LEARNING. *International Research Journal Of Modernization In Engineering Technology And Science*. <https://doi.org/10.56726/irjmets51366>

USGS. (2024). *EarthExplorer*. <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Ustin, S. L., & Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. *Ecological Processes*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00255-4>

Valle, C., Juran, S., Marichal, M., & Mejía, J. A. (2023, 1 noviembre). *Geografía y estadística: midiendo impacto, adaptación y vulnerabilidad ambiental ante los desafíos del Cambio Climático*. Gobernarte. <https://blogs.iadb.org/administracion-publica/es/geografia-yestadistica-midiendo-impacto-adaptacion-y-vulnerabilidad-ambiental-ante-los-desafios-delcambio-climatico/>

Varela, A., & Ron, S. (2018). *Geografía y Clima del Ecuador*. BIOWEB.

<https://bioweb.bio/geografiaClima.html>

- Vergni, L., Todisco, F., & Di Lena, B. (2021). Evaluation of the similarity between drought indices by correlation analysis and Cohen's Kappa test in a Mediterranean area. *Natural Hazards*, 108(2), 2187-2209. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04775-w>
- Villota, A. S. (2022). *Studies on mountain vegetation, plant diversity, fire and forest line dynamics of the Southeastern and Central Ecuadorian Andes during the Late Quaternary*. <https://doi.org/10.53846/goediss-4814>
- You, A., Hua, L., Hu, J., & Wang, Z. (2023). Water environment characteristics and control countermeasures of typical hilly cities in Southeast China. *Water Practice & Technology*, 18(5), 1039-1050. <https://doi.org/10.2166/wpt.2023.062>
- Yuan, Q., Zhang, J., Wang, H., Gu, C., & Yang, H. (2023). A multi-scale transition matrix approach to chaotic time series. *Chaos, Solitons & Fractals/Chaos, Solitons And Fractals*, 172, 113589. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113589>
- Zahra, S. M., Shahid, M. A., Maqbool, Z., Sabir, R. M., Safdar, M., Majeed, M. D., & Sarwar, A. (2023). Application of Geospatial Techniques in Agricultural Resource Management. En *IntechOpen eBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112222>