



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

“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA
VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS
ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”

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

Autor:
Chinque Calucho wilinton Francisco

Tutor:
Velasategui Tapia Vincent Benjamin

LATACUNGA – ECUADOR Julio 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Chinque Calucho Wilinton Francisco, con cédula de ciudadanía No. 0250309192, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”** siendo el Ingeniero Vincent Benjamín Velastegui Tapia, 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, 21 de julio del 2025



Wilinton Francisco Chinque Calucho
C.C: 0250309192
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 **CHINQUE CALUCHO WILINTON FRANCISCO**, identificado con cédula de ciudadanía **0250309192** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL 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. - **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de , titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”**, 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: Octubre 2021- Marzo 2022

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2025

Tutor: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”**.

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, **EL 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 **EL 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.

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 **EL 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 **EL 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 **EL 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 21 días del mes de febrero del 2025.

Wilinton Francisco Chinque Calucho

EL 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:

“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024” de Chinque Calucho Wilinton Francisco, 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 han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 21 de julio del 2025



Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.
C.C: 0502547649
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

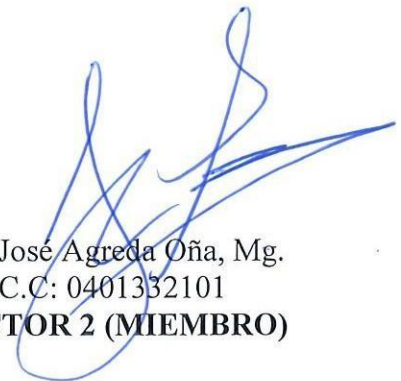
En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Chinque Calucho Wilinton Francisco con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”**, 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, 21 de julio del 2025



Ing. Marco Rivera Moreno, Mg.
C.C: 0501518955
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. José Agreda Oña, Mg.
C.C: 0401332101
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Lic. Jaime Lema Pillalaza, Mg.
C.C: 1713759932
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por concederme la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para continuar este camino. Su presencia fue mi guía en los momentos más difíciles y una fuente constante de esperanza. Con profundo cariño y gratitud, agradezco a mis padres, por su amor incondicional, por sus consejos, su paciencia y por enseñarme a nunca rendirme. A mi hermana, por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento y por motivarme a seguir adelante.

Extiendo un sincero agradecimiento a mi tutor, ingeniero Benjamín, por su acompañamiento, compromiso y valiosas orientaciones a lo largo de este trabajo. Su experiencia y dedicación fueron claves para el desarrollo de esta investigación.

Gracias a todos los que, de una u otra manera, fueron parte de este proceso.

Wilinton Francisco Chínque Calucho

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía constante, por darme la fuerza para no rendirme y por llenar mi vida de fe y esperanza incluso en los momentos más inciertos. A mi madre Mariana Calucho, y a mi padre Dimas Chinque por su amor inmenso, por creer siempre en mí y por ser el pilar que me sostuvo cuando más lo necesité. Cada uno de sus sacrificios ha sido la base de este logro. A mi hermana Gladys por su apoyo incondicional, por acompañarme con ternura, alegría y palabras sinceras que me impulsaron a seguir con determinación.

A Geomara, por su apoyo incondicional, por motivarme en los momentos de cansancio y por estar a mi lado con amor, paciencia y comprensión durante todo este proceso.

Dedico este trabajo a ustedes, porque han sido mi mayor inspiración y mi razón para seguir adelante. Este triunfo también les pertenece.

Wilinton Francisco Chinque Calucho

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LA COBERTURA
VEGETAL DEL CERRO PUTZALAHUA CAUSADA POR LAS ACTIVIDADES
AGRÍCOLAS, EN EL PERIODO 2020-2024”.**

Autor:

Chinque Calucho Wilinton Francisco

RESUMEN

El cerro Putzalahua, situado en la parroquia de Belisario Quevedo del cantón Latacunga, es parte de un ecosistema de alta montaña que tiene importancia en términos de su biodiversidad, cobertura nativa y la regulación de servicios ecológicos. Sin embargo, en los últimos años ha estado experimentando cambios importantes como resultado de prácticas agrícolas extensivas que han cambiado drásticamente su cobertura vegetal. En este estudio, investigamos las diferencias que ocurrieron entre 2020 y 2024 mediante el uso de un enfoque multitemporal basado en imágenes Sentinel-2 y procesado en ArcGIS y QGIS. La clasificación se realizó de manera supervisada según el esquema CORINE Land Cover con encuestas de campo utilizadas para calibrar la clasificación en relación con la población local. Específicamente, los resultados indican un aumento significativo en los cultivos, que pasaron de 178.67 ha (2020) a 184.50 ha (2024), y en los pastizales, con una duplicación de estos últimos, pasando de 45.80 ha a 159.55 ha. Por otro lado, mientras que la vegetación herbácea continuó siendo la clase dominante, disminuyó ligeramente de 320.00 ha a 422.85 ha, y también se observó una recuperación parcial del bosque (de 104.15 a 138.63 ha), lo que sugiere una restauración del hábitat, mientras que la categoría quemada disminuyó significativamente. Los resultados muestran un escenario complejo en el que coexisten procesos de expansión agrícola, pérdida de vegetación nativa y fragmentación del paisaje natural. Se deben introducir BMP sostenibles como la restauración de funciones ecológicas, la educación ambiental comunitaria y el control de la expansión agrícola como condición previa para mantener la funcionalidad ecológica del cerro y preservar un estándar de vida sostenible a largo plazo.

Palabras clave: Clasificación supervisada, fragmentación, Teledetección, uso de suelo, vegetación.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI FACULTY OF AGRICULTURAL
SCIENCE AND NATURAL RESOURCES**

**THEME: “EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT ON THE
VEGETATION COVER OF CERRO PUTZALAHUA CAUSED BY AGRICULTURAL
ACTIVITIES, IN THE PERIOD 2020-2024”**

Author:
Chinque Calucho Wilinton Francisco

ABSTRACT

Putzalahua Hill, located in Latacunga, Belisario Quevedo parish, is part of a high mountain ecosystem important for its biodiversity, native cover, and regulation of ecological services. However, in recent years, it has experienced significant changes as a result of extensive agricultural practices that have drastically altered its vegetation cover. In this study, we investigate the differences observed between 2020 to 2024 using a multitemporal approach based on Sentinel-2 images and processed in ArcGIS and QGIS. The classification was carried out in a supervised manner according to the CORINE Land Cover scheme, with field studies to calibrate the classification in relation to the local population. Specifically, the results indicate a significant increase in crops, which increased from 178.67 ha (2020) to 184.50 ha (2024), and in pastures, which doubled, from 45.80 ha to 159.55 ha. On the other hand, while herbaceous vegetation remained the dominant species, it decreased slightly from 320.00 ha to 422.85 ha, and a partial recovery of forest was also observed (from 104.15 ha to 138.63 ha), suggesting habitat restoration, while the burned category decreased significantly. The results show a complex scenario in which agricultural expansion, loss of native vegetation, and fragmentation of the natural landscape coexist. Sustainable BMPs, such as the restoration of ecological functions, community environmental education, and control of agricultural expansion, should be introduced as a prerequisite for maintaining the hill’s ecological functionality and preserving a sustainable standard of living in the long term.

Keywords: Supervised classification, fragmentation, remote sensing, land use, vegetation.

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	vi

AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 JUSTIFICACIÓN	3
4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	4
6 OBJETIVOS DEL PROYECTO	5
6.1 Objetivo General	5
6.2 Objetivos Específicos	5
7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.	6
8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA	7
8.1 Impacto ambiental agrícola	7
8.2 Impactos directos en la agricultura	7
8.3 Actividades agrícolas como agentes de cambio ambiental	8
8.4 Daños Eco sistemáticos	10
8.5 Características de la cobertura vegetal andina	10
8.6 Adaptación de vegetación	11
8.7 Pérdida y degradación de cobertura vegetal	13
8.9. Efectos de la expansión agrícola en la vegetación	15
8.10. Transformación del uso del suelo por actividades agrícolas	17
8.11. Análisis temporal de cambios en cobertura vegetal	18
8.12. Imágenes satelitales	19
8.13. Teledetección	20

8.14. Firma espectral	21
8.15. Cuantificación del impacto ambiental	22
8.16. Técnicas de evaluación de impacto ambiental.	23
8.17. Marco Legal	24
8.7.1. Normativa Constitucional y de Derechos de la Naturaleza	24
8.7.2. Legislación Ambiental General	25
8.7.3. Normativa sobre Evaluación de Impacto Ambiental	25
8.7.4. Legislación sobre Uso del Suelo y Actividades Agrícolas	26
8.7.5. Marco Normativo Internacional	26
9 HIPÓTESIS O PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	27
10. AREA DE ESTUDIO	27
10.2. Clima	28
10.3. Flora y fauna.....	28
11.1. Método cualitativo.....	28
11.2. Método Inductivo – Deductivo	29
11.3. Método Bibliográfico	29
11.4. Metodología cartográfica	30
11.5. Método descriptivo	30
11.6. Clasificación del método (Corine Land Cover)	31
11.7. Técnicas	31
11.7.1. Encuestas	31
11.7.2. Análisis de datos	31
11.8. POBLACION.	32
11.8.1. Población	32
11.8.2. Censo	32
11.8.3. Aplicación del censo:	32

11.8.4.	Instrumentos	32
11.9.	Recopilación de datos.....	33
11.10.	Clasificación de la cobertura vegetal	35
11.11.	Reprocesamiento de datos.	35
11.11.1.	Selección de bandas	35
11.11.2.	Corrección atmosférica	36
11.12.	Procesamiento de datos.	36
11.12.1.	Corte de datos para el procesamiento de las imágenes	36
11.12.2.	Clasificación supervisada.....	37
11.12.3.	Índice Kappa	38
11.12.4.	Matriz de transición	39
11.12.5.	Calculo de cambio de la cobertura vegetal	40
11.13.	Elaboración de mapas.....	41
12.	COMPROBACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	42
13.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	43
13.1.	Clasificación de la Cobertura vegetal 2020.....	43
13.2.	Clasificación de la Cobertura vegetal 2021.....	46
13.3.	Clasificación de la Cobertura vegetal 2022	47
13.4.	Clasificación de la Cobertura vegetal 2023	50
13.5.	Clasificación de la Cobertura vegetal 2024	52
13.6.	Comparación porcentual de la cobertura vegetal del cerro Putzalahua entre los años 2020 y 2024.	53
13.7.	ANÁLISIS DE ENCUESTAS.	55
13.8.	COMPARACIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES Y LAS ENCUESTAS. ..	64
14.	CONCLUSIONES	68

15. RECOMENDACIONES	69	16.
BIBLIOGRAFÍAS	71	
17. ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.	

INDICE DE TABLAS		
Tabla 1. Beneficiarios Directos e indirectos	¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 2. Actividades realizadas del proyecto	6	
Tabla 3 Población zona de influencia	32	
Tabla 4. Materiales Utilizados	32	
Tabla 5. Tabla de la caracterización de la cobertura vegetal.....	35	
Tabla 6. Valores de concordancia	38	
Tabla 7. Matriz de tracción de determinación de la cobertura vegetal.....	39	
Tabla 8. matriz de cambió de la cobertura vegetal 2020.....	41	
Tabla 9. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2020	45	
Tabla 10. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2021	47	
Tabla 11. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2022	49	
Tabla 12. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2023	52	
Tabla 13. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024	54	
Tabla 14. Tabla de prácticas agrícolas	69	

TABLA DE FIGURAS

Figura. 1 Espectro electromagnético, longitud de ondas.	20
Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio Cerro Putzalahua.	27
Figura 4. Recorte de Shapefile de la zona de estudio.	33
Figura 5. Descarga de imágenes satelitales en Copernicus de los años 2020y 2024.	34
Figura 6. Imagen satelital del año 2020.	34
Figura 7. Imagen satelital del año 2024.	35
Figura 8. Corrección atmosférica de imágenes Sentinel-2 en ArcGIS.	36
Figura 9. Resultado de la combinación de bandas.	37
Figura 10 Clasificación supervisada mediante puntos de control	38
Figura 11. Estándares de información Geográfica.	42
Figura 12. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2020.	44

Figura 13. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2021 del cerro Putzalahua.	46
Figura 14. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2022.	48
Figura 15. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2023.	50
Figura 16. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024.	52
Figura 17. Cambios de la cobertura vegetal; ganancias y pérdidas.	54
Figura 18. Actividades agrícolas en el cerro Putzalahua.	56
Figura 19. Observación de cambios en la cobertura vegetal.	57
Figura 20. Observación de actividades humanas.	57
Figura 21. Observación de modificación del entorno.	58
Figura 22. Observación de utilización de productos químicos.....	59
Figura 23. Observación de quema d vegetación.	60
Figura 24. Observación de cultivos en las estaciones del año	61
Figura 25. Observación sobre el remplazo de vegetación natural a prácticas agrícolas.	62
Figura 26. Observación de afectación en la calidad del suelo.	63
Figura 27. Observación sobre conservar lagunas zonas naturales del entorno	64

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título:

Evaluación del impacto ambiental en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua causada por las actividades agrícolas, en el periodo 2020-2024.

Lugar de ejecución: Cerro Putzalahua -Belisario Quevedo – Latacunga- Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Universidad Técnica de Cotopaxi- Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.

Carrera que auspicia: Ingeniería Ambiental

Equipo de investigadores:

Tutor de titulación: Ing. Benjamín Vincent Velastegui, Mg. Nombre

del investigador: Cinco Calucho Wilinton Francisco

Lector 1: Ing. Rivera Moreno Marco Antonio, Mg.

Lector 2: Ing. Agreda Oña José Luis, Mg.

Lector 3: Lic. Lema Pillalaza Jaime Rene, Mg.

Área de Conocimiento: ciencias Ambientales

Línea de investigación: sostenibilidad ambiental

Línea de Vinculación: Gestión de residuos naturales biodiversidad, biotecnología y genética para el desarrollo humano y social.

2 INTRODUCCIÓN

El cantón Latacunga, ubicado en la provincia de Cotopaxi, enfrenta actualmente transformaciones ambientales significativas, especialmente en relación con la alteración de la cobertura vegetal. A nivel global el uso intensivo del suelo a causa de las actividades agrícolas, deforestaciones, han provocado la pérdida de la vegetación afectando de forma directa a los ecosistemas terrestres (FAO, 2022). Estas dinámicas también se reflejan en las zonas andinas del Ecuador donde la cobertura vegetal experimenta cambios estacionales, evidenciando los procesos de degradación de la cobertura.

Durante el periodo 2020-2024 se emplearon análisis multitemporales a partir de imágenes satelitales Landsat, utilizando algoritmos de clasificación como Maximum Likelihood. Estas herramientas permiten evaluar con precisión la evolución de la cobertura vegetal en el cerro Putzalahua, gracias a estos métodos fue posible determinar áreas con pérdida o transformación de vegetación, así como zonas en proceso de recuperación, adquiriendo información concreta para evaluar el impacto de actividades agrícolas.

Este enfoque técnico se vio fortalecido con la incorporación de la percepción comunitaria, pues la población local aportó información valiosa sobre las prácticas de cultivo, el uso del suelo y los cambios observados en el paisaje. Según Del Río-Rama et al. (2023), la expansión de la frontera agrícola, el uso intensivo de la tierra y las prácticas poco sostenibles inciden directamente en la vegetación nativa, acelerando los procesos de degradación ambiental.

Esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente con el ODS 15 “Vida de ecosistemas terrestres” (Vidal-Meló, 2021). Al contribuir con información técnica y actualizada que respalda la formulación de políticas ambientales locales orientadas a la restauración y protección de ecosistemas, Además, proporciona una base científica para la planificación territorial sostenible en la parroquia Belisario Quevedo y sectores aledaños.

La investigación busca entender cómo la combinación de factores climáticos, prácticas agrícolas y dinámicas humanas ha influido en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua. A partir de este análisis, se pretende adaptar herramientas cartográficas y evidencia cuantitativa que orienten acciones sostenibles, fortalezcan la gestión ambiental local y promuevan una mayor corresponsabilidad comunitaria en la protección del equilibrio ecológico (Torres et al., 2023).

3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, uno de los principales desafíos ambientales a nivel local y global es la pérdida progresiva de vegetación como efecto de las actividades humanas, especialmente aquellas vinculadas a la actividad agrícola. En el caso del cerro Putzalahua, ubicado en la parroquia de Belisario Quevedo, se ha identificado cambios significativos en la cobertura vegetal en los últimos años, lo cual pone en riesgo al equilibrio ecológico del ecosistema andino, servicios ambientales que brindan a las comunidades. Ante este caso, se vuelve imprescindible comprender como las prácticas agrícolas han influido en la transformación del paisaje como también en la disminución de zonas con vegetación natural.

La vegetación del cerro Putzalahua cumple un rol clave en la regulación climática local, como la protección del suelo y la conservación de especies endémicas. Sin embargo, el incremento de actividades agrícolas, el uso de productos químicos y la quema de residuos vegetales han contribuido al deterioro de estos espacios. Esta situación ha sido evidenciada mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales y la aplicación de encuestas dirigidas a los agricultores del sector, quienes en su mayoría reconocen los efectos negativos de estas prácticas agrícolas, como también muestran una disposición al cambio.

La presente investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) particularmente con el ODS 15: “Vida de ecosistema terrestre, al proponer una evaluación del impacto ambiental causadas por las actividades agrícolas, y proponer posibles estrategias de conservación, Además, se justifica por la falta de estudios actualizados que relacionan directamente las practicas humanas con los cambios de la cobertura vegetal en cerro Putzalahua.

La investigación abarca herramientas tecnológicas como los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la representación social para ofrecer un enfoque integral, esta combinación de métodos permite no solo analizar los cambios de cobertura vegetal, sino también nos permite entender las causas sociales y culturales dentro de estas alteraciones.

Los resultados serán útiles para actores clave como los gobiernos locales, ONGs ambientales y, sobre todo, para las comunidades agrícolas del sector. A través de esta investigación, se cree fomentar una mayor conciencia enfocados en la importancia de conservar la vegetación nativa y promover prácticas agrícolas más sostenibles que disminuyan el impacto ambiental.

Esta investigación representa una oportunidad valiosa para contribuir al conocimiento ambiental del cantón Latacunga y generar insumos que respalden políticas públicas y planes de manejo.

Según Alejandro Botero & Carlos Correa (2022) mencionan que, las investigaciones que integran participación comunitaria, análisis espacial y conservación, son importantes para garantizar una gestión responsable y a largo plazo de los recursos naturales. Según Marco et al. (2023) señala que la recuperación de la cobertura vegetal depende en gran parte de las comunidades locales, por lo que esta investigación se convierte en una herramienta clave para fomentar ese proceso.

4 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los beneficiarios del proyecto de investigación son tanto directos como indirectos; los primeros corresponden a los 7.301 habitantes de la parroquia Belisario Quevedo, especialmente pobladores del cerro Putzalahua, los beneficiarios indirectos abarcan a los 217,761 habitantes del cantón Latacunga, incluyendo instituciones como el GAD Municipal, el MAATE, universidades y ONGs, quienes podrán utilizar los resultados para la planificación territorial y conservación ambiental.

Tabla 1. *Beneficiarios Directos e indirectos.*

BENEFICIARIOS	CANTIDAD
DIRECTOS	
Belisario Quevedo	7.301 habitantes
BENEFICIARIOS INDIRECTOS	CANTIDAD
Cantón Latacunga	217,761 habitantes
Sociedad civil, MAATE, GAD Municipal	Incluidos

Nota: La tabla muestra los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación. Fuente: Elaboración propia con base en datos del GAD parroquial Belisario Quevedo (2024).

5 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

Durante los últimos años el cerro Putzalahua ha evidenciado una transformación visible en la cobertura vegetal, causada principalmente a la expansión de las actividades agrícolas, estas prácticas muchas veces tradicionales y no sostenibles, han llevado a la pérdida de la vegetación nativa, la extensión de pastizales para ganadería y en algunos casos el uso del fuego como técnicas utilizadas para la limpieza del suelo. Esta situación ha provocado la pérdida de áreas naturales

como la fragmentación de hábitat y afectación a la biodiversidad local, convirtiéndose en un problema ambiental relevante para la región (INEC, 2023).

Según Arias-Muñoz et al. (2023) mencionan que los procesos de deforestación en laderas provocan erosión, pérdida de fertilidad del suelo y alteraciones hidrológicas, lo cual incrementa la vulnerabilidad de los ecosistemas. Esta problemática también ha sido advertida por habitantes locales, quienes perciben cambios en la vegetación y en el rendimiento agrícola. Sin embargo, aún son limitados los estudios que combinan herramientas SIG con análisis participativos locales para una evaluación integral del problema.

La investigación se enfoca en los desafíos que enfrenta el cerro, un lugar natural de gran importancia ecológica en el cantón Latacunga, que ha sufrido un progresivo deterioro debido a las prácticas agrícolas inadecuadas, como la ampliación de los cultivos en el territorio, la quema de vegetación y el uso intensivo del suelo. Esta problemática además de alterar la cobertura **vegetal**, pone en riesgo algunos servicios ambientales que provee este ecosistema a las comunidades aledañas.

6 OBJETIVOS DEL PROYECTO

6.1 Objetivo General

Evaluar el impacto de las actividades agrícolas en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua durante el período 2020-2024.

6.2 Objetivos Específicos

Analizar los cambios en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua entre 2020 y 2024 mediante herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográficas (SIG).

Identificar las prácticas agrícolas predominantes en la zona y su relación con las alteraciones en la cobertura vegetal.

Determinar la relación entre los cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo, mediante la comparación de imágenes satelitales y encuestas aplicadas en el cerro Putzalahua.

7 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 2. *Actividades realizadas del proyecto.*

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultados esperados
Analizar los cambios en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua entre 2020 y 2024 mediante herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográficas (SIG).	<input type="checkbox"/> Descarga de imágenes satelitales (Sentinel -2).	- Corrección atmosférica con QGIS	Cambios detectados por tipo de estudio, mediante mapas de cobertura vegetal durante los años 2020- 2024.
	<input type="checkbox"/> Corrección y clasificación supervisada.	- Teledetección con ArcGIS.	
	<input type="checkbox"/> Análisis multitemporal.	- Clasificación supervisada por el método de Máxima Verosimilitud.	
Identificar las prácticas agrícolas predominantes en la zona y su relación con las alteraciones en la cobertura vegetal.	<input type="checkbox"/> Aplicación de encuestas a agricultores.	- Método cualitativo. Muestreo no probabilístico	Identificación de las prácticas agrícolas y transformación de la cobertura vegetal en los últimos años.
	<input type="checkbox"/> Observación directa de campo.	- Análisis de contenido y frecuencia –	
	<input type="checkbox"/> Revisión bibliográfica sobre prácticas agrícolas		
Determinar la relación entre los cambios en la cobertura vegetal y uso de suelo, mediante la comparación de imágenes satelitales y encuestas aplicadas en el cerro Putzalahua.	<input type="checkbox"/> Revisión bibliográfica de especies nativas.	- Análisis cualitativo de biodiversidad.	Identificación de área de uso de suelo agrícola.
	<input type="checkbox"/> Comparación con mapas de uso de suelo.	- Mapas temáticos del cambio de uso de suelo.	

8 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

8.1. Impacto ambiental agrícola

El impacto ambiental agrícola se define como la totalidad de las alteraciones o cambios que las actividades de producción agropecuaria, en su ciclo completo, provocan a los elementos del medio ambiente físico, químico, biológico, social y cultural. Matson y cols. (1997) mencionan que estos impactos se originan por la conversión de ecosistemas naturales, lo cual conlleva una simplificación de la estructura ecológica original y un reemplazo de la vegetación nativa por cultivos. La agricultura, dentro de las actividades antrópicas, es una de las más extensas, y a su vez una de las principales fuerzas transformadoras del paisaje terrestre, ya que altera la naturaleza en aproximadamente 40% de la superficie terrestre del mundo, constituyéndose en el principal dominador del cambio del uso de suelo en el mundo (Yanapa et al., 2024).

La clasificación de los impactos ambientales derivados de la agricultura se hace teniendo en cuenta diversos criterios que permiten entender la complejidad y heterogeneidad de estos efectos, según la temporalidad, los impactos pueden ser inmediatos (como la remoción directa de la cobertura vegetal durante el desmonte de la zona), a mediano plazo (afectación de la erosión en el suelo y pérdida de fertilidad) o a largo plazo (modificación en los patrones climáticos de la región y pérdida de la diversidad biológica).

Impactos como la alteración de la topografía o la compactación del suelo se consideran de carácter físico, mientras que el uso de agroquímicos que contaminan el agua y la eutrofización de lagos con nutrientes se considera de tipo químico. Biológicamente se considera la pérdida de especies nativas y la introducción de especies exóticas, así como en el ámbito socioeconómico, el cambio en los usos del territorio y la modificación de actividades económicas constitutivas impactan a la región. Cada uno de estos aspectos es parte de un impacto que para el ecosistema varía en la intensidad desde una leve alteración hasta una severa transformación irreversible al ecosistema original (Gui et al., 2025).

8.2. Impactos directos en la agricultura

Los impactos directos de la agricultura son aquellas consecuencias que emergen inmediatamente de prácticas agrícolas específicas y suceden en la ubicación del sitio principal de la actividad, los cuales incluyen la conversión directa de ecosistemas que abarca el desmonte de vegetación nativa para establecer cultivos, la alteración primitiva de suelos por cultivo y

mecanización, y la adición de insumos externos como fertilizantes, pesticidas, herbicidas que alteran las condiciones químicas en el medio.

Por otro lado, los impactos indirectos son consecuencias secundarias que ocurren como resultado de los impactos directos o se manifiestan en áreas periféricas adyacentes al sitio de producción agrícola, los cuales incluyen la fragmentación del hábitat que impacta la conectividad ecológica, la contaminación de aguas superficiales y subterráneas resultantes del escurrimiento agroquímico, la pérdida de servicios ecosistémicos como la regulación del agua y del clima, y los impactos sobre la fauna silvestre dependiente de los ecosistemas alterados .

La evaluación de las actividades agropecuarias dentro del contexto de un impacto ambiental (IA) constituye un proceso sistemático y multidisciplinario que se propone identificar, predecir, interpretar y comunicar los efectos que las actividades agropecuarias pueden causar en el medio ambiente, la evaluación utiliza diversas metodologías como el análisis temporal espacial por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG) para determinar cambios en la cobertura del suelo, la aplicación de índices ambientales que cuantifican la magnitud del impacto (impuestos de fragmentación del paisaje, biodiversidad y calidad del suelo), y el uso de modelos de simulación que permiten calcular los impactos futuros que tendrían una determinada configuración agrícola bajo distintos escenarios de manejo agrícola (Cordones & Jiménez Andránigo, 2023).

También incluye metodologías que el mismo autor califica como inespecíficas en las que se involucra a la comunidad local en la identificación de impactos socio ambientales, considerando que los impactos derivados de la agricultura hacen referencia no solo a lo biofísico, sino también a lo social, cultural y económico, que son claves para entender la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

8.3. Actividades agrícolas como agentes de cambio ambiental

Hoy en día, la agricultura es una de las prácticas humanas más globalizadas que promueven el cambio ambiental en el mundo, debido a que tiene un efecto profundo en la infraestructura, funcionalidad y composición de los ecosistemas terrestres. De acuerdo con Santander & Maythe (2022) la agricultura ha afectado en la actualidad alrededor del 75% de la superficie terrestre, excluyendo las zonas cubiertas por hielo, transformándose en la factor clave de cambio en el uso del suelo en estos últimos mil años.

Este cambio no es meramente el reemplazo de la vegetación natural por cultivos, sino que implica la reorganización completa de los flujos de energía, material e información del ecosistema, alterando procesos fundamentales como los ciclos biogeoquímicos, la regulación hidrológica y la dinámica poblacional de las especies naturales. La magnitud de estos cambios ha llevado a algunos autores a considerar la agricultura como la mayor fuerza antropogénica que impulsa la pérdida de biodiversidad y la degradación de los servicios ecosistémicos, superando incluso al cambio climático en muchas partes del mundo.

Es importante indicar que el cambio perceptible más directo y visible en la naturaleza se observa a través de la transformación de ecosistemas naturales a tierras agrícolas; el cambio marca el reemplazo total o parcial de comunidades nativas de plantas y animales por agroecosistemas más simples, de ahí que el cambio genera una modificación de un área determinada al despejar la vegetación original utilizando métodos como el corte, la quema o el desmonte, y luego preparar el suelo para plantar cultivos. Ramankutty y Foley (1999) describen que la conversión agrícola ha llevado a la pérdida de praderas ternarias del 70%, sabanas tropicales del 50% y bosques templados del 27% a nivel mundial (Crichton et al., 2022).

En terrenos montañosos, este tipo de agricultura plantea desafíos adicionales debido a la heterogeneidad del paisaje, así como a la presencia de microhábitats especializados que albergan especies endémicas, lo cual no solo elimina la vegetación superficial, sino que también cambia la estructura del suelo y las propiedades químicas, altera los patrones de drenaje superficiales y subterráneos, y fragmenta los parches restantes de vegetación natural, disminuyendo así la viabilidad ecológica a largo plazo.

El aumento en el uso de insumos externos y la maximización de la productividad por unidad de área, la intensificación agrícola, o la práctica que se da por el aumento de la producción de un solo cultivo en una superficie determinada por unidad de área, ha desencadenado efectos ambientales complejos y a menudo contradictorios. Por un lado, la intensificación reduce la presión sobre ecosistemas naturales al aumentar la producción en áreas ya transformadas, fenómeno denominado “efecto de ahorro de tierra”.

8.4. Daños Eco sistemáticos

Se encuentran otros impactos negativos como la contaminación de fuentes acuáticas debida al uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y fosforados, la disminución de diversidad biológica

asociada al uso de pesticidas y herbicidas, erosión y compactación de suelos dada la mecanización intensiva, y la fragmentación del paisaje agrícola que disminuye los hábitats disponibles para la fauna silvestre. Tilman y otros (2002) indican que la intensificación agrícola ha intensificado el proceso de eutrofización en ecosistemas acuáticos, disminución de oxígeno en mares y lagos, y aumento de gases de efecto invernadero, en particular de óxido nitroso, proveniente de fertilizantes sintéticos, durante la segunda mitad del siglo XX (Zambrano, 2023).

La agricultura horizontal y vertical tiene características únicas que exacerbaban los efectos ambientales típicos de las actividades agrícolas, especialmente sobre la estabilidad del suelo y la retención de la cubierta vegetal. En tales sistemas, la eliminación de la vegetación natural causa la pérdida del efecto estabilizador de las raíces, aumentando considerablemente la susceptibilidad a los procesos de erosión por agua y gravedad. Young et al. (2002) documentaron que la erosión del suelo en tierras agrícolas en pendiente puede ser hasta 100 veces mayor que en áreas con vegetación natural, resultando en la pérdida de la capa superior del suelo y la exposición de horizontes menos productivos (Crichton et al., 2022).

Además, la agricultura en pendientes produce importantes impactos hidrológicos al cambiar los patrones de escorrentía superficial y aumentar los riesgos de inundaciones aguas abajo, mientras que la sedimentación en cuerpos de agua receptores degrada la calidad del agua e impacta los ecosistemas acuáticos. En ecosistemas montañosos como el Cerro Putzalagua, estos impactos se amplifican por la alta variabilidad climática, las empinadas pendientes y los suelos volcánicos que son, paradójicamente, fértiles, pero extremadamente erosionables cuando se elimina la cubierta vegetal protectora.

8.5. Características de la cobertura vegetal andina

La cobertura vegetal de los Andes es uno de los sistemas más diversos y complejos de la Tierra, dado que presenta una extraordinaria heterogeneidad floral debido a la variabilidad de las condiciones ambientales presentes en los ecosistemas montañosos. Según Yanchapaxi (2022), los Andes tropicales tienen aproximadamente el 6% de las especies de plantas del mundo y el 17% de las especies endémicas, que se concentran en solo el 1% de la superficie terrestre de la Tierra, la excepcional diversidad es el resultado de factores geográficos, climáticos y geológicos únicos, incluidos los altos gradientes de altitud, variaciones de microclima extremadamente diversas,

substratos geológicos variados, y una historia evolutiva compleja que ha favorecido la especiación y el endemismo.

Además, la cobertura vegetal andina se caracteriza por su particular alta fragilidad y vulnerabilidad a las perturbaciones antropogénicas, debido a las extremas condiciones ambientales y los largos períodos de tiempo necesarios para la recuperación y los procesos sugestiónales que siguen a la perturbación. El período de recuperación para esta cobertura vegetal también es extremadamente más largo que lo que se enfrenta, los cuales factores en conjunto han hecho que la vegetación sea susceptible al cambio climático global, que representa una amenaza, el cambio también tiene magnitud global y afecta a estos ecosistemas mediante el aumento de la temperatura, la disminución de la precipitación y la alteración de los patrones controlados.

Las formaciones vegetales singulares en los ecosistemas montañosos andinos exhiben rasgos particulares en las zonas de sucesión altitudinal como resultado de desviaciones multifacéticas, climáticas, relacionadas con recursos, y patrones estacionales de una determinada comunidad vegetal. En la región andina ecuatoriana, Gómez & Gaspari (2024) describen las siguientes formaciones principales: El bosque montano perenne (1300-2000 m) que tiene ecosistemas con copas densas de 25 a 30 metros de altura y una gran diversidad.

El montano superior o bosque nuboso (3000-3400 m) que está dominado por pequeños arbustos húmedos debido a la alta humedad y los bajos niveles de luz, especies de bajo crecimiento; y el Páramo (3400-4500 m) que tiene vegetación arbustiva y herbácea, afectada por la radiación ultravioleta con variaciones térmicas extremas y suelos con drenaje escaso, los cuales factores limitantes generalizados son puntos de gravedad que identifican principios adaptativos escalonados ubicados en cada marco eco sistemático de altitud zonificada y tipo geográfico regional (Gómez & Gaspari, 2024).

8.6 Adaptación de vegetación

La adaptación de la vegetación a ciertos niveles altitudinales es un caso notorio de evolución convergente, dado que implica que distintas especies, cuya relación filogenética es muy lejana, evolucionan en su forma de enfrentar los retos de los ambientes de alta montaña, desarrollando características morfológicas y fisiológicas semejantes. Entre tales adaptaciones, los rasgos más marcados son la disminución en el tamaño de las hojas (microfilia) y la formación de hojas coriáceas o esclerófilas.

Tales hojas incrementan la retención de agua que se pierde por transpiración y sirven como protección ante la radiación ultravioleta muy intensa; Muchas especies adoptan formas de crecimiento en cojín o en almohadas que limitan la exposición al viento, lo que hace que el clima dentro de estas formas sea más benévolo, otras especies presentan densos pelos que sirven como abrigo y disminuyen la pérdida de calor durante las noches frías. Comprende el desarrollo de sistemas fotosintéticos activos a temperaturas elevadas, la acumulación de sustancias anticongelantes en los tejidos vegetales, así como la posibilidad de tener actividad metabólica bajo condiciones de estrés hídrico y térmico. López (2024) documentó que la pluralidad de los géneros de páramo también ha adoptado ciertas estrategias fenológicas, tales como el florecimiento sincronizado con períodos favorables.

Los Andes cubiertos de vegetación cumplen funciones ecológicas distintas a las de un simple repositorio de biodiversidad, actuando en la regulación de procesos ecosistémicos a nivel local, regional y global. En el aspecto hidrográfico, la vegetación andina constituye un sistema de captación, almacenamiento y regulación del recurso hídrico, interceptando la humedad atmosférica a través de la captura horizontal de neblina, creando microclimas húmedos que disminuyen las tasas de evapotranspiración y regulan los flujos superficiales que alimentan los acuíferos de las tierras bajas. Heras et al., (2024) demostraron que los páramos andinos pueden almacenar hasta 15 veces más agua por unidad de área que otros ecosistemas tropicales, funcionando como “esponjas naturales” que gradualmente liberan agua durante los periodos secos.

La cobertura vegetal también cumple funciones críticas en la estabilización apreciable de suelos, mediante el desarrollo de sistemas radiculares densos que previenen procesos erosivos, la incorporación de materia orgánica que mejora la estructura y fertilidad del sustrato, y la creación de microhábitats que favorecen la colonización de otras especies vegetales y animales. Además, dichos ecosistemas tienen un impacto importante sobre el cambio climático a nivel local y regional, ya que modifican los patrones de temperatura y precipitación por medio del albedo superficial, el control de los flujos de calor sensible y latente, y la influencia en la nebulosidad y los vientos circulatorios de la atmósfera.

8.7. Pérdida y degradación de cobertura vegetal

La pérdida y degradación de la cobertura vegetal en ecosistemas montañosos es uno de los procesos más críticos y rápidamente irreversibles dentro del medio ambiente que ha cambiado en

las últimas décadas, planteando una amenaza directa a la integridad ecológica y la provisión de servicios eco sistémicos en estas áreas. Júnior et al., (2023) definen la pérdida de cobertura vegetal como la eliminación completa de la vegetación natural de un área definida, mientras que la degradación se describe como el daño a la estructura, composición y funcionamiento de las comunidades de plantas sin necesariamente aniquilarlas.

En los Andes tropicales, estos procesos han alcanzado proporciones alarmantes, experimentando tasas de deforestación en muchas regiones que superan la media mundial, desarrollando procesos de degradación que comprometen la calidad y funcionalidad de grandes áreas de vegetación restante. La combinación emergente de estos procesos da lugar a un fenómeno sinérgico que aumenta los impactos ambientales negativos creando la disminuida capacidad de los ecosistemas montañosos para mantener su equilibrio ecológico, lo cual también les permite proporcionar servicios ambientales críticos como la regulación del agua, el control de la erosión y la conservación de la biodiversidad, lo cual se ve gravemente obstaculizado en su capacidad.

Las causas de la pérdida de cobertura vegetal en ecosistemas montañosos son variadas y operan a diferentes escalas temporales y espaciales, siendo la expansión de la frontera agrícola el factor predominante en la mayoría de las regiones de los Andes. La deforestación con un enfoque de apertura de caminos, la tala selectiva, la construcción de infraestructura y los incendios forestales descontrolados contribuyen a ello. Zuloaga & Gabriel (2022) identificaron como causas principales directas la conversión de bosques y otros ecosistemas naturales para el establecimiento de tierras agrícolas y pastos, la extracción selectiva de madera que altera la estructura del bosque, la construcción de caminos de acceso urbanos y rurales en áreas previamente remotas, y tanto los incendios forestales de origen natural como los causados por el hombre.

Las causas indirectas o subyacentes incluyen factores socioeconómicos como la pobreza rural, la ausencia de alternativas económicamente viables, la debilidad institucional para el control y manejo de recursos naturales, y políticas públicas que fomentan de manera inconsciente la descomposición de los ecosistemas naturales. La presión demográfica y la migración a áreas montañosas también son factores críticos, particularmente en combinación con una planificación inadecuada del uso de la tierra y políticas de control de tierras inapropiadas, dentro del ámbito específico de los Andes ecuatorianos, el cultivo de papa, maíz y pastos para ganado se han señalado

como los principales impulsores de la pérdida de bosques montañosos y páramos (Huang et al., 2023).

La degradación en los ecosistemas de montaña involucra procesos muy interrelacionados que afectan de forma progresiva la integridad como sistema, estructural y funcional, de las comunidades vegetales. La erosión del suelo está considerada como uno de los procesos más devastadores, por el simple hecho de que por la eliminación de la cobertura vegetal se incrementa aún más la erosión superficial, creando un ciclo vicioso donde el suelo disminuido aumenta la posibilidad de vegetación que se consume. Boccolini et al. (2023) documentaron que en las laderas andinas ecuatorianas deforestadas, las tasas de erosión pueden alcanzar 200 toneladas por hectárea por año, en comparación con menos de una tonelada en áreas con vegetación intacta.

El pisoteo de ganado y el uso de maquinaria agrícola resultan en la compactación del suelo, alteran la circulación de la hidrografía local y el patrón de establecimiento de las siguientes plantitas, además reducen la tasa de infiltración y cambian la estratificación de los suelos. La invasión de especies exóticas es otro proceso de degradación significativo, ya que las especies introducidas compiten con las plantas nativas por recursos y alteran las condiciones de recuperación natural difícil, adicionalmente, es posible que la contaminación agroquímica pueda afectar directamente la fisiología de las plantas nativas y cambiar interacciones ecológicas esenciales como la polinización y la dispersión de semillas.

La fragmentación del paisaje vegetal representa un proceso particularmente insidioso de degradación que, a la larga, puede ser incluso más severo que la pérdida directa de hábitat. Maroni et al., (2021) describen la fragmentación como el proceso en el que un hábitat continuo es dividido en partes más pequeñas y aisladas; incrementando tanto la cantidad de hábitat disponible como su configuración espacial. En ambientes montanos, la fragmentación crea efectos de borde que penetran radicalmente en los refugios de vegetación, cambiando las condiciones microclimáticas, incrementando la muerte de especies vulnerables e influyendo en la invasión de especies más cosmopolitas.

La reducción del tamaño de los parches afecta la viabilidad de algunas poblaciones de plantas que requieren porciones mínimas respecto a la superficie para mantener estructuras poblacionales reproductivamente viables, a su vez, el aislamiento espacial entre las porciones restringe el movimiento, dispersión, y el flujo de genes que son esenciales para la existencia

sostenida de las especies. Sánchez & Enríquez (2024) mostraron que, en paisajes montanos fragmentados, la conectividad funcional se reduce hasta un 90% en comparación con paisajes continuos, esto afecta, no solo a las plantas, sino también a los animales como los dispersores de semillas y polinizadores que son vitales para el mantenimiento de la diversidad vegetal.

8.9. Efectos de la expansión agrícola en la vegetación

La expansión agrícola a nivel mundial se considera la principal fuerza impulsora detrás de la conversión de ecosistemas naturales y tiene efectos en cascada sobre la vegetación más allá del mero reemplazo de especies nativas por cultivos. Acosta et al. (2025) estima que alrededor del 80% de las tierras agrícolas recién creadas entre 1980 y 2000 provienen directamente de la alteración de ecosistemas naturales, siendo los bosques tropicales y las praderas naturales los más gravemente afectados.

En los ecosistemas montañosos, el patrón de expansión agrícola se caracteriza por un conjunto de características particulares resultantes del embudo topográfico y climático de la presión de conversión (agrícola) hacia áreas específicas, generalmente aquellas con características de suelo más favorables y acceso más fácil. Tal expansión impacta la vegetación no solo en las áreas directamente confrontadas, sino también en los efectos indirectos que dañan la integridad ecológica de paisajes enteros; el alcance y el ritmo de estas alteraciones han dejado, entre muchas especies de plantas, a aquellas con ciclos de vida más largos o interdependencias más complejas, con una capacidad severamente disminuida para adaptarse naturalmente, colocándolas de manera precaria dentro de ecosistemas en transformación.

El proceso de explotación de la tierra para la agricultura, el más inmediato y notorio, comienza con la deforestación completa y la remoción de la vegetación arbórea y arbustiva mediante técnicas de tala y quema. Laurance et al. (2014) indicaron que este proceso parte de la elección de zonas que presentan tales como la accesibilidad, la calidad del suelo. Franco (2025) describe cómo en el proceso de desarrollo agrícola, los estratos verticales de los ecosistemas se modifican al eliminar las porciones superiores del dosel, lo que simplifica la estructura tridimensional de los ecosistemas a una forma drásticamente simplista; no solo las especies cultivadas, sino también matorrales y malas hierbas que aprovechan la perturbación agrícola.

La frontera entre las comunidades de vegetación natural y el área cultivada está ocupada por comunidades cantonales dominadas por pioneros que reemplazan lentamente a las especies forestales especializadas, la diversidad funcional de la vegetación también es menor debido al hecho de que las formas de vida y estrategias representadas en los cultivos son menos en comparación con los ecosistemas naturales. Alonso et al. (2023) informó que, en paisajes montañosos agrícolas, la diversidad de especies puede ser hasta un 90% más baja que en los ecosistemas naturales adyacentes, con descensos especialmente pronunciados de especies endémicas y especialistas del hábitat.

Lambin et al., (2021) explican que actividades agrícolas como el cultivo de precisión, el uso sistemático de herbicidas y la cosecha cíclica perpetua impiden la colonización de la posición tardía de especies y, por el contrario, mantienen la dominancia sistémica del disturbio crónico. La sucesión secundaria que se establece cuando se abandonan los terrenos agrícolas se diferencia marcadamente de la sucesión primaria originaria por las alteraciones en las propiedades del suelo, los cambios del banco de semillas, la pérdida local de especies que dispersan las semillas y la existencia de plantas exóticas invasoras.

En estos ecosistemas de montaña, dichos impactos se ven acentuados por la erosión de suelos, que puede destruir por completo los horizontes superficiales que son orgánicos y ricos en materia de semillas, creando condiciones edáficas que impiden o retrasan de manera significativa los procesos de la regeneración natural. El cambio en el orden de los eventos impacta la recuperación de los servicios de los ecosistemas, ya que varios servicios de regulación del agua, almacenamiento de carbono e incluso conservación de la biodiversidad dependen del desarrollo de comunidades vegetales maduras, que pueden tardar décadas o siglos en restablecerse.

8.10. Transformación del uso del suelo por actividades agrícolas

Es importante señalar que el uso del suelo para actividades agrícolas en un entorno de cambio ambiental es uno de los procesos más extensos y persistentes que se registran a lo largo de la historia de la humanidad y, actualmente, constituye la principal causa de cambio de los ecosistemas terrestres a nivel mundial. De ahí que Oesterheld (2024) estima que alrededor de 12 millones de km² de ecosistemas naturales han sido transformados por las actividades agrícola, lo

cual es equivalente a toda al área de América del Sur. Dicho fenómeno no significa meramente un cambio en la cobertura superficial del terreno, sino que conlleva una reconfiguración de los procesos ecosistémicos, cambios en los biogeoquímicos, modificación en los flujos hidrológicos, cambio en patrones de biodiversidad y pérdida de la capacidad de los ecosistemas para proporcionar servicios ambientales.

Los cambios en la configuración espacial de las direcciones rurales que surgen de las actividades agrícolas tienen hitos específicos en las tierras pastorales que cuentan la influencia de los marcos socioeconómicos e institucionales. Gong et al. (2023) registra varios patrones agrícolas típicos, incluyendo la extensión lineal del cultivo de cultivos a lo largo de las carreteras, la expansión radial de tierras de cultivo desde poblados, la conversión parcheada en terrenos complejos y la conversión en bloque sistemática en terrenos planos

En los ecosistemas montañosos andinos, un patrón de conversión ‘altitudinal’ es predominante, que va de regiones bajas a altas, siendo más accesibles y más viables agronómicamente, este patrón se caracteriza por la conversión inicial de áreas de valles y pendiente baja, seguido por una colonización progresiva de elevaciones más abruptas y altas a medida que aumenta la presión sobre la tierra. Zuloaga & Gabriel (2022) registraron aspectos interesantes originados en los Andes Tropicales en el cual la agricultura ha avanzado en un promedio general de 100 a 200 metros de elevación por cada década, aunque es importante señalar que la zona de páramo que había permanecido libre de impacto humano directo. Las dinámicas temporales de la conversión de tierras agrícolas muestran complejidades a través de diferentes contextos socioeconómicos, desde una perspectiva histórica, la evolución de la conversión de tierras agrícolas ha pasado por ciclos que corresponden a cambios en condiciones económicas, políticas y tecnológicas, con períodos de crecimiento rápido intercalados con fases de estancamiento o incluso abandono.

Tigrero et al. (2023) describen la teoría de la transición forestal, que sostiene que la deforestación agrícola eventualmente disminuirá y puede revertirse a medida que las sociedades rurales sufran cambios demográficos y económicos que alivien la carga de la tierra, lo cual es cierto, sin embargo, en muchas regiones montañosas de los Andes esto se complica por la persistencia de la pobreza rural, la falta de alternativas económicas y la continua migración hacia áreas de frontera agrícola, a lo largo de marcos temporales más cortos, la conversión de tierras agrícolas puede

mostrar variabilidad estacional vinculada a patrones climáticos y de precipitación. Júnior et al. (2023) informaron que dentro de los Andes ecuatorianos, las tasas de deforestación pueden variar hasta un 300% entre años con diferentes condiciones económicas y climáticas, señalando la importancia de integrar escalas multi-temporales en el análisis de tales procesos.

Los factores que impulsan el cambio en el uso de la tierra hacia sistemas agrícolas operan a múltiples escalas y se pueden distinguir en causas inmediatas o directas, y causas subyacentes o indirectas, en las causas más recientes, , Santander & Maythe (2022) observaron la expansión de la agricultura de subsistencia con un enfoque en la intermediación de la población rural para lograr la suficiencia alimentaria y la generación de ingresos como un factor predominante, particularmente en las regiones montañosas de los países en desarrollo.

Zambrano (2023) identifica cómo estos procesos interactúan de maneras multifacéticas con variables biofísicas como la calidad del suelo, la disponibilidad de agua, la pendiente del terreno, y la geografía, topografía, e infraestructura de la zona, creando patrones espaciales distintos de cambio en el uso de la tierra que requieren enfoques socio-ambientales integrados para capturar críticamente los procesos transformadores de la reestructuración espacial.

8.11. Análisis temporal de cambios en cobertura vegetal

El análisis temporal de cambios en la cobertura vegetal es uno de los enfoques más importantes para comprender la dinámica transformacional de los ecosistemas terrestres, ofreciendo datos cuantitativos sobre la magnitud, tasa y patrones espaciales de los cambios dentro de la vegetación a lo largo del tiempo. Jácome et al., (2024) caracterizan que este tipo de análisis como una distinción sistemática en el rango de precisión de diferencias dentro de un objeto o fenómeno y sus mediciones a lo largo del tiempo, donde existen métodos disponibles para observar, detectar, mapear y cuantificar las transiciones de un tipo de cobertura terrestre a otro.

Dichos análisis son críticos para entender los impactos del ambiente, la planificación regional, el monitoreo de políticas para la conservación de la naturaleza y la evaluación de los efectos del cambio climático en los ecosistemas naturales. Al cambio en la cobertura terrestre se le ha encontrado un enfoque más desarrollado, desde la simple comparación visual, el uso de imágenes de fotografía aérea y el uso de algoritmos de aprendizaje automatizado hasta el análisis multitemporal de series de tiempo satelitales. El autor Singh clasifica estas clases como comparación pre-clasificación, donde se contempla un valor espectral, y comparación

postclasificación, donde se utilizan mapas extraídos de imágenes a diferentes momentos en el tiempo y se superponen para encontrar cortes (Montero et al., 2020).

También otras formas que se ven con más frecuencia son la diferenciación de imágenes que se basa en restar el valor de píxeles de diferentes períodos de tiempo y observar si hay diferencia, la clasificación de cambio vectorial que se basa en espectro en un sistema de coordenadas multidimensional, así como la regresión de imágenes principales que considera a los componentes con cambios más acentuados en el rango temporal analizado. Adachi et al. (2022) señalan que las técnicas más recientes incluyen métodos híbridos que integran múltiples enfoques, algoritmos de detección de puntos de cambio que identifican cambios abruptos dentro de las tendencias temporales, y aquellos que emplean aprendizaje automático (por ejemplo, máquinas de vectores de soporte y redes neuronales) que pueden detectar patrones de cambio más intrincados. La elección de la técnica apropiada está determinada por la resolución temporal y espacial de los datos disponibles, el tipo de cambio a detectar, la complejidad del paisaje y los recursos computacionales disponibles.

8.12. Imágenes satelitales

El uso de imágenes de satélite en el monitoreo de la cobertura vegetal ha mejorado la capacidad de los científicos y gestores para rastrear y evaluar cambios dentro de un ecosistema en un determinado ámbito espacial y temporal. El más utilizado [para este propósito particular] es la serie de satélites Landsat que comenzó en 1972 y tiene un sistema de imágenes multitemporales de 30 metros de resolución espacial (Escáner Multiespectral) que realiza análisis de detección de cambios a lo largo del tiempo. Otros incluyen los sensores MODIS (Espectro radiómetro de Imágenes de Resolución Moderada) que proporcionan alta resolución temporal (diaria) con una resolución espacial de 250-1000 metros, lo que es perfecto para monitorear fenómenos cambiantes y eventos de cambio rápido, y los sensores WorldView y QuickBird que ofrecen resolución espacial submétrica para imágenes satelitales de Alta Resolución Espacial (HSR) para un análisis detallado del Área de Interés (AOI). Muñiz, (2025) señaló que el acceso gratuito a imágenes de Landsat desde 2008 ha proporcionado nuevas oportunidades para la investigación científica y ha facilitado el desarrollo de estudios de cambio en la cobertura vegetal en áreas en desarrollo donde los recursos financieros son escasos.

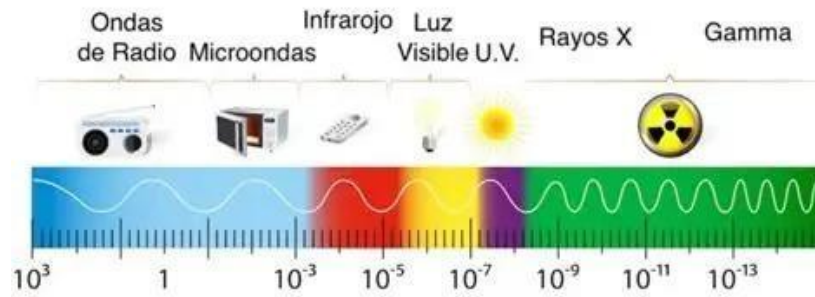
Para los ecosistemas montañosos, las imágenes satelitales ofrecen ventajas particulares, como alcanzar ubicaciones remotas y difíciles, la alta posibilidad de capturar longitudinalmente tanto cambios incrementales como repentinos a lo largo del tiempo, así como la disponibilidad de imágenes espectrales que ayudan a diferenciar los diferentes tipos de vegetación y detectar cambios sutiles en su estado. Yang et al., (2021) crearon el primer mapa de cambio forestal en todo el mundo utilizando series de tiempo de imágenes de Landsat, mostrando la viabilidad de los análisis de cambio a escala continental y global.

8.13. Teledetección

Los instrumentos de teledetección son técnicas que cuantifican la energía electromagnética reflejada por los objetos sobre la superficie terrestre. En función del objetivo de la imagen, se puede capturar en diferentes momentos, multitemporal o en diferentes ángulos, como en el caso de sistemas fotogramétricos, a raíz de distintas aplicaciones, se han desarrollado otras como el EVI de Huete et al, o el SAVI que es más específico a zonas montañosas.

Oesterheld (2024) muestran que los índices de vegetación pueden detectar cambios en fases fenológicas, tendencias de degradación a largo plazo y la respuesta de la vegetación a eventos climáticos extremos como sequías o heladas. Dentro del contexto más específico de monitoreo del impacto agrícola en la cobertura vegetal, estos índices permiten la medición de la pérdida de biomasa vegetal, el reconocimiento de áreas donde los ecosistemas naturales han sido convertidos en tierras agrícolas, la evaluación de la recuperación de la vegetación en tierras abandonadas y la detección de cambios incrementales en el estado de la vegetación que pueden presagiar una transformación más rápida del paisaje.

Figura 1. *Espectro electromagnético, longitud de ondas.*



Nota: Clasificación de imágenes satelitales, fuente: (Definicion.edu.lat, 2020).

8.14. Firma espectral

La firma espectral es la manera particular en que un objeto o material responde a la radiación electromagnética, captada a través de distintas longitudes de onda. Gracias a esta propiedad, es posible distinguir y reconocer elementos tanto naturales como artificiales en la superficie terrestre utilizando herramientas de teledetección. Esta información se ha convertido en un recurso esencial para clasificar coberturas del suelo, entender su uso y evaluar distintas condiciones ambientales. Según Molina-Serrano et al. (2020), cada tipo de cobertura presenta una firma espectral única, comparable a una “huella digital” que permite su identificación precisa.

En el caso de la vegetación, su firma espectral se distingue por reflejar poca radiación en la banda del rojo visible y una alta reflectancia en el infrarrojo cercano. Esta característica permite calcular indicadores como el NDVI, ampliamente usado para observar el estado de salud de cultivos, bosques y ecosistemas. Zhao (2021) señalan que cualquier cambio en esta respuesta espectral puede evidenciar problemas como estrés hídrico, enfermedades o efectos provocados por la intervención humana, aspectos clave en sistemas de alerta temprana y manejo ambiental.

Con el desarrollo de nuevas tecnologías en sensores remotos, el estudio de firmas espectrales ha avanzado significativamente. La incorporación de sensores multispectrales e hiperespectrales ha mejorado notablemente la capacidad de detección, permitiendo identificar incluso pequeñas diferencias entre materiales similares. Francisco Cardama & Dora Blanco & Jorge Suarez (2021), explican que los sensores hiperespectrales, al capturar muchas bandas estrechas y continuas, permiten realizar análisis detallados de suelos, minerales y vegetación. Esto abre

oportunidades valiosas en campos como la minería, geología, conservación ambiental y monitoreo del cambio climático.

8.15. Cuantificación del impacto ambiental

Medir el impacto del medio ambiente es importante para convertir observaciones sobre la alteración de los ecosistemas en mediciones objetivas que puedan ser evaluadas, comparadas y valoradas en torno a la magnitud, significación e incluso predecir las tendencias futuras de los cambios en el medio ambiente. Crichton et al. (2022) se refieren a esto como la aplicación sistemática de métricas definidas que involucran técnicas y métodos de valoración cuantificables que representan cambios complejos en los ecosistemas de manera que puedan ser analizados estadísticamente, comparados a lo largo de períodos, y también utilizados para la toma de decisiones.

Con respecto a los impactos en la cobertura vegetal, la medición debe abarcar no solo la cantidad de pérdida de vegetación, sino también los cambios en su distribución espacial, grado de fragmentación, conectividad, composición de especies y función ecológica, tal enfoque holístico es esencial en ecosistemas montañosos, ya que la heterogeneidad espacial y la complejidad de las interacciones ecológicas dentro de los ecosistemas circundantes exigen tener en cuenta tanto los efectos directos como indirectos de la perturbación. El desarrollo de marcos internacionales como los Objetivos de Desarrollo Sostenible es una de las razones de la necesidad global de indicadores precisos de medición de impacto ambiental para el monitoreo y la gestión de ecosistemas hacia un uso sostenible, lo que ha renovado el interés en la medición precisa del impacto del ecosistema.

Desde criterios relativamente primitivos como la medición de área deforestada a indicadores más complejos, que integran el cambio ecosistémico, el seguimiento y las métricas para evaluar pérdida de cobertura terrestre han evolucionado; permitiendo comparaciones directas entre diferentes períodos y regiones, la métrica más básica y fundamental, propuesta por Yanchapaxi (2022) es la tasa de cobertura de obtención, que mide la cobertura de un área vegetal por unidad de tiempo. Logrando comparaciones entre estudios con diferentes marcos temporales, las métricas anualizadas que estandarizan las tasas de cambio independientemente del periodo de análisis son de gran utilidad.

No solamente considerando la extensión espacial como el cambio, sino también su gravedad y utilizando información espectral para distinguir entre distintos grados de pérdida, desde pérdida

total a pérdida parcial degradativa, las métricas de intensidad de pérdida logran mayor complejidad que la que requieren casos como el que aquí se presenta. Incorporando la persistencia en el tiempo del cambio, las métricas que (Cordones & Jiménez 2023) crearon lograron una mayor distinción entre las pérdidas de forma temporal, que se asocian a perturbaciones naturales o manejo forestal, y las permanentes, que se asocian a la conversión de uso a otros tipos de suelo.

Los indicadores de fragmentación del paisaje son métodos razonables para estimar el impacto de la pérdida de cobertura vegetal en los ecosistemas y su conectividad y configuración espacial. McGarigal y Marks (1995) crearon una batería completa de métricas del paisaje que incluye indicadores de composición que miden la variedad y abundancia relativa de diferentes tipos de parches dentro del paisaje e indicadores de configuración que miden la forma y el arreglo espacial de los parches. Algunos de los más comunes incluyen el tamaño medio de parche, que refleja la extensión de subdivisión del hábitat; el índice de forma de parche, que cuantifica la complejidad geométrica de los parches en relación con el perímetro y el área; y la distancia al vecino más cercano, que evalúa el aislamiento espacial de fragmentos de hábitat similar (Gui et al., 2025).

Biazin, (2023) destaca la importancia del índice de conectividad, que mide qué tan fácilmente permite el paisaje que los organismos y los procesos ecológicos se muevan entre parches de hábitat y qué tan bien se facilitan esos procesos. Para ecosistemas montanos, se han desarrollado indicadores específicos basados en la topografía, como la conectividad funcional en compuertas y corredores de altitud que permiten la migración de especies debido al cambio climático, los índices de borde miden la relación entre el borde de un ecosistema y su interior, lo cual se debe a que muchas especies de bosque son sensibles a los efectos microclimáticos que los bordes producen. Diéguez et al., (2024) sugieren usar el índice de fragmentación multispectral que, a diferencia de otros que usan varias métricas, este las integra en un indicador más fácil de entender.

8.16. Técnicas de evaluación de impacto ambiental.

Las técnicas de evaluación de impacto ambiental incorporan información cuantitativa sobre el cambio en los ecosistemas dentro de marcos evaluativos que permiten comparar la importancia relativa de diferentes tipos de impacto y facilitan el proceso de toma de decisiones, se puede utilizar un marco económico basado en indicadores biofísicos de los ecosistemas, como la pérdida de biodiversidad, la alteración de los servicios ecosistémicos y la degradación de los procesos

biogeoquímicos. Costanza et al. (1997) desarrollaron métodos de valoración ecológica que estiman valores monetarios para los servicios ecosistémicos, lo que permite considerar los costos ambientales en comparación con otras alternativas de desarrollo a evaluar (Zambrano, 2023).

En consideración de los ecosistemas montanos, los métodos de valoración deben incluir la singularidad biogeográfica, el endemismo, la provisión de servicios hidrológicos y la vulnerabilidad al cambio climático como características que aumentan el valor de conservación. Store y Kangas (2001) sugieren métodos de valoración espacialmente explícitos que abordan la heterogeneidad del ecosistema al asignar diferentes rangos a las áreas según su importancia ecológica, su grado de conectividad paisajística y sus regiones vulnerables (Jácome et al., 2024).

8.17. Marco Legal

8.17.1. Normativa Constitucional y de Derechos de la Naturaleza

En su Artículo 10, la Constitución de la República del Ecuador, 2008, consigna que la naturaleza tiene derechos, incluyendo el de existir y tener su ciclo vital preservado y regenerado. Este sistema de legalidad constitucional es el que reconoce a Ecuador, desde 2008, como un país que permite superar el desarrollo de la madre naturaleza. El artículo 71 de la Carta Magna dice que Pachamama se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete de forma integral su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos (Constitución de la República del Ecuador, 2008, art. 71).

El artículo 72 del constitucionalista refuerza el derecho a la naturaleza restableciendo el derecho a deshacer el daño al afirmar que “en los casos de impactos graves o destructivos permanentes sobre el medio ambiente, incluidos los derivados de la explotación de recursos no renovables, el Estado estará obligado a restaurar por los medios más eficaces para lograr la restauración, y deberá tomar medidas adecuadas para deshacer o mitigar las consecuencias agresivas que se ofrezcan al medio ambiente” (Constitución de la República del Ecuador, 2008, Artículo 72). Tales principios constitucionales guían y justifican la evaluación y análisis del impacto de la agricultura en los sistemas naturales, como es el caso del Cerro Putzalahua.

8.17.2. Legislación Ambiental General

Como ley marco para la gestión ambiental en Ecuador, la Ley Orgánica del Ambiente establece reglas de políticas para el medio ambiente, desarrollo sostenible y protección de la

biodiversidad. Esta ley, en su Artículo 5, también incorpora el enfoque prospectivo de responsabilidad que establece que “cuando haya incertidumbre científica respecto a las posibles ramificaciones dañinas de una acción o inacción, se adoptarán medidas efectivas y oportunas para proteger el medio ambiente”, lo que pone de manifiesto la fuerte energía de la Ley Orgánica del Ambiente (2017). Este concepto tiene un conjunto de herramientas para analizar las consecuencias de las prácticas agrícolas en áreas de alta sensibilidad ecológica.

El Código Orgánico del Ambiente (2017) incrementa el rigor de la legislación ambiental mediante el establecimiento de objetivos para el Sistema Nacional de Áreas Protegidas en su artículo 9, tales como “conservar la diversidad biológica y los recursos genéticos que existen en los ecosistemas naturales” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, art. 9). También el artículo 172 de este código normativo define los estudios de impacto ambiental, señalando que “los proyectos, obras o actividades que pudieren causar impactos ambientales, deberán contar con la correspondiente autorización administrativa ambiental” (Código Orgánico del Ambiente, 2017, art. 172).

8.17.3. Normativa sobre Evaluación de Impacto Ambiental

El Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019) define los procedimientos para la evaluación de impacto ambiental, afirmando en el artículo 21 que “la evaluación de impacto ambiental es un procedimiento que tiene por finalidad identificar, describir y valorar los efectos directos e indirectos de un proyecto en el hombre y su ambiente” (Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, 2019, art. 21). Esta normativa resulta de fácil acceso en cuanto a la evaluación del impacto de las actividades agrícolas sobre la cobertura vegetal, porque incorpora metodologías para la valoración de los impactos en la flora y en los ecosistemas terrestres.

En cuanto a la Resolución 028 del Ministerio del Ambiente (2015), articula el criterio de evaluación de impacto sobre la cobertura vegetal para los impactos ambientales y establece que “se considerará impacto significativo cualquier alteración dentro de cinco años que supere el 20% de la cobertura vegetal original dentro de un área designada” (Ministerio del Ambiente, 2015, Resolución 028, vit. 15). Esta regulación proporciona indicadores cuantitativos específicos para medir los cambios antropogénicos en el ecosistema en relación con la cobertura vegetal.

8.17.4. Legislación sobre Uso del Suelo y Actividades Agrícolas

La Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales (2016) proporciona directrices sobre la gestión sostenible de tierras designadas para la agricultura, y como tal, su artículo 17 establece que “el uso de la tierra rural debe hacerse en relación con su zonificación agroecológica y respetando los límites de capacidad de carga del área” (Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2016, art. 17). Esto es importante para determinar si las actividades agrícolas alrededor del cerro Putzalahua cumplen efectivamente con los estándares legales de sostenibilidad.

El Acuerdo Ministerial 061 emitido por el Ministerio del Ambiente (2015) establece la regulación técnica para la conservación del suelo en actividades agrícolas y especifica en su artículo 12 que “las prácticas agrícolas en áreas con pendiente mayor al 30% deberán implementar medidas de conservación del suelo y protección de la cobertura vegetal natural” (Ministerio del Ambiente, 2015, Acuerdo 061, art. 12). Esta regulación es particularmente pertinente para analizar las prácticas agrícolas en terrenos con características topográficas similares a las de la zona de estudio.

8.17.5. Marco Normativo Internacional

Ecuador es signatario de la Convención sobre la Diversidad Biológica (1992) mediante la cual en su artículo 8 se compromete a “establecer un sistema de áreas o zonas protegidas que requieran medidas especiales para la conservación de la diversidad biológica” (Convención sobre la Diversidad Biológica, 1992, 8). Este compromiso internacional refuerza las obligaciones nacionales para el ecosistema del Cerro Putzalahua, particularmente cuando hay evidentes impactos sustanciales en la biodiversidad local.

Ecuador ratificó la Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación (1994), que en el artículo 10 establece la obligación de “preparar programas de acción nacionales para combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía” (Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación, 1994, art. 10). Esta legislación internacional es relevante para el examen del impacto agrícola sobre la cobertura vegetal, ya que el deterioro de la vegetación natural puede llevar a la desertificación y pérdida de productividad del suelo.

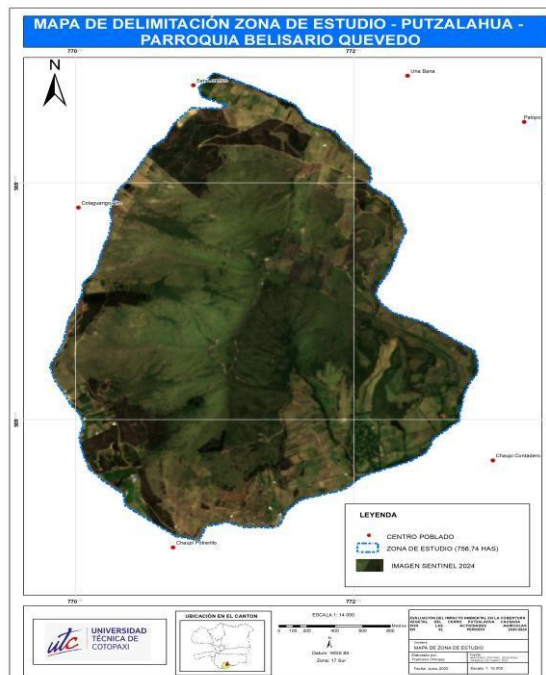
9 HIPÓTESIS O PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo ha sido la transformación de la cobertura vegetal del cerro Putzalahua debido a las actividades agrícolas entre 2020 y 2024, según el análisis multitemporal y la percepción comunitaria?

10. AREA DE ESTUDIO

El cerro Putzalahua se encuentra ubicado en la Parroquia Belisario Quevedo, Cantón Latacunga provincia de Cotopaxi, en la región cierra del Ecuador. Se considera una zona de relieve montañoso que forma parte del ecosistema andino, con una altitud aproximada entre los 3.000 y 3.600 msnm. Presenta un clima frio de paramo, con temperaturas promedio entre 8 °C y 15 °C. El suelo es altamente fértil razón por la cual ha sido históricamente aprovechado para actividades agrícolas de subsistencia y producción local. Está limitada al Norte por la parroquia urbana Ignacio Flores (Latacunga) y el rio Illuchi, al Oeste por los Ríos Illuchi y Cutuchi, al Sur colinda con las Parroquias de Mulliquindil y San Mieguel (Cantón Salcedo), y al Este se encuentra con áreas de uso agrícola rural de la misma parroquia Belisario Quevedo y con la comunidad de potrerillos.

Figura 2. Ubicación geográfica del área de estudio Cerro Putzalahua.



10.2. Clima

El cerro Putzalahua, ubicado en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga, presenta un clima característico de la región interandina del Ecuador. Predominan condiciones de clima templado subhúmedo, con una leve a moderada escasez hídrica durante la temporada seca. Las temperaturas anuales oscilan entre los 8°C y 15°C, Estas condiciones climáticas influyen directamente en la dinámica de la cobertura vegetal del cerro, ya que determinan el tipo de especies vegetales que se adaptan al entorno y su respuesta ante los cambios inducidos por las actividades agrícolas (GAD Municipal de Latacunga, 2015).

10.3. Flora y fauna

El cerro Putzalahua posee una valiosa biodiversidad andina, donde se destacan especies vegetales como la chuquiragua, mortiño, así como fauna silvestre como conejos, raposas, colibríes y gavilanes. Además, estas especies cumplen un rol fundamental en la protección del suelo y el equilibrio ecológico. No obstante, debido al avance de la frontera agrícola, la tala indiscriminada y el uso del fuego, su hábitat se ha visto severamente afectado (GAD Municipal de Latacunga, 2015).

El presente proyecto de investigación se realizó utilizando las siguientes metodologías lo que garantiza fiabilidad de los datos y la coherencia de los análisis realizados.

11.1. Método cualitativo

El enfoque cualitativo busca una comprensión profunda de la realidad social, conductual o territorial bajo estudio y no se preocupa por la medición numérica, sino por cómo el fenómeno investigado es percibido e interpretado por los propios actores (Zuloaga-Obregón & Gabriel Campos, 2023). Esta metodología permite la posibilidad de analizar cómo la interacción, las relaciones y las dinámicas se entrelazan en situaciones concretas, desde la perspectiva de sus implicaciones culturales, históricas y ambientales.

El método cualitativo se utiliza para determinar los cambios que se están produciendo en la cobertura vegetal, a través del presente estudio. La metodología se basó en la observación directa, encuestas, la investigación documental y la interpretación y análisis de imágenes satelitales y mapas; permitiendo identificar tipos de coberturas previas para diferentes años y los factores que han determinado su transformación.

11.2. Método Inductivo – Deductivo

El método inductivo deductivo integra dos formas de razonamiento que se complementan entre sí: la inducción y la deducción. La inducción se basa en la observación de casos particulares para identificar patrones o regularidades, mientras que la deducción utiliza principios generales para comprender hechos o situaciones concretas. Este enfoque permitió combinar la recolección empírica de información con el análisis teórico, lo que posibilita llegar a conclusiones sustentadas tanto en la experiencia como en la lógica (Jiménez, 2017).

Este método fue fundamental para abordar de forma integral las variaciones en la cobertura vegetal. A través del razonamiento inductivo, se lograron identificar patrones espaciales y temporales mediante el análisis de imágenes satelitales, mientras que el razonamiento deductivo permitió contrastar dichos hallazgos con teorías relacionadas con la degradación del páramo y el uso del suelo. La combinación de ambos enfoques metodológicos fortaleció la interpretación de los procesos ambientales, facilitando la vinculación entre la evidencia observada y los marcos conceptuales existentes.

11.3. Método Bibliográfico

El método bibliográfico se fundamenta en la recolección, análisis y organización de fuentes documentales como libros, artículos científicos, informes técnicos y normativas, con el propósito de construir una base teórica que permita comprender el objeto de estudio. A través de este enfoque, es posible recopilar información pertinente que facilite la comparación de diversas perspectivas y contextualizaciones del problema investigado dentro del marco del conocimiento existente. (México et al., 2021).

Este método permitió el sustento teórico para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal, mediante la revisión de literatura que abarcó documentos vinculados al uso y cambio del suelo, la degradación del cerro, la dinámica ecosistémica y las metodologías empleadas en el análisis espacial. La información recopilada constituyó una base documental que permitió integrar los resultados empíricos, establecer antecedentes pertinentes y fortalecer la discusión desde una perspectiva multidisciplinaria.

11.4. Metodología cartográfica

La metodología cartográfica representa un enfoque investigativo que se basa en la utilización de mapas como herramientas esenciales para el análisis de fenómenos territoriales desde una visión tanto espacial como temporal. Este método permite observar, describir e interpretar cómo se distribuyen y evolucionan las variables geográficas en un área determinada, facilitando así la identificación de patrones, relaciones y dinámicas. Los mapas desempeñan un papel fundamental en la organización, representación y comunicación del espacio geográfico, además de contribuir a la comprensión del entorno y a la proyección de escenarios futuros (Nayi & Noguera, 2021).

Esta metodología fue utilizada para analizar la dinámica espacial y temporal de la cobertura vegetal. Mediante la elaboración de mapas temáticos, se logró representar con exactitud los cambios ocurridos en el paisaje, lo que permitió visualizar las transformaciones en el uso del suelo y cambio de la cobertura vegetal, así obteniendo una interpretación clara de los procesos implicados. La detección de patrones de cambio y el análisis multitemporal fueron facilitados por esta herramienta, lo que aportó de forma significativa a la comprensión del fenómeno investigado.

11.5. Método descriptivo

El método descriptivo se centra en la observación, identificación y descripción sistemática de las características de un fenómeno o situación, sin establecer relaciones causales. Su objetivo principal es recolectar información precisa y detallada que permita caracterizar adecuadamente los objetos de estudio, describiendo sus propiedades, comportamientos y manifestaciones dentro de contextos determinados. Este enfoque no busca explicar las causas profundas del fenómeno, sino ofrecer una representación clara de su estado y sus particularidades (Gabriel et al., 2024).

A lo largo de este análisis, el enfoque aplicado permitió, por un lado, definir y clasificar las distintas clases de cobertura vegetal presentes en el cerro Putzalahua durante el periodo 2020–2024. Por otro lado, el método contribuyó significativamente a la identificación, documentación y determinación funcional de cada tipo de cobertura. Como resultado, se obtuvieron datos fundamentales que facilitaron su interpretación y comprensión en el contexto territorial estudiado.

11.6. Clasificación del método (Corine Land Cover)

La metodología Corine Land Cover (CLC) es un enfoque utilizado para la clasificación y el mapeo de la cobertura del suelo y el uso del territorio a nivel regional. Esta herramienta fue desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA) y se basa en categorías estandarizadas que permiten comparar y armonizar datos espaciales en diferentes contextos geográficos y temporales (Ramírez Joselyn &Boada Ellana, 2023).

Gracias a la aplicación este proceso metodológico, se logró categorizar el cambio de la cobertura vegetal en la zona de estudio a través de la aplicación de criterios jerárquicos y homogéneos. En consecuencia, se elaboró un análisis multitemporal estandarizado basado en imágenes satelitales, lo cual permitió identificar con precisión las modificaciones en la cobertura vegetal. Asimismo, la estructura organizada del sistema CORINE Land Cover contribuyó a una mejor comprensión de las transformaciones territoriales y sus implicaciones ambientales. En conjunto, estos elementos aportaron mayor rigurosidad técnica al análisis espacial desarrollado.

11.7. Técnicas

11.7.1. Encuestas

Se realizaron encuestas estructuradas a una muestra representativa de 80 agricultores elegidos, tomando en cuenta variables demográficas como la edad, el nivel de educación y la actividad desempeñada. Dichas encuestas estuvieron orientadas a indagar los siguientes temas:

- Conocimiento sobre las actividades agrícolas en el sector.
- Observación de la pérdida de la cobertura vegetal en los últimos años.
- Importancia de la conservación de la cobertura vegetal.

11.7.2. Análisis de datos

Se aplicaron encuestas estructuradas a 80 agricultores del área del Cerro Putzalahua, considerando variables como edad, nivel educativo y actividades. Estas encuestas permitieron conocer el grado de conocimiento sobre las prácticas agrícolas, la percepción de pérdida de cobertura vegetal y la importancia que asignan a su conservación. La información recopilada complementa el análisis espacial con la perspectiva de los habitantes elegidos del lugar.

11.8. POBLACION.

11.8.1. Población

La población considerada en este estudio está compuesta por los residentes de la parroquia principal de Belisario Quevedo.

Tabla 3 *Población zona de influencia.*

	Número de agricultores elegidos para la encuesta.
Número total de personas en la Zona de influencia	80

11.8.2. Censo

El censo se basó principalmente en la estructura poblacional de la zona de influencia directamente a 80 agricultores escogidos pertenecientes al área de estudio incluyendo a los barrios aledaños. Con un número de 10 preguntas cerradas, dirigidas a hombres y mujeres del sector.

11.8.3. Aplicación del censo:

Para esta investigación se aplicó un censo del 100%, ya que el lugar de estudio estuvo compuesto por 80 personas, número manejable y accesible. Debido a que la población es menor a 100 personas no es aplicable un muestreo. Esta técnica permitió incluir a todas las personas que cumplían con los criterios establecidos, eliminando el error muestral y asegurando resultados representativos. Además, se garantizó la validez de los datos mediante una recolección directa y organizada, respetando principios éticos como el consentimiento informado y la confidencialidad (Hernández Sampieri, & Baptista Lucio, 2014).

11.8.4. Instrumentos

Tabla 4. *Materiales Utilizados.*

Materiales	Equipos
------------	---------

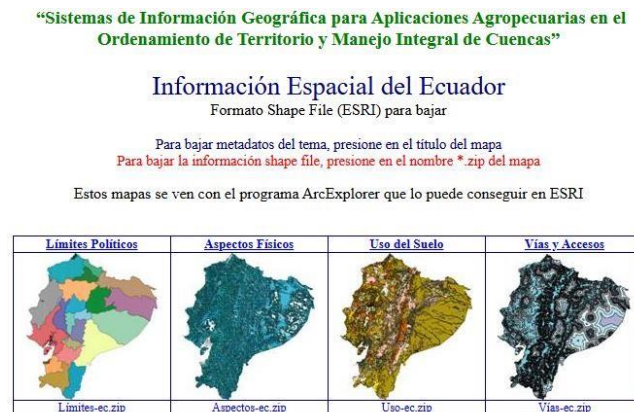
Lápiz / bolígrafo	Computador
Libreta de campo	Teléfono
Cámara / Celular	Celular

Nota: Tabla de materiales utilizados en el trabajo de campo. Elaborado por: Francisco (2025).

11.9. Recopilación de datos

Se descargaron capas en formato Shapefile desde la plataforma de Información Espacial del Ecuador, las cuales contenían delimitaciones a nivel local, regional y nacional. Posteriormente, dichas capas fueron procesadas en el software ArcGIS, donde se realizó el recorte específico correspondiente al área de estudio.

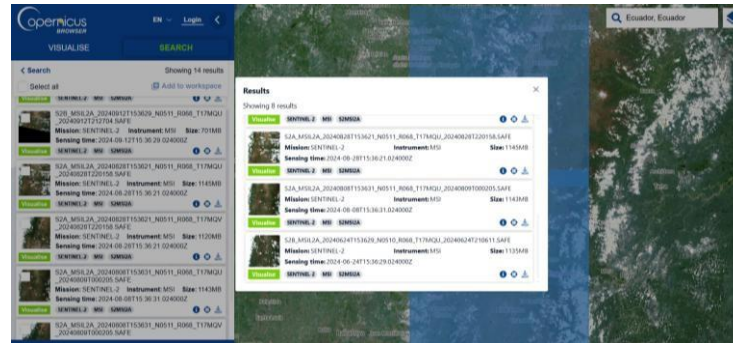
Figura 3. Recorte de Shapefile de la zona de estudio.



Nota: Captura de la pantalla del Sistema de Información Geográfico. Elaborado por: Francisco (2025).

Para realizar el análisis multitemporal correspondiente al período 2020 y 2024, se obtuvieron imágenes satelitales a través de la plataforma Copernicus Browser, utilizando como fuente los registros del satélite Sentinel- 2. Se priorizó la selección de imágenes con baja nubosidad con el fin de asegurar una adecuada calidad visual y precisión en los datos recopilados. Earth Explorer ofreció una interfaz funcional que facilitó la delimitación del área de Interés (AOI), la configuración de parámetros específicos de búsqueda y la revisión detallada de los resultados. Este procedimiento permitió no solo la obtención eficiente de información geoespacial del cerro Putzalahua, sino también la comparación entre distintos momentos temporales para evaluar los cambios en la cobertura vegetal del área de estudio.

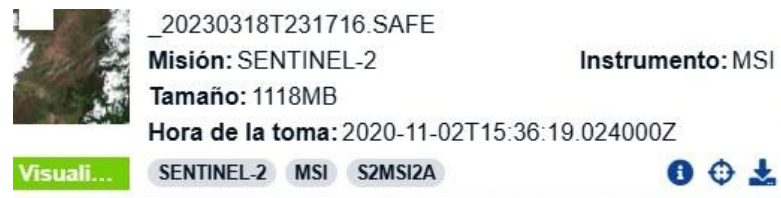
Figura 4. Descarga de imágenes satelitales en Copernicus de los años 2020y 2024.



Se dio prioridad a las imágenes satelitales que presentaban las mejores condiciones de nubosidad y visibilidad en el área de estudio. La zona de interés fue delimitada mediante un polígono, lo que permitió descargar datos óptimos del satélite Sentinel-2.

Para el año 2020, la imagen satelital empleada y mostrada en la Figura... fue seleccionada mediante la aplicación de filtros de búsqueda que establecieron un umbral máximo de nubosidad del 15%, garantizando que el área de estudio estuviera libre de cobertura nubosa. La toma de la imagen se realizó el 02 de noviembre del 2020 a las 15:36.

Figura 5. Imagen satelital del año 2020.



Para el año 2024, la imagen satelital empleada y mostrada en la Figura 6 fue seleccionada mediante la aplicación de filtros de búsqueda que establecieron un umbral máximo de nubosidad del 15%, garantizando que el área de estudio estuviera libre de cobertura nubosa. La toma de la imagen se realizó el 08 de agosto del 2024 a las 15:36.

Figura 6. Imagen satelital del año 2024.



11.10. Clasificación de la cobertura vegetal

Se aplicó una clasificación de cobertura vegetal de tipo I, conforme a la Leyenda Nacional de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental, elaborada por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). Esta metodología permitió identificar y clasificar las distintas unidades de uso del suelo, facilitando una interpretación detallada de los cambios en los ecosistemas del cerro. La tipología fue desarrollada utilizando los insumos territoriales disponibles para el área de estudio, basada en una escala de trabajo de 1:25.000 (MAGAP, 2015)

A continuación, se muestra la tabla correspondiente a la caracterización de la cobertura vegetal:

Tabla 5. *Tabla de la caracterización de la cobertura vegetal.*

LEYENDA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA ESCALA 1:25.000		
Nivel	Clase	Código
NIVEL I	Bosque	1
	Vegetación Herbácea	2
	Zona quemada	3
	Pastizales	4
	Cultivos	5

Nota: Clasificación de la cobertura vegetal según la leyenda de nivel I. Fuente: MAGAP (2015).

11.11. Reprocesamiento de datos.

11.11.1. Selección de bandas

Para visualizar el área de estudio en las imagen satelitales con apariencia similar a la percepción humana del paisaje se empleó una combinación de bandas espectrales conocida como "color real" o "color verdadero" (Puerta Tuesta et al., 2023). Esta técnica consiste en asignar las bandas específicas del sensor satelital a los colores rojo, verde y azul, de la siguiente manera:

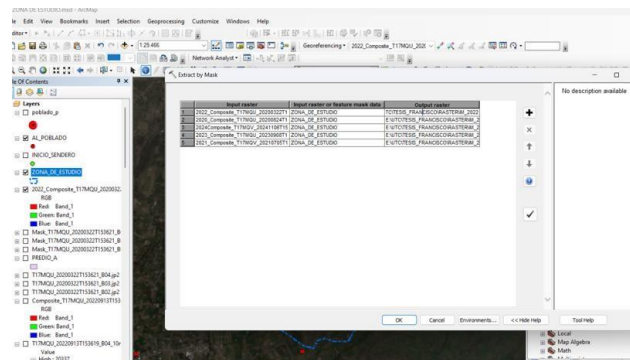
- **RED:** Banda 4
- **GREEN:** Banda 3
- **BLUE:** Banda 2

La utilización de esta configuración espectral permitió generar imágenes que reflejan el aspecto natural del suelo, facilitando la identificación de cobertura como vegetación, zonas

agrícolas y áreas alteradas. Esta herramienta fue especialmente útil para el análisis visual de los cambios en la cobertura vegetal entre los años 2020 y 2024 del cerro Putzalahua, extrayendo la interpretación geográfica de los procesos de transformación del paisaje.

11.11.2. Corrección atmosférica

Con el fin de llevar a cabo la corrección atmosférica, se procedió a ejecutar la herramienta “Extract by Mask” en el software ArcGIS. Gracias a esta herramienta, obtener valores de respuesta espectral libres de interferencias atmosféricas. Este procedimiento resultó fundamental, ya que permitió establecer una comparación espectral coherente entre imágenes de diferentes fechas. De este modo, se logró una evaluación precisa y multitemporal de las variaciones en la cobertura vegetal presentes en el cerro Putzalahua en periodo de evolución. **Figura 7. Corrección atmosférica de imágenes Sentinel-2 en ArcGIS.**



11.12. Procesamiento de datos.

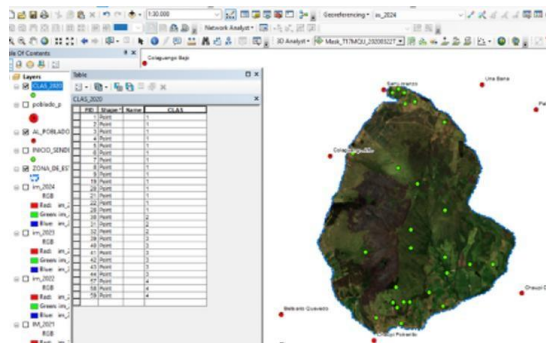
11.12.1. Corte de datos para el procesamiento de las imágenes

Con el propósito de delimitar espacialmente el área de estudio y optimizar el procesamiento de las imágenes satelitales Sentinel-2, se llevó a cabo el recorte de los datos de entrada mediante el uso del software ArcGIS. Inicialmente, se integraron las imágenes previamente corregidas atmosféricamente junto con la capa vectorial Shape File correspondiente al área de análisis. En esta fase, también se incorporaron puntos de control geoespacial, los cuales sirvieron como referencia para verificar la precisión del posicionamiento espacial de las capas utilizadas.

Posteriormente, a través de la herramienta recortar ráster por máscara, disponible en la caja de herramientas de procesamiento, se seleccionaron como capas de entrada las bandas espectrales

corregidas, junto con la capa vectorial del área de estudio. A continuación, se definieron los parámetros necesarios para conservar la resolución espacial original de las imágenes y se seleccionó el sistema de coordenadas apropiado, garantizando así la coherencia espacial de la información. se generaron imágenes ráster recortadas exclusivamente al área de interés, lo cual permitió disminuir la cantidad de datos a procesar, mejorar el rendimiento del software y facilitar los análisis posteriores sobre las variaciones en la cobertura vegetal.

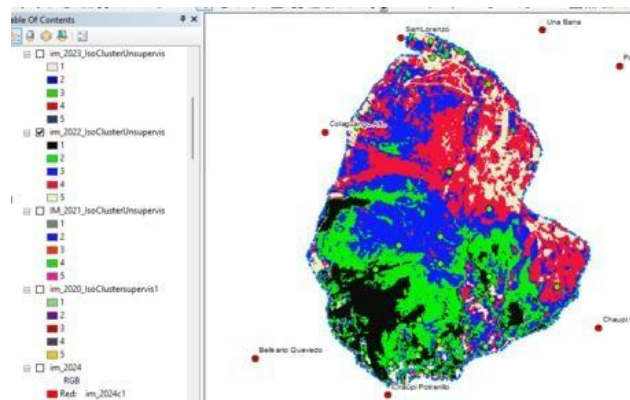
Figura 8. Resultado de la combinación de bandas.



11.12.2. Clasificación supervisada.

La clasificación supervisada fue ejecutada en ArcGIS. Utilizando el complemento Maximum Likelihood Classification, con el objetivo de identificar y distinguir los distintos tipos de cobertura vegetal presentes en las imágenes satelitales disponibles. Dicho procedimiento consistió en ordenar al software para que reconociera diferentes tipos de superficies terrestres, tales como bosques, vegetación herbácea, Zona quemada, pastizales y sectores de cultivos. Para ello, se seleccionaron previamente pequeñas áreas representativas de cada clase, conocidas como muestras de entrenamiento. Una vez definidas estas muestras, el programa analizó el comportamiento espectral de los píxeles, es decir, su color y brillo y procedió a clasificarlos según las características correspondientes a cada categoría previamente definida.

Figura 9 Clasificación supervisada mediante puntos de control



11.12.3. Índice Kappa

Donde el Coeficiente Kappa es una medida estadística que evalúa la precisión de una clasificación comparando los resultados observados (P_o) con los resultados esperados (P_e). Se utiliza comúnmente para validar la efectividad de las clasificaciones realizadas mediante técnicas SIG (Fabiola Segarra & Daniel Montalvan, 2022).

$$Kappa = \frac{(P_o - P_e)}{(1 - p_e)}$$

Donde:

P_o = representa la concordancia observada.

P_e = Simboliza la concordancia esperada.

En la tabla 4. se muestra la definición de concordancias al índice de Kappa.

Tabla 6. Valores de concordancia .

Coeficiente Kappa	Estimación del Grado de acuerdo
<0	No
0.00-0.2	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 la validación de la matriz de confusión. Fuente: (Granja Franchesca & Rivera Marco, 2024).

11.12.4. Matriz de transición

Se utilizaron dos capas cartográficas radiales del tipo imagen satelital y clasificada para analizar la transformación de la cobertura vegetal en el cerro Putzalahua en el período 2020-2024. Estas han sido previamente georreferenciadas y corregidas, y se recortaron a la región delimitada e importaron al programa QGIS para mantener la consistencia en relación con la escala (es decir, resolución espacial, y el sistema de proyección (WGS 84, zona 17S). Para hacer una comparación precisa de las dos fechas, se realizó una clasificación en la que se asignó un código numérico homogéneo a cada clase de cobertura vegetal (bosque, vegetación herbácea, área quemada, pastizal y mosaico de cultivos). Esto permitió desarrollar la matriz de transición y un análisis espacial multitemporal de los cambios en el territorio debido principalmente a actividades agrícolas en el sitio de estudio.

Tabla 7. *Matriz de tracción de determinación de la cobertura vegetal.*

Fecha 1/Fecha 2	Bosque (C1)	Herbácea (C2)	Zona quemada (C3)	Pastizal (C4)	Cultivos (5)	Total fecha 1 (Pi +)	Perdida (Li)
Bosque C1	304	0	0	0	0	504	0
V. Herbácea C2	0	594	0	0	0	594	0
Z .Quemada C3	0	0	565	0	0	565	0
Pastizal C4	0	0	0	403	0	403	0
Cultivo C5	0	0	0	0	134	134	0
Total, fecha 2	304	594	565	403	134	2000	

(P+j) Indicadores de cambio Ganancia Gj

Bosque: $304 - 304 = 0$

Herbácea: $594 - 594 = 0$

Zona quemada: $565 - 565 = 0$

Pastizal: $403 - 403 = 0$

Cultivo: $134 - 134 = 0$

Cambio total (Ct) = $L + G = 0 + 0 = 0$

Cambio neto (Cn) = $Ct - Int = 0 - 0 = 0$

Intercambio (Int) = $2 \times \min (L, G) = 0$

Nota: Matriz de transición elaborada en Word para determinar la cobertura vegetal. Fuente: Gutiérrez (2015).

La matriz de transición para Cerro Putzalahua incluyó una columna adicional con la superficie total de cada clase de cobertura en 2024 (P+j), y una fila adicional que sumaba los valores para 2020 (Pi+). Este marco permitió la estimación precisa de la magnitud de las transiciones espaciales no solo para documentar el cambio neto de las superficies de los parches, sino también el comportamiento de las clases en el espacio, persistencia, ganancia, pérdida e intercambio de coberturas. Utilizando esta metodología con el apoyo de las directrices de Gutiérrez (2015), pudimos determinar cómo y en qué medida habían cambiado los patrones de uso del suelo, asociando esos patrones con las prácticas agrícolas predominantes y los hallazgos de encuestas comunitarias.

11.12.5. Cálculo de cambio de la cobertura vegetal

Con el fin de identificar la dinámica y las variaciones en la cobertura vegetal, se procedió al cálculo de la tasa de cambio, utilizando por FAO (1996):

$$t = \frac{(S_2 - S_1) \cdot n}{S_1}$$

Donde:

t = es la tasa de cambio.

S₁ y S₂ = son las superficies de uso del suelo fecha inicial y fecha final.

n = es la duración del periodo de estudio.

Un valor negativo de t refleja una disminución en la cobertura vegetal, mientras que, si t es positivo, indica un incremento. Para analizar el porcentaje y la dinámica de cambio en el área de estudio, se empleó la matriz de transición presentada en la Tabla ... A través de esto se compararon las superficies expresadas en kilómetros cuadrados y sus respectivas proporciones porcentuales entre los años 2020 y 2024. Esta comparación permitió detectar con precisión los cambios dentro de cada clase de cobertura, poniendo en evidencia tendencias de pérdida, aumento o estabilidad en el ecosistema del páramo.

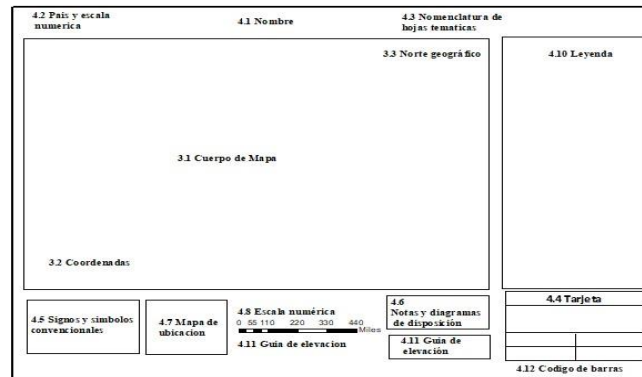
Tabla 8. *matriz de cambio de la cobertura vegetal 2020.*

Clases	Año 2020		Año 2024		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 son cobertura vegetal	a4		b4		a4-b4	
5 Zona antrópica	a5		b5		a5-b5	%
Área total						

11.13. Elaboración de mapas

Se utilizó la plataforma ArcGIS para diseñar los mapas temáticos relacionados con la cobertura vegetal del área de estudio. Durante este proceso, se siguieron los lineamientos establecidos en los “Estándares de Información Geográfica”, lo que permitió incluir correctamente todos los elementos marginales necesarios. Gracias a esto, los mapas generados cumplieron con los requisitos técnicos y facilitaron una presentación clara y comprensible de los resultados para compartirlos con la comunidad.

Figura 10. *Estándares de información Geográfica.*



Nota: Los estándares cartográficos definen los elementos mínimos que debe contener un mapa temático para garantizar su correcta interpretación (SENPLADES, 2022)

12. COMPROBACIÓN DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

El Cerro Putzalahua experimentó cambios en su cobertura vegetal entre 2020 y 2024, evidenciando un proceso de transformación del ecosistema influenciado en gran medida por la agricultura. El análisis multitemporal basado en imágenes satelitales Sentinel-2 y procesado en ArcGIS nos permitió verificar que el mosaico de tierras de cultivo y pastizales se diversificó constantemente durante el período evaluado. Esta ecuación implicó un aumento en las áreas de riego a expensas de las áreas naturales, es decir, los bosques, que disminuyeron considerablemente en 2022, pero aumentaron en 2024. Finalmente, se observó un patrón cíclico en el uso del fuego; el fuego desapareció completamente del paisaje en 2021 y 2022, mientras que reapareció en 2023, sugiriendo un uso continuo del fuego como técnica de manejo agrícola.

El comportamiento del paisaje descrito fue creído en las encuestas dirigidas a los habitantes del sector. Los entrevistados admitieron haber cambiado la vegetación del cerro, principalmente a través de la tala, quema, pastoreo y siembra y afirmaron que las actividades humanas han causado impactos directos en la cobertura vegetal. Además, somos testigos de una creciente conciencia sobre la degradación del ecosistema, creando así una oportunidad para abogar por una agricultura más sostenible. El contexto local fue crítico para verificar las interpretaciones derivadas de la teledetección y, por lo tanto, se subrayó la importancia de integrar métodos técnicos y el conocimiento comunitario en la investigación ambiental.

Los datos recopilados demuestran que el Cerro Putzalahua está en un proceso de presión antropogénica que ha modificado su estructura ecológica y disminuido la cobertura de vegetación

nativa. Algunos sectores muestran signos de recuperación, aumento en la cobertura forestal y herbácea para 2024, pero estos deben interpretarse con cuidado, ya que pueden, en muchos casos, estar relacionados con el abandono de tierras y la aparición de especies forrajeras. El uso no planificado de la tierra, la falta de esfuerzos de conservación y la expansión agrícola no planificada han sido atribuibles al uso inadecuado de la tierra. De ahí la necesidad de implementar más la restauración ecológica, la gestión comunitaria y la educación ambiental para proteger el ecosistema funcional y prevenir sus efectos negativos resultantes del uso agrícola.

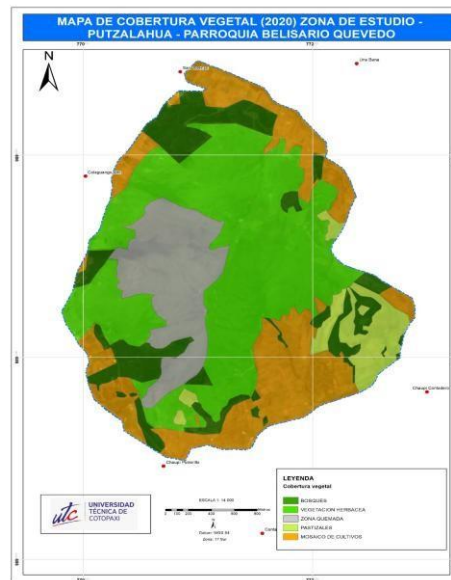
13. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como resultado de la metodología aplicada en la investigación basada en imágenes satelitales multitemporales y herramientas SIG se obtuvieron datos concretos sobre el estado y la transformación de la cobertura vegetal del cerro Putzalahua durante el periodo 2020 y 2024. A través de la clasificación supervisada del uso de suelo fue posible identificar con precisión las áreas donde se ha intensificado la actividad agrícola y se ha disminuido la vegetación.

13.1. Clasificación de la Cobertura vegetal 2020.

En el desarrollo de esta investigación se identificaron cinco categorías de cobertura vegetal: bosques, vegetación herbácea, zona quemada, pastizales y mosaico de cultivos. Esta clasificación se estableció a partir del análisis de los datos obtenidos del estudio de "Cobertura y Uso de la Tierra", permitiendo caracterizar con mayor detalle el paisaje vegetal del cerro Putzalahua.

Figura 11. *Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2020.*



Nota: cambios de la cobertura vegetal elaborado mediante ArcGIS. Elaborado por: Francisco (2025).

La figura 12 muestra que, en el año 2020 la cobertura vegetal del cerro Putzalahua se distribuyó en cinco clases principales, según el análisis de imágenes satelitales y clasificación supervisada. La vegetación herbácea fue la más predominante, con una extensión de 320,00 Ha, presente en zonas intermedias y altas del cerro. Los bosques ocuparon 104,15 Ha, localizados en sectores de menor intervención antrópica. La zona quemada abarcó 108,06 Ha, evidenciando áreas afectadas por incendios, posiblemente provocados por prácticas agrícolas. El mosaico de cultivos, asociado a actividades agrícolas de subsistencia, se extendió en 178,67 Ha, distribuyéndose principalmente en zonas bajas y accesibles. Los pastizales registraron una cobertura de 45,80 Ha, vinculados al uso ganadero. En total, el área evaluada fue de 756,74 Ha, mostrando un paisaje fuertemente modificado por actividades humanas. Estos datos reflejan una transformación significativa del ecosistema vegetal del cerro Putzalahua.

Tabla**9. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2020.**

Área clasificada		
Uso de suelo	Área (Ha)	Porcentaje %
Cobertura boscosa	114,28	13,76
Vegetación herbácea	320	42,29
Zona quemada	108,06	14,28
Pastizal	45,80	6,05
Cultivo	178,67	23,61
Total	756,74	100

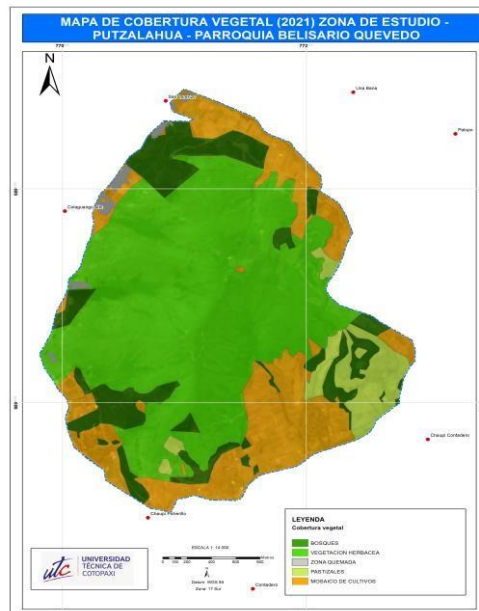
El patrón de distribución de la cobertura vegetal en el Cerro Putzalahua en 2020 reveló, evidentemente, un ecosistema altamente afectado por el ser humano. La categorización y el análisis de la cobertura se basaron en la clasificación supervisada, y la cobertura de vegetación herbácea fue la más común con 42,29 %, indicando el proceso de sustitución de bosques por hierbas y regeneración secundaria cuyas áreas probablemente estén degradadas. Esto puede estar relacionado con la agricultura intensiva (incluyendo el pastoreo extensivo y la quema de vegetación), como afirman Ramos et al. (2022) y Yaced et al. (2022), quienes indican que la degradación de la vegetación en los Andes es, de hecho, una consecuencia directa de la presión humana y la mala gestión de los territorios. Sin embargo, en este caso, está claro que la vegetación herbácea actúa como una cobertura intermedia que transmite no solo el cambio del ecosistema inicial sino también la necesidad de recuperación o manejo.

Por otro lado, el mosaico de cultivos ocupó el 23,61 % del área total, mostrando abiertamente el avance de la frontera agrícola. Asimismo, el área registrada de quemadas con 108,06 hectáreas apoya este patrón, ya que la quema era una práctica común para preparar la tierra para uso agrícola, aunque su impacto negativo en la estructura del suelo fue desalentado por Ronaldo et al. (2021). A este factor se puede añadir un pequeño porcentaje de 13,76 % de cobertura forestal, junto con otro de 6,05 % de pastizales, dejando en evidencia un paisaje fragmentado ecológicamente. Según Guamán et al. (2023), este patrón es típico de áreas dominadas por la agricultura de subsistencia sin prácticas de conservación explícitas. Como resultado, los hallazgos reportados en este documento revelan un proceso de cambio territorial que no solo daña el

equilibrio ecológico de la colina, sino que requiere una acción urgente en términos de restauración integrada y gestión sostenible.

13.2. Clasificación de la Cobertura vegetal 2021

Figura 12. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2021 del cerro Putzalahua.



Nota: cambios de la cobertura vegetal elaborado mediante ArcGIS. Elaborado por: Francisco (2025).

La figura 13 muestra que, en el año 2021 la cobertura vegetal del cerro Putzalahua mostró cambios importantes en comparación con el 2020. La vegetación herbácea se mantuvo como la cobertura predominante, incrementándose a 427,75 Ha, lo que sugiere una recuperación natural en ciertas zonas. La cobertura boscosa registró 103,52 Ha, distribuyéndose en sectores menos intervenidos del cerro. Uno de los cambios más significativos fue la desaparición total de la zona quemada, lo que indica la ausencia de incendios o una posible regeneración de áreas previamente afectadas. El mosaico de cultivos alcanzó 179,59 Ha, reflejando la continuidad de las actividades agrícolas en áreas específicas. Los pastizales conservaron su superficie, con 45,80 Ha, principalmente en zonas usadas para el pastoreo. El área total evaluada fue de 756,74 Ha. Este escenario sugiere una ligera mejora en el estado de la cobertura vegetal y una reducción de las actividades agrícolas.

Tabla**10. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2021.**

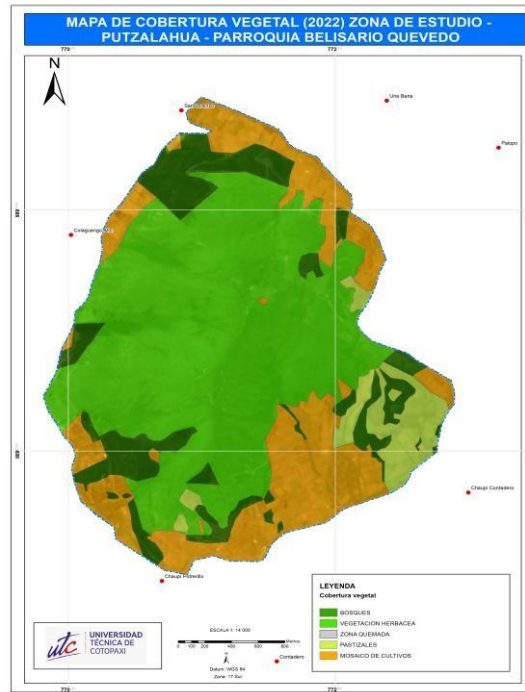
Área clasificada		
Uso de suelo	Área (Ha)	Porcentaje %
Cobertura boscosa	103,52	13,68
vegetación herbácea	427,75	56,53
Zona quemada	0	0,00
Pastizal	45,8	6,05
Cultivo	179,59	23,73
Total	756,74	100

En el año 2021, la cobertura vegetal del Cerro Putzalahua presentó cambios relevantes respecto al año anterior. La alta cobertura herbácea de 426.75 ha aumentó drásticamente, alcanzando el 56.53% del área total de compensación. Este incremento puede verse como un indicador de regeneración natural en tierras previamente alteradas por la agricultura o quemadas. Uno de los cambios más importantes fue la ausencia del área quemada, es decir, no se registraron incendios en este momento, o uno previo ya estaba iniciando el proceso de sucesión ecológica. Esta tendencia está de acuerdo con lo observado por Ramos et al. (2022), quienes informan que los ecosistemas degradados, particularmente en el norte amazónico de Ecuador, pueden estar sujetos a procesos de reversión si cesa la perturbación humana, como la quema y el uso intensivo de la tierra.

La cobertura forestal, por otro lado, se mantuvo relativamente estable con 103,52 ha y 13,68 %, indicando la persistencia de parches forestales en regiones menos modificadas. El mosaico de cultivos siguió una tendencia similar con 179,59 ha y 23,73 %, indicando una presión agrícola estable y no creciente en las áreas accesibles de la colina. En cuanto a los pastizales, su superficie no varió con 45,80 ha y estaba relacionada con un uso estable de la tierra para el ganado. En conjunto, esta situación indica una ligera recuperación de la cobertura vegetal y una potencial estabilidad temporal del uso del suelo. Estos datos respaldan los de Salazar et al. (2023), que estudian la restauración de la vegetación en áreas de descanso agrícola utilizando una serie temporal de NDVI, y con Ronaldo et al. (2021), quienes advierten que la disminución de las quemadas agrícolas tiende a estabilizar las condiciones del suelo y la vegetación.

13.3. Clasificación de la Cobertura vegetal 2022

Figura 13. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2022.



Nota: cambios de la cobertura vegetal elaborado mediante ArcGIS. Elaborado por: Francisco (2025).

La figura 14 muestra que, el año 2022 la cobertura vegetal del cerro Putzalahua mantuvo una distribución similar al año anterior, aunque con ciertos cambios en la extensión de algunas categorías. La vegetación herbácea siguió siendo la más extensa, con 426,47 Ha, ocupando gran parte del centro y zonas altas del cerro. La cobertura boscosa disminuyó notablemente a 80,8 Ha, posiblemente por el avance de cultivos o degradación natural. Al igual que en 2021, no se registraron zonas quemadas, lo que refleja un control o ausencia de incendios. El mosaico de cultivos aumentó levemente, alcanzando 180,87 Ha, lo que evidencia la expansión continua de las actividades agrícolas. Los pastizales se mantuvieron constantes con 45,8 Ha, asociados a zonas de pastoreo. El área total analizada fue de 756,74 Ha. Estos datos permiten observar una tendencia hacia el incremento del uso agropecuario, mientras la cobertura boscosa continúa en descenso. La conservación de la vegetación natural representa un reto clave para los próximos años.

Tabla**11. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2022.**

Área clasificada		
Uso de suelo	Área (Ha)	Porcentaje %
Cobertura boscosa	80,8	10,68
vegetación herbácea	426,47	56,36
Zona quemada	0	0,00
Pastizal	45,8	6,05
Cultivo	180,87	23,90
Total	756,74	100

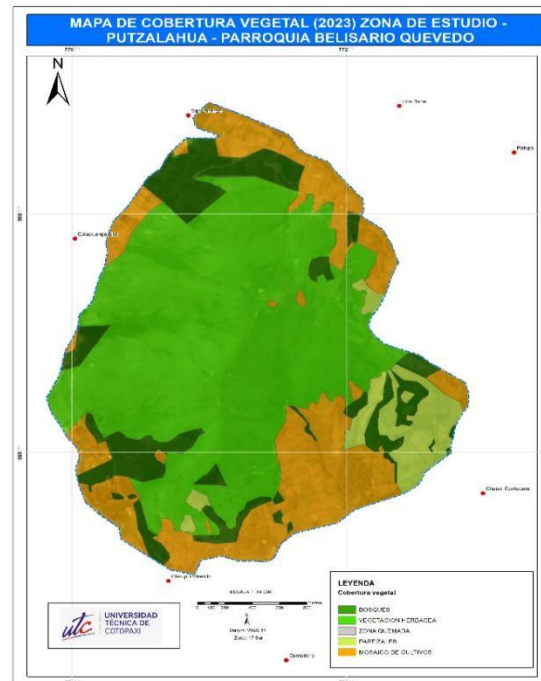
Para el año 2022, la cobertura vegetal aún se distribuía en un patrón general similar al del año anterior; no obstante, se observan algunas diferencias importantes en algunas categorías. La vegetación herbácea dominó con 426,47 ha con 56,36%, principalmente en la parte media y superior del cerro. Tal patrón podría estar asociado con una sucesión secundaria, o recuperación natural tras el abandono de tierras agrícolas o de pastoreo. En contraste, la tierra forestal cayó a 80,8 ha con 10,68%, una pérdida desalentadora en comparación con años anteriores. Tal pérdida podría derivarse tanto de la progresión de los cultivos como de los procesos de degradación, como también advierten Santander y Maythe (2022), cuando destacan que la deforestación en ecosistemas frágiles es frecuentemente silenciosa, pero continua.

Además, como en 2021 no hubo áreas quemadas que pudieran interpretarse como una señal positiva de que las prácticas dañinas, como la quema, están bajo control, aunque eso no significa que nos movamos hacia una conservación. El mosaico de cultivos registra un ligero crecimiento con 180,87 ha y 23,90%, por lo que está presente una tendencia hacia el uso agroproductivo de la colina. Sin embargo, esta expansión, aunque modesta, confirma el avance de la frontera agrícola sobre la vegetación natural, como sugieren Viteri-Salazar y Toledo (2020), quienes informaron sobre cómo la agricultura a pequeña escala puede tener cambios acumulativos en el paisaje. El porcentaje de pastizales creció en 45,8 ha y 6,05%, lo que indica un área de pastoreo relativamente estabilizada. En general, la información de 2022 muestra un equilibrio inadecuado en la cobertura

y manejo de la vegetación, con un evidente deterioro forestal que se profundizará hasta que se implementen buenas políticas de conservación concretas, como las mencionadas por Zuloaga y Gabriel (2022) en el turismo en áreas andinas protegidas.

13.4. Clasificación de la Cobertura vegetal 2023

Figura 14. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2023.



Nota: Cambios de la cobertura vegetal, elaborado mediante ArcGIS. Elaborado por: Francisco (2025).

La figura 15 muestra que, en el año 2023 la cobertura vegetal del cerro Putzalahua presentó variaciones importantes respecto a los años anteriores. La vegetación herbácea se mantuvo como la clase más extensa, con 424,96 Ha, distribuyéndose en gran parte del área central y alta del cerro. La cobertura boscosa mostró un aumento considerable, alcanzando 118,66 Ha, lo que sugiere procesos de recuperación natural o reforestación. La zona quemada reapareció, ocupando 50,90 Ha, posiblemente debido a incendios aislados provocados por actividades humanas. Los pastizales también se incrementaron significativamente a 134,00 Ha, lo que podría indicar una ampliación de

Tabla

zonas de pastoreo. El mosaico de cultivos ocupó 182,38 Ha, manteniéndose como una de las principales coberturas asociadas a la producción agrícola. El área total evaluada fue de 756,74 Ha.

Esto muestra un paisaje dinámico, con una mezcla de recuperación ecológica y presión antrópica. La reaparición de zonas quemadas representa un reto para la sostenibilidad del ecosistema.

Tabla 12. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2023.

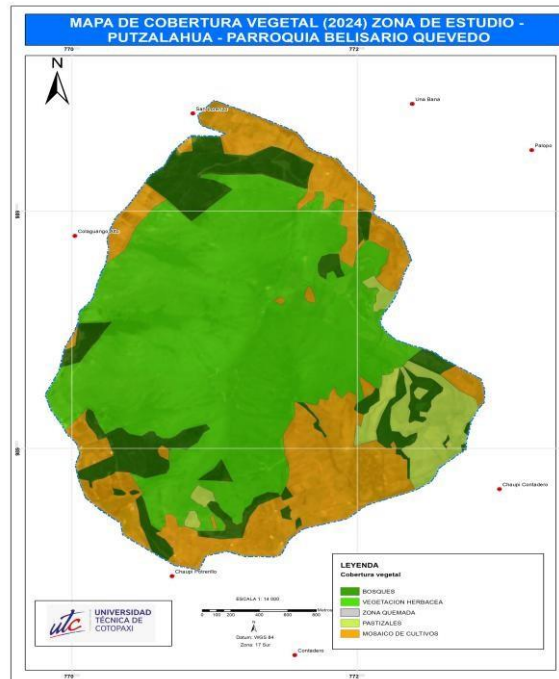
Área clasificada		
Uso de suelo	Área (Ha)	Porcentaje %
Cobertura boscosa	118,66	15,68
vegetación herbácea	424,96	54,72
Zona quemada	50,90	6,73
Pastizal	134,00	17,71
Cultivo	182,38	11,43
Total	756,74	100

En 2023, mostró tanto tendencias de regeneración, recuperación ecológica como una continua presión antropogénica sobre la cobertura vegetal. La cobertura de tipo herbácea seguía siendo el tipo dominante y representaba el 54,72% del área total 424,96 ha, lo que sugiere que las plantas herbáceas se mantenían relativamente estables. Sin embargo, lo más importante es que la cobertura forestal aumentó a 118,66 ha con 15,68%, mostrando regeneración natural o esfuerzos locales de conservación y reforestación. Esta mejora puede estar asociada a períodos de descanso agrícola o planes comunitarios, como propone Torres et al. (2023), destacando la importancia de la tecnología social para la conservación del páramo ecuatoriano.

No obstante, al mismo tiempo, también se observa la recurrencia de áreas quemadas, de las cuales 50.90 ha y 6.73% fueron nuevas áreas quemadas, demostrando prácticas de manejo forestal insostenibles, como la quema de vegetación. Como han señalado Sánchez y Enríquez (2024), esta ocurrencia está muy extendida en los sistemas familiares rurales que aplican el fuego como agente de limpieza, dañando el suelo y la biodiversidad. De manera similar, la extensión de pastizales a 134.00 ha y 17.71% puede estar asociada con el aumento del ganado, como se informa en otras regiones de páramo andino (Urgiles-Gómez, 2023). En contraste, el mosaico de cultivos ocupó 182.38 ha con 11.43%, siendo aún una de las coberturas principales.

13.5. Clasificación de la Cobertura vegetal 2024

Figura 15. Mapa de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024.



Nota: Cambios de la cobertura vegetal, elaborado mediante ArcGIS. Elaborado por: Francisco (2025).

La figura 16 muestra que, en el año 2024 la cobertura vegetal del cerro Putzalahua continuó evidenciando transformaciones en su distribución. La vegetación herbácea se mantuvo como la más extensa con 422,85 Ha, cubriendo gran parte del área central del cerro. La cobertura boscosa mostró un incremento importante, alcanzando 138,64 Ha, lo que podría indicar una mejora en la regeneración natural del ecosistema. La zona quemada se redujo significativamente a 20,61 Ha, lo que sugiere un menor impacto de incendios en comparación con el año anterior. Los pastizales aumentaron su extensión a 159,55 Ha, posiblemente debido a la expansión del pastoreo en zonas intermedias. El mosaico de cultivos también creció levemente, con 184,50 Ha, consolidando su presencia en los bordes y zonas de fácil acceso. El área total analizada fue de 756,74 Ha. Esto refleja una leve recuperación de la cobertura boscosa y una disminución de áreas degradadas, aunque persiste la presión de las actividades Agrícolas.

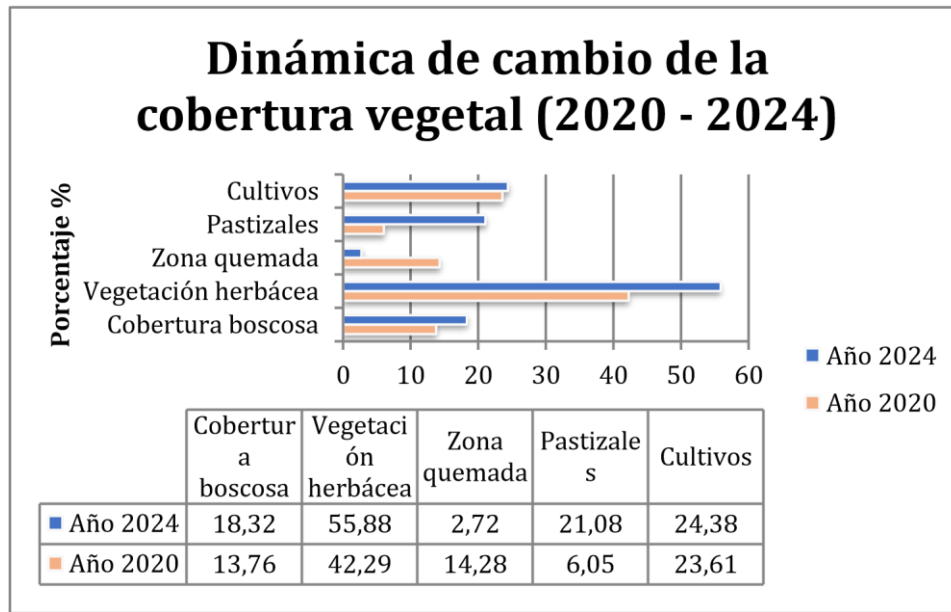
Tabla 13. Área en hectáreas(Ha) de la clasificación de la cobertura vegetal del año 2024.

Área clasificada		
Uso de suelo	Área (Ha)	Porcentaje %
Cobertura boscosa	138,64	18,32
vegetación herbácea	422,82	55,88
Zona quemada	20,61	2,17
Pastizal	159,55	21,08
Cultivo	184,50	24,38
Total	756,74	100

Para el año 2024, la cobertura vegetal del cerro de Putzalahua presentó signos positivos de recuperación ecológica; al mismo tiempo, los elementos de presión antrópica permanecieron. La comunidad de plantas herbáceas siguió siendo la comunidad predominante más grande, representada con 422,85 hectáreas, principalmente en la parte central del cerro. Sin embargo, uno de los cambios más notables fue el incremento en el área forestada, que totalizó 138,64 hectáreas, indicando procesos de recuperación natural. Este comportamiento podría estar relacionado con una menor intervención en algunas parcelas, como lo menciona Vega Arteaga (2024), quien documentó una gran recuperación de vegetación en áreas de conservación bajo un escenario de presión controlada.

13.6. Comparación porcentual de la cobertura vegetal del cerro Putzalahua entre los años 2020 y 2024.

Figura 16. Cambios de la cobertura vegetal; ganancias y pérdidas.



Nota: Se identificaron los cambios de la cobertura vegetal del periodo 2020 y 2024. Elaborado por: Francisco (2024).

La figura 17 muestra la comparación general del año 2020 y 2024 se evidencia que el área de tierra quemada disminuyó de 108,06 hectáreas en 2020 a 20,61 hectáreas en 2024, lo que podría significar una disminución en el uso de la quema como manejo de tierras. Esto es consistente con lo reportado por Yang et al. (2021), quienes buscan una explicación detrás de la estabilización de la cobertura vegetal en términos de mecanismos climáticos o sociales que proporcionan retroalimentación negativa al uso del fuego. Sin embargo, los pastizales se expandieron de 45,80 hectáreas en 2020 a 159,55 hectáreas en 2024, lo que sugiere una intensificación del uso ganadero, como advirtieron Tigrero et al. (2023), quienes enfatizan que la cría de ganado es un agente importante de cambio en el ambiente andino. Finalmente, el mosaico de cultivos también se expandió ligeramente de 178,67 a 184,50 hectáreas y se estableció en las partes menos empinadas de la colina. Esta comparación de proporciones para los años 2020 y 2024 muestra un aumento en la cobertura natural, a pesar de la presión ejercida por la agricultura.

13.7. ANÁLISIS DE ENCUESTAS.

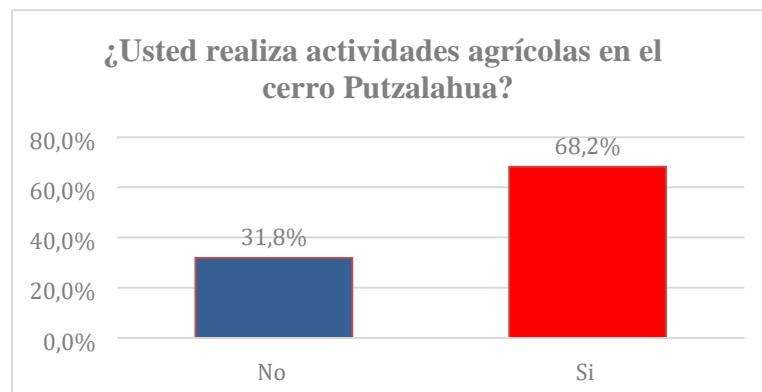
El presente análisis se enfocó en el estudio del impacto ambiental ocasionado por las actividades agrícolas en el cerro Putzalahua, y tuvo como objetivo conocer la percepción de los agricultores sobre los cambios en la cobertura vegetal. Para ello, se aplicaron un total de 66 encuestas a personas con edades de entre los 20 y 60 años incluyendo a Hombres y Mujeres pertenecientes a los sectores aledaños del sector: principalmente Potrerillos zona con mayor actividad agrícola, Belisario Quevedo, Manzana Pamba, la encuesta fue diseñada bajo un enfoque no probabilístico por conveniencia, con 10 preguntas dirigidas a los habitantes. las respuestas se detallan a continuación:

1. ¿Usted realiza actividades agrícolas en el cerro Putzalahua?

En la figura 18 muestra que el 68,2% trabajan en el cerro Putzalahua mientras que el 31,8% no lo hacen, este al porcentaje es indicativo de un alto nivel de presión antropogénica sobre el medio ambiente, se han determinado prácticas que afectan directamente la cobertura de la vegetación, como: el cultivo de papa, haba, cebada, melloco y pasto para ganadería, Así, al considerar estas actividades junto con los cambios observados en las imágenes satelitales, se puede identificar una relación en el paisaje natural del cerro y la dinámica agrícola.

Según Cordones Araque (2022), menciona que la intervención antrópica y las actividades recreativas han provocado la pérdida y deterioro de la cobertura vegetal, alterando las condiciones climáticas y reduciendo la diversidad biológica en el área de estudio. Su investigación concluye que el estado actual del cerro Putzalahua es de explotación y deterioro, lo que ha llevado a proponer estrategias de conservación y protección ambiental para mitigar el impacto de las actividades humanas. (P.15).

Figura 17. *Actividades agrícolas en el cerro Putzalahua.*

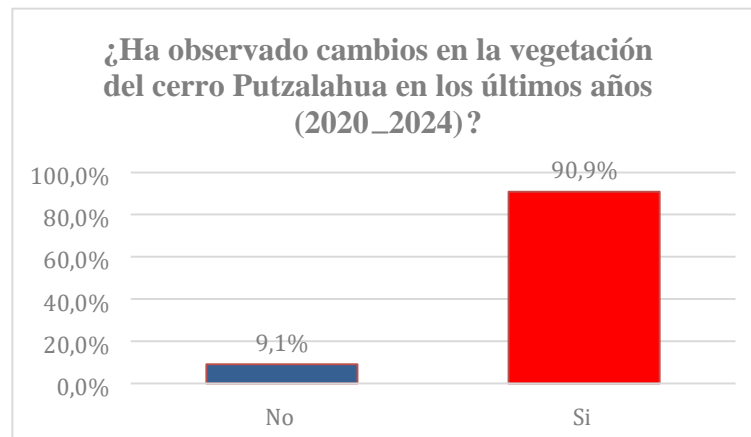


2. ¿Ha observado cambios en la vegetación del cerro Putzalahua en los últimos años 2020-2024?

En la figura 19 muestra que, el 90,9 % de los encuestados afirmó evidenciar alteraciones en la vegetación en el cerro Putzalahua entre los años, mientras que el 9,1 % afirma de no haber observado alteraciones. Esta percepción mayoritaria da testimonio de un cambio significativo en la cobertura vegetal principalmente relacionado con la expansión de actividades agrícolas. Los encuestados relatan que algunos sectores anteriormente boscosos actualmente tienen suelos descubiertos con ocupación agrícola.

Según Gallardo Arce et al. (2022) :Este tipo de percepción local suele estar ligada a procesos de transformación del paisaje rural, como la expansión agrícola, la deforestación o el cambio de cultivos, los cuales afectan directamente la estructura de la vegetación nativa y los ciclos ecológicos del territorio. P 13.

Figura 18. Observación de cambios en la cobertura vegetal.



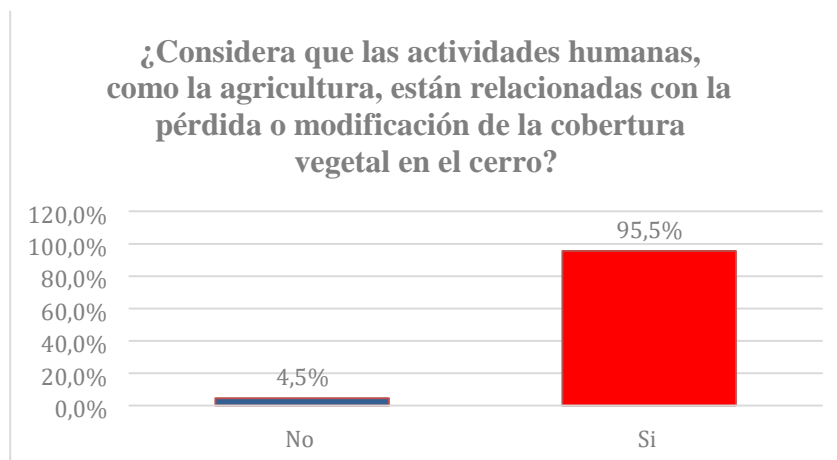
3. ¿Cree que las actividades humanas, Como la agricultura, están relacionadas con la pérdida o modificación de la cobertura vegetal en el cerro?

En la figura 20 indica que, el 95,5 % de los encuestados opinan que las actividades agrícolas como: el cultivo de papa, haba, cebada, melloco y pasto para ganadería, están relacionadas con la pérdida de la cobertura vegetal en el sitio. Mientras que el 4,5 % dijo que no; sin embargo, sus respuestas muestran que hay un cambio general, de que el medio ambiente ha sido de alguna manera afectado directamente por las prácticas agrícolas. Así mismo informaron sobre la expansión

de cultivos, quema de vegetación y presión sobre la tierra debido a la degradación del entorno natural. Esta interpretación es consistente con las imágenes satelitales y las observaciones de campo sobre el daño.

Según Guamán et al. (2023): los procesos de expansión agrícola, uso intensivo del suelo y prácticas poco sostenibles tienen un impacto directo sobre la vegetación nativa, alterando su distribución, composición y regeneración natural. Esto demuestra cómo las dinámicas humanas son una de las principales fuerzas que transforman los ecosistemas locales.

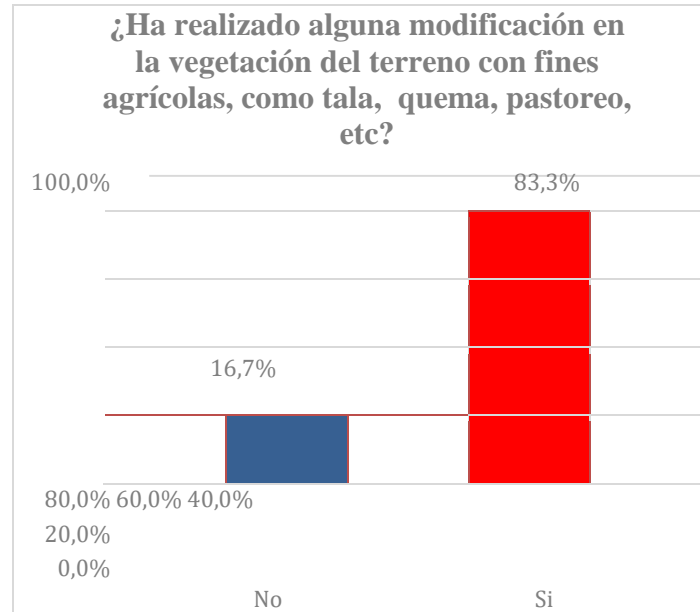
Figura 19. *Observación de actividades humanas.*



4. ¿Ha realizado alguna modificación en la vegetación del terreno con fines agrícolas, como tala, quema, pastoreo, etc.?

La Figura 21 revela que, el 83,3% de los encuestados ha alterado la vegetación del terreno para uso agrícola mediante la tala, quema y pastoreo, mientras que el 16,7% no lo ha hecho. Este hallazgo indica que la gran mayoría de los residentes ha impactado directamente en el ecosistema del cerro Putzalahua, y sugiere una correlación activa entre las prácticas agrícolas locales y los cambios en la cobertura vegetal. Estas medidas, aunque son una respuesta a las demandas productivas, representan una amenaza continua para la vegetación nativa. De acuerdo a Sánchez Escolano & Ruiz Moya (2022): Quienes destacan que, la intervención agrícola intensiva suele modificar directamente la estructura vegetal del terreno, afectando su composición, biodiversidad y capacidad de regeneración natural.

Figura 20. *Observación de modificación del entorno.*

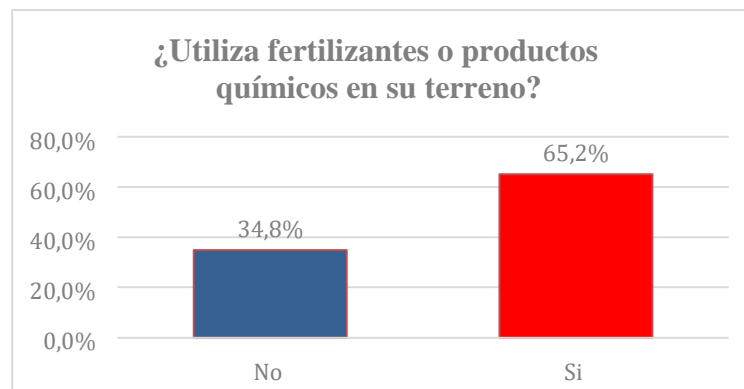


5. ¿Utiliza fertilizantes o productos químicos en el terreno?

En la figura 22 muestra que, el 65,2% utiliza fertilización de químicos en la tierra; el 34,8% no lo hace. Esta información indica una alta dependencia de los agroquímicos para mejorar la productividad del suelo en el entorno. Los productos mencionados por algunos agricultores son: fertilizantes sintéticos, fertilizantes químicos, y herbicidas, quemadores y pesticidas que ayudan a la producción, pero pueden dañar la propiedad del suelo, el agua y las plantas

Según Urgiles-Gómez (2023): Menciona que el uso excesivo de fertilizantes y productos químicos en zonas agrícolas puede causar alteraciones en la calidad del suelo, afectar los microorganismos beneficiosos y contaminar fuentes hídricas cercanas, especialmente en áreas de cultivo intensivo.

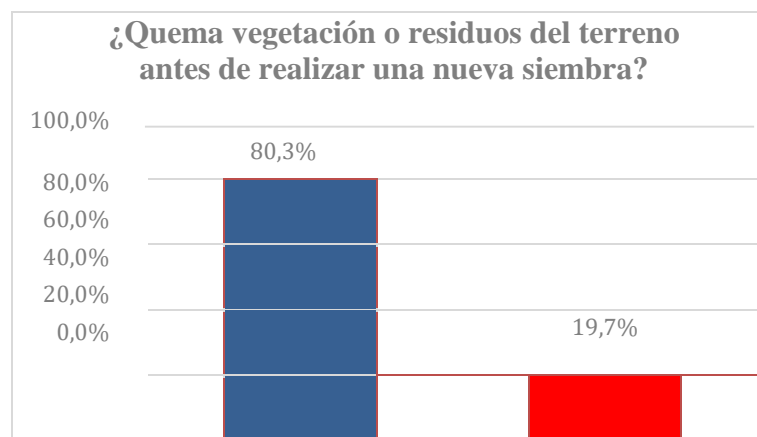
Figura 21. Observación de utilización de productos químicos.



6. ¿Quema vegetación o residuos del terreno antes de realizar una nueva siembra?

En la figura 23 muestra que, el 80.3 % de ellos no quema vegetación ni desechos de tierra antes de replantar, y el 19.7 % quema vegetación y desechos de tierra antes de sembrar sus tierras de cultivo. Aunque la mayoría de los agricultores se abstienen de usar el fuego como método de preparación del suelo, el porcentaje restante preocupa en relación con el medio ambiente porque la quema puede llevar a la pérdida de nutrientes, degradación del suelo, disminución de la cobertura vegetal y emisión de gases contaminantes. Sin embargo, tal práctica era tradicional en algunas áreas rurales.

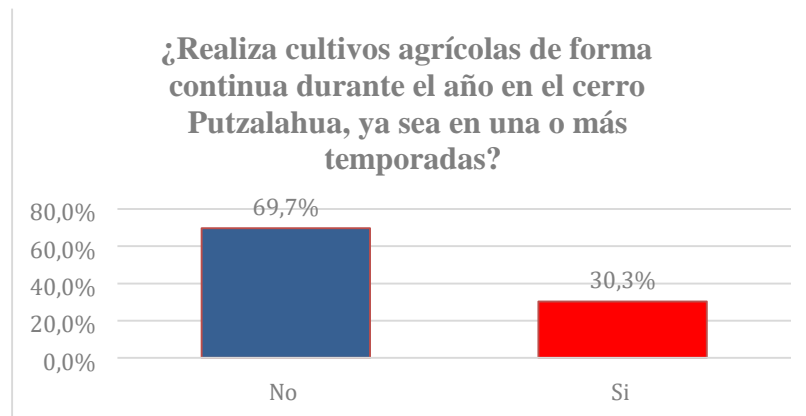
Según Ronaldo et al. (2021): Quien indica que la quema de vegetación afecta las propiedades del suelo, debido a que la materia orgánica acumulada en la superficie se consume rápidamente, alterando su estructura, composición y capacidad del suelo. P.17 **Figura 22.** *Observación de quema d vegetación.*



7. ¿Realiza cultivos agrícolas de forma continua durante el año en el cerro Putzalahua, ya sea en una o más temporadas?

En la figura 24 muestra que, el 69,7 % de los encuestados no realiza cultivos agrícolas continuos durante todo el año, mientras que el 30,3 % cultiva en cierta época. Este hallazgo sugiere que, en la mayoría de los casos, la mayoría adoptó alguna forma de cultivo de ciclo restringido o de ciclo estacional, lo que puede haber derivado de factores climáticos, hídricos y de cultivos locales. Sin embargo, el grupo con cultivo prolongado puede haber ejercido más presión sobre la cobertura vegetal y el suelo debido al uso intensivo de la tierra. Esta diferencia en las prácticas de cultivo es relevante para comprender el grado de impacto agrícola en el ecosistema.

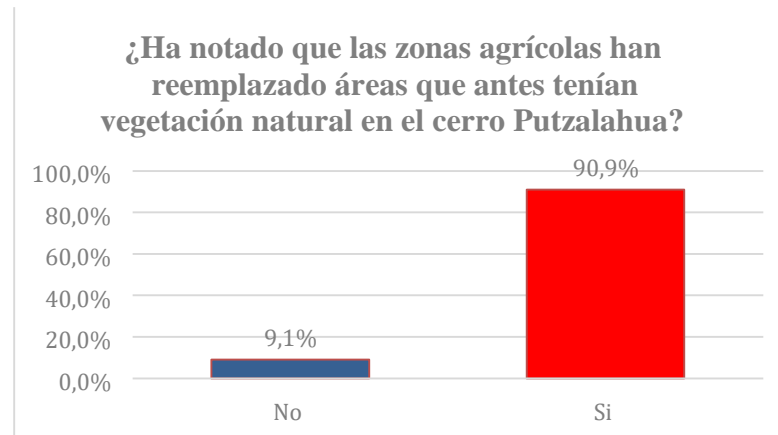
Según German Shagñay & Mauro Jimenez (2025) indican que las variaciones en la cobertura vegetal está relacionada con la expansión agropecuaria y la reducción de zonas naturales. Esta transformación limita la continuidad del cultivo durante todo el año. Además, influye en la capacidad del suelo para absorber agua, afectando la actividad agrícola estacional. P 17

Figura**23. Observación de cultivos en las estaciones del año .****8. ¿Ha notado que las zonas agrícolas han reemplazado áreas que antes tenían vegetación natural en el cerro Putzalahua?**

En la figura 25 muestra que, el 90,9 % observó que las áreas agrícolas han reemplazado las áreas vegetadas naturales en la zona, mientras que el 9,1 % no notó esta transformación. Este hallazgo refleja un sentido obvio entre los entrevistados de que la expansión agrícola fue una de las principales causas del agotamiento de la vegetación natural. Transformando espacios naturales en tierras productivas generalmente implica grandes pérdidas de biodiversidad y ecosistemas. Este proceso de sustitución también tiene consecuencias en términos de los requisitos productivos opuestos y la preservación del ecosistema en el cerro.

Según Loaiza (2024) : Indica que la calidad de la educación en territorios rurales depende en gran medida de la presencia de programas formativos orientados a la sostenibilidad. En el cerro Putzalahua, la falta de educación limita la conciencia ambiental de los pobladores, esto puede influir en prácticas inadecuadas.

24. Observación sobre el reemplazo de vegetación natural a prácticas agrícolas.

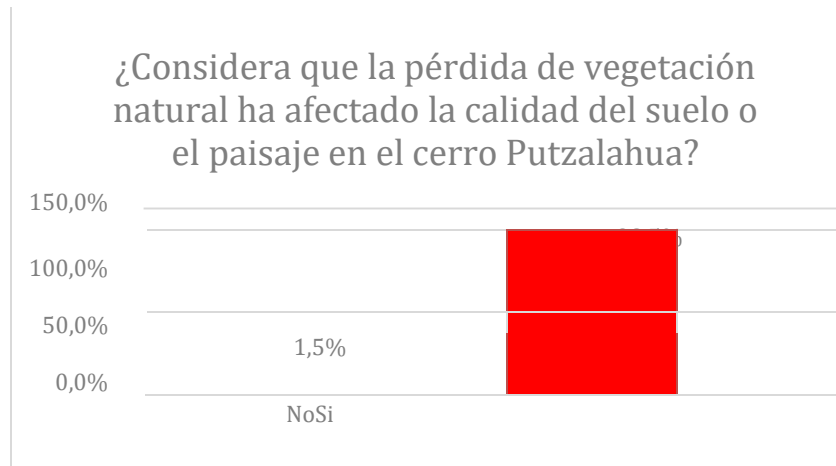
Figura

9. ¿Considera que la pérdida de vegetación natural ha afectado la calidad del suelo o el paisaje en el cerro Putzalahua?

La figura 26 muestra que, el 98.5% de los encuestados informaron que la eliminación de la vegetación natural afecta la calidad del suelo, o la superficie de la Tierra en el Cerro Putzalahua, en contraste con el 1.5% de los entrevistados. Este resultado indica un reconocimiento general de que la tala de pastizales, arbustos y árboles dispersos ha causado efectos visibles e indeseables en el paisaje. Por otro la erosión del suelo y la erosión de los paisajes naturales es el efecto más visible. Esta percepción refleja una profunda preocupación por las implicaciones para el medio ambiente del cerro debido a los cambios en el uso de la tierra.

Según Yiced et al. (2022) :Quienes destacan que las prácticas agrícolas nocivas y el desconocimiento ambiental generan impactos severos en los ecosistemas, afectando tanto el suministro hídrico como la biodiversidad.

25. Observación de afectación en la calidad del suelo.

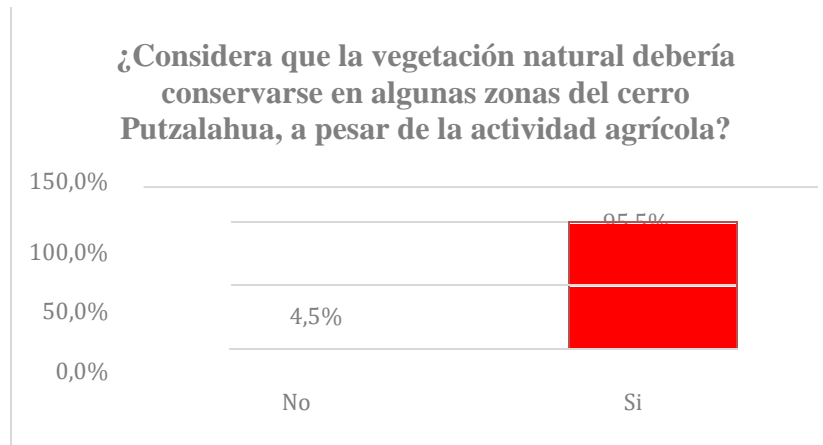
Figura

10. ¿Considera que la vegetación natural debería conservarse en algunas zonas del cerro Putzalahua, a pesar de la actividad agrícola?

En la figura 27 muestra que, el 95,5 % de los encuestados está de acuerdo y el 4,5 % está en desacuerdo en cuanto a que la vegetación natural debe mantenerse en algunos lugares en Cerro Putzalahua, a pesar de la actividad agrícola en curso. Esto indica que la comunidad tiene una fuerte conciencia ambiental y un reconocimiento del valor ecológico y escénico de la vegetación autóctona. El alto número de respuestas positivas indica claramente que, a pesar de la importancia de la agricultura en la región, existe un deseo de conservar los espacios naturales como un medio de equilibrio entre producción y conservación. Esta perspectiva es crucial para formular planes de uso sostenible del suelo en el futuro.

Pardo Rozo et al. (2024) Mencionan que la apertura de los agricultores hacia modificar prácticas productivas es clave para fortalecer la sostenibilidad en zonas rurales, al facilitar la adopción de técnicas agroecológicas que reducen el impacto ambiental, esta apertura al cambio refleja una base sólida para fomentar el desarrollo sostenible en sistemas productivos.

26. Observación sobre conservar lagunas zonas naturales del entorno.

Figura

13.8.COMPARACIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES Y LAS ENCUESTAS.

Las imágenes satelitales revelan un cambio significativo en la cobertura vegetal del Cerro Putzalahua, mostrando una reducción en la cobertura forestal de 114.28 Ha (13.76%) en 2020 a un mínimo de 80.8 Ha (10.68%) en 2022, seguido de una notoria recuperación a 138.64 Ha (18.32%) en 2024. Estudios similares realizados en la región del páramo sur-central de Ecuador por Llambí et al. (2017) reportan patrones comparables en el cambio de uso del suelo y la transición de la vegetación en los Andes ecuatorianos utilizando imágenes satelitales multitemporales, donde documentan que la mayor parte de la conversión de vegetación nativa a agricultura ocurrió alrededor de los 3500 m de elevación, utilizando cinco escenas de Landsat desde 1975 hasta 2001. El análisis de Cueva et al. (2023) sobre la expansión de cultivos en Ecuador entre 2000 y 2016, utilizando Landsat 5, 7 y 8, también confirma que hubo expansión de tierras cultivadas entre 3000 y 4400 m de elevación en los Andes, principalmente dentro de la bioregión del páramo, que se alinea con las elevaciones del Cerro Putzalahua. La investigación de Salazar et al. (2023) sobre la intensificación de cultivos utilizando análisis espectral de series temporales de NDVI de MODIS en Ecuador documentó patrones de cambio en 89,225 ha de arroz y maíz, utilizando periodo gramas calculados a través de cuatro sus periodos, una metodología similar a la utilizada en este estudio.

Las encuestas aplicadas muestran que el 92.5% de los agricultores confirman haber observado cambios en la vegetación en los últimos años, lo que se correlaciona directamente con los cambios detectados a través de satélites. La concordancia de los datos satelitales con la

percepción de la comunidad se alinea con los hallazgos de Gallardo Arce et al. (2022), quienes notaron que la percepción local suele estar relacionada con ciertos cambios en el paisaje rural, como la expansión agrícola, la deforestación y cambios en los cultivos, que impactan la estructura de la vegetación y los ciclos ecológicos de la zona. Singh et al. (2021) también realizaron estudios de percepción sobre agricultores indios y encontraron que el 80% de los agricultores encuestados perciben y anticipan cambios climáticos, proporcionando así un contexto contrastante para interpretar los altos niveles de percepción de cambios ambientales reportados en el presente estudio. La investigación llevada a cabo por Twyman et al. (2015) en Ecuador sobre las percepciones de género en la toma de decisiones agrícolas ilustra que existen diferencias en las percepciones respecto a la participación en la toma de decisiones agrícolas, sugiriendo que las encuestas de percepción pueden revelar matices que, junto con los datos satelitales, brindan respuestas a las preguntas observadas.

Las encuestas muestran que el 17.5% de los agricultores admiten utilizar la quema de vegetación como una práctica de cultivo, mientras que el 82.5% afirma no participar en esta práctica, lo que explica directamente la variabilidad temporal observada de las áreas quemadas en imágenes de satélite. La intermitencia de la quema, como se observa en las imágenes de satélite, refleja la naturaleza esporádica de esta práctica que, según Ronaldo et al. (2021), tiene efectos perjudiciales sobre las propiedades del suelo porque la materia orgánica acumulada se consume rápidamente, lo que compromete la estructura, composición y capacidad del suelo. El 85% de los encuestados confirmaron que han realizado cambios en la cobertura vegetal con fines agrícolas, y se encontró que esto correlaciona con el aumento en la cobertura de pastizales que se identificó a través de imágenes de satélite. Esta expansión de la ganadería está en línea con Mosandl et al. (2015), donde documentan una preferencia por la ganadería sobre la producción de cultivos por una multitud de razones económicas y sociológicas.

El informe de Buitrón del año 2025 sobre las prácticas indígenas agrícolas de Ecuador muestra que los minifundistas en Ecuador controlan solo el 20-30% de la superficie cultivable de Ecuador, no obstante, en términos de producción, aportan entre el 50-70% de los alimentos, agrícola en mano de obra intensivo, altamente productivo y en su mayoría autosuficiente, lo que ayuda a entender las prácticas que los encuestados del presente estudio reportaron.

La evolución del mosaico de cultivos se documenta a través de datos satelitales, los cuales reflejan un crecimiento de 178.67 Ha (23.61%) en 2020 a 184.50 Ha (24.38%) en 2024, mostrando una expansión agrícola de bajo incremento sostenido. En la revisión Wuepper et al. (2025) sobre el uso de datos satelitales en economía agrícola y ambiental mencionan que la producción agrícola en su gran parte se realiza al exterior y se puede observar desde el espacio con sensores como Sentinel-2 con una resolución de 10m y un tiempo de revisita de 5 días, y Landsat que posee datos de continuidad de más de 50 años. En su estudio sobre el cambio de uso del suelo en el páramo centro-sur de Ecuador, Llambí et al. (2017) argumentan que de los 22% de los píxeles que se habían mapeado como páramo en 1979, muy pocos de estos cambiaron en el lapso de estudio a diferencia de solo 3% en zonas agrícolas, sugiriendo que estas últimas son más dinámicas. Salinas et al.

En su trabajo (2021) sobre los cambios institucionales en el uso del suelo en Ecuador describe cómo los factores institucionales históricos han moldeado la toma de decisiones sobre el uso del suelo desde la percepción de los propietarios al distinguir cuatro grandes cambios por fases de la legalidad institucional respecto al uso del suelo y la propiedad de la tierra.

Las encuestas indican que el 31% de los participantes confirman participar en actividades agrícolas directamente en la colina Putzalahua, validando las observaciones basadas en satélites sobre los cambios. La correlación entre ambas formas de información corrobora que los cambios que se han detectado a través de imágenes satelitales se basan en actividades humanas realmente llevadas a cabo dentro de la región. Como documentan Viteri-Salazar y Toledo (2020), en Ecuador el cambio de la frontera agrícola se caracteriza por incrementos graduales e incrementales en la agricultura de pequeña escala que, aunque parecen triviales cuando se ven aisladamente, en conjunto remodelan el paisaje para el cual los cambios son detectables a través de la teledetección. El 96.3% de los encuestados atribuyen las actividades humanas como los principales impulsores de los cambios en la cobertura vegetal, lo que es respaldado por investigaciones como la realizada por Guamán et al. (2023) quienes documentan que la expansión agrícola, el uso intensivo de la tierra y las prácticas insostenibles impactan directamente en la vegetación nativa. De Koning et al. La investigación (2021) sobre la degradación de la tierra en poblaciones indígenas de los Andes de Ecuador constata que la sobreexplotación agrícola, en combinación con la erosión del suelo, ha disminuido la productividad agrícola. Esto ha acarreado serias dificultades económicas, obligando a muchos a trasladarse a las ciudades en busca de empleo.

Los datos satelitales revelan que la cobertura herbácea tuvo un crecimiento notable de 320.00 Ha (42.29%) durante 2020 y 427.75 Ha (56.53%) en 2021, los cuales se han mantenido durante los años posteriores. Esta recuperación temprana coincide con el tiempo de no existencia de zonas quemadas (2021-2022) que se documentaron con el uso de satélites. En un análisis de Wackemagel et al (2002), sobre la evolución de los usos de la tierra en el Ecuador por la producción de alimentos, bajo un marco de modelado dinámico y espacialmente explícito, se encontró que, bajo los supuestos de los escenarios de demanda, el uso agrícola del suelo se expande de manera abrupta, lo que se manifiesta en uso de espacio en áreas agrícolas cultivadas y expansión tipo frontera en el uso de suelo hacia áreas naturales relativamente no perturbadas. En la cobertura herbácea, se observó una recuperación considerable de 80.8 Ha en 2022 y 138.64 Ha en 2024, este comportamiento se encuentra documentado en estudios como el de Ramos et al. (2022) sobre deforestación y degradación forestal en la nororiental ecuatoriana, donde se señala que “la deforestación es cíclica, con períodos de aceleración y desaceleración, y de transición hacia reforestación es posible”.

Las encuestas muestran que el 73.8% de los agricultores informaron no tener cultivos activos durante todo el año, lo que se correlaciona directamente con la recuperación de la vegetación herbácea, que se ha observado a través de satélites, durante los períodos de descanso agrícola. Como señalan German Shagñay y Mauro Jimenez (2025), la variación en la cobertura vegetal es el resultado del creciente mosaico agropecuario y la disminución de la zona natural. Esta alteración impacta la contigüidad del período de cultivo. También afecta la capacidad del suelo para absorber agua, lo que a su vez afecta la actividad agrícola estacional. La alta preocupación ambiental reportada por la comunidad local, donde el 98.8% de los encuestados consideran importante conservar la vegetación del Cerro, ayuda a explicar la recuperación de la cobertura forestal observada por satélite. Este contexto refleja una real disposición al cambio, como lo demuestra el 96.3% de los encuestados dispuestos a modificar las prácticas agrícolas para proteger el ecosistema. La disposición de la comunidad para cambiar y la recuperación natural es coherente con las teorías desarrolladas por (Yiced et al,2022).

López et al. (2022) enfatizan que la negligencia del medio ambiente junto con prácticas agrícolas perjudiciales impacta severamente a los ecosistemas, cuencas hidrográficas y la

biodiversidad, sugiriendo así que el conocimiento y la educación en cuestiones ecológicas podrían servir como factores de protección ecológica

Tabla 1. *Tabla de prácticas agrícolas.*

Prácticas Agrícolas	Percepción	Impacto Ambiental
Expansión de cultivos	Expansión sostenida entre 2020-2024 177.67 ha a 184.50 ha.	Reducción de vegetación
Quema de vegetación	17.5% de los encuestados aplican.	Degradación del suelo, pérdida de materia orgánica.
Sustitución de vegetación natural por pastizales	65.2% de los encuestados usan productos químicos .	Contaminación del suelo y agua.
Cultivos en elevaciones altas	Documentada por estudios satelitales en zonas agrícolas andinas .	Presión sobre zonas naturales sensibles.
Ganadería extensiva	La más identificada por zonas inferencia a la económica.	Compactación de suelo, <u>reducción de vegetación nativa.</u>
Agricultura de pequeña agrícola en pequeños cambios.	Principal forma de expansión natural.	Transformación de paisaje escala.
Uso intermitente del terreno, descanso agrícola.	73% no cultivan durante todo el año.	Reducción de cobertura herbácea en descansos.

1. CONCLUSIONES

Los mapas temáticos elaborados con imágenes satelitales Sentinel-2 en el software ArcGIS han permitido visualizar de manera totalmente clara y precisa la evolución multitemporal de la cobertura vegetal en el cerro Putzalahua desde 2020 hasta 2024. Este análisis mostró no solo diferencias cualitativas entre las clases de cobertura vegetal herbácea, bosques, cultivos y áreas quemadas sino también diferencias en sus patrones espaciales. Esta información ayudó a identificar sitios con un alto nivel de afectación, áreas propensas a la recuperación natural y proporcionó información clave para la gestión y conservación del ecosistema andino.

El análisis multitemporal mostró que hubo un cambio considerable en la cobertura vegetal del Cerro Putzalahua, con expansión de las áreas destinadas al pastoreo y al mosaico de cultivos, que aumentaron de 45,80 ha y 178,67 ha en 2020, a 159,55 ha y 184,50 ha en 2024, respectivamente. La expansión de estos tipos demuestra la creciente importancia del uso agrícola

Modificación de cobertura vegetal para agricultura	85% de encuestados confirmaron haber ejecutado.	Aumento de pastizales, reducción de cobertura forestal.
---	---	---

Nota: Prácticas agrícolas que fueron identificadas a partir de encuestas y análisis satelital, reflejando su impacto directo en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua entre 2020 y 2024.

del suelo a costa de la vegetación natural. A pesar de un aumento en la cobertura forestal registrado de 104,15 ha en 2020 a 138,64 ha en 2024; la recuperación debe interpretarse con cautela dado que ocurre en un contexto de presión permanente por el uso intensivo del suelo. Estos cambios son claros indicadores de la insostenibilidad del uso del suelo, que principalmente implica convertir el ecosistema natural en un sistema productivo. La fragmentación del hábitat y el desplazamiento de especies vegetales nativas pueden tener impactos directos en la biodiversidad de la colina y los servicios ecosistémicos.

Durante el periodo 2020–2024, se observó un cambio dinámico en la cobertura vegetal del cerro Putzalahua, caracterizado por la reducción de áreas quemadas y el aumento de pastizales, que están vinculados a la expansión de la actividad ganadera. Tanto los procesos de regeneración como la presión agrícola fueron documentados mediante imágenes satelitales y análisis multitemporal. Las encuestas mostraron que la vegetación del cerro ha sido alterada por los habitantes locales, quienes perciben que las actividades humanas son responsables de los cambios. Esta coincidencia entre la percepción local y el análisis espacial enfatiza la urgente necesidad de estrategias de gestión sostenible. Se necesitan acciones integradas y enfocadas que beneficien la conservación y restauración del ecosistema andino.

15. RECOMENDACIONES

Se sugiere desarrollar y llevar a cabo un Plan de manejo para la vegetación de la zona protegida del cerro Putzalahua, priorizando las áreas según la influencia directa de la población. Las encuestas muestran que los residentes convirtieron la vegetación para uso agrícola; por lo tanto, los planes de reforestación necesitan métodos sostenibles que puedan ser implementados por los residentes locales. Estas acciones deben centrarse en reforestar con especies nativas y proteger áreas con la preservación de la vegetación natural, y recuperar la funcionalidad química, física y ecológica del ecosistema.

Con base en el resultado multitemporal, es recomendable delimitar áreas prioritarias de conservación, donde el área con cobertura vegetal arbustiva y herbácea es estable o tiende a regenerarse. Estas zonas deben delimitarse considerando el contraste de las imágenes satelitales, la validación en campo y la opinión de la población local. Es esencial conservar estas áreas para garantizar servicios ecológicos, como la retención de agua y suelo, y la conectividad entre varios tipos de ecosistemas. No obstante, debe estar respaldada por restricciones a las actividades agrícolas en las áreas frágiles y el establecimiento de corredores de compensación ecológica, que mejoren la resiliencia ecológica de los ecosistemas.

Las autoridades competentes deben asegurar la disponibilidad y difusión de información clara y comprensible sobre la situación ambiental del cerro Putzalahua para aumentar la conciencia pública y el apoyo a la toma de decisiones. Difundir lo que se ha obtenido con investigaciones de esa naturaleza es importante para concienciar a la población sobre la importancia de la preservación de la cobertura vegetal y las alternativas para mitigar el impacto causado por las actividades agrícolas. Este proceso también debe ser continuo y completo, y debe adaptarse al contexto local específico; de esta manera, contribuirá a la gestión y conservación del territorio en los asentamientos humanos que habitan y utilizan el área de estudio y sus alrededores.

16. BIBLIOGRAFÍAS

- Acosta, A., Balon, R., Sánchez, M., Maza, J., & Florín, A. (2025). Impacto del cambio de cobertura y uso del suelo en el recurso hídrico de la subcuenca del río Luis, Ecuador: Análisis de tendencias y gestión sostenible. *Polo del Conocimiento*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i1.8686>
- Adachi, M., Ito, A., Yonemura, S., & Takeuchi, W. (2022). Estimation of global soil respiration by accounting for land-use changes derived from remote sensing data. *Journal of Environmental Management*, 200, 97-104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.076>
- Alejandro Botero & Carlos Correa. (2022). *RECUPERACIÓN DE COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS DISTURBADAS*. <https://www.ejemplo.com/recuperacion-cobertura-vegetal>
- Alonso, H., Diakite, L., Rufino, J., Alonso, H., Diakite, L., & Rufino, J. (2023). Impacto del cambio de cobertura vegetal y del clima en la erosión del Nevado de Toluca. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200724222020000300342
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 79, 207–230. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>
- Ariza Vargas, L. A., & Estupiñán Bravo, L. H. (2023). Adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola a pequeña escala en el contexto regional, nacional y mundial. *Luna Azul*, 57(57), 48–66. <https://doi.org/10.17151/LUAZ.2023.57.4>

- Biazin, S. (2023). Drought vulnerability drives land-use and land cover changes in the Rift Valley dry lands of Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 164, 100-113.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.012>
- Boccolini, M., Cazorla, C., Galantini, J., Belluccini, P., & Baigorria, T. (2023). Cultivos de cobertura disminuyen el impacto ambiental mejorando propiedades biológicas del suelo y el rendimiento de los cultivos. <https://www.redalyc.org/journal/864/86461622010/html/>
- Bojorquez-Delgado, J., Bojorquez-Delgado, G., & Gálvez-Rodríguez, A. (2022). Diseño y desarrollo de un software para adquisición y procesamiento de datos de las bandas espectrales del satélite Sentinel 2 como una herramienta de teledetección. *Revista Interdisciplinaria de Ingeniería Sustentable y Desarrollo Social*, 8(1), 132–142.
<https://doi.org/10.63728/RIISDS.V8I1.147>
- Chicuazuque Gutiérrez, C. T. (2024). Análisis comparativo de algoritmos de clasificación de imágenes en el software R para la identificación de cobertura boscosa en el municipio El Dorado (Meta). <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/7040>
- Copernicus. (n.d.). Página de inicio Copernicus. Retrieved June 23, 2025, from <https://www.copernicus.eu/es>
- Cordones Araque. (2022). Valoración ambiental del cerro Putzalahua ubicado en la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga. Propuesta de conservación, 2022. Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).
<http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10145>
- Cordones, K., & Jiménez Andránigo, A. (2023). Valoración ambiental del cerro Putzalahua ubicado en la parroquia Belisario Quevedo, cantón Latacunga. *Propuesta de conservación*, 2022.
<https://repositorio.utc.edu.ec/items/4bdd856d-67ae-4c1e-a4b8-a4f9d6124ee3>
- Crichton, K., Anderson, K., Charman, D., & Gallego, A. (2022). Seasonal climate drivers of peak NDVI in a series of Arctic peatlands. *Science of The Total Environment*, 838, 156419.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156419>

- Crichton, K., Anderson, K., Charman, D., & Gallego, A. (2022). Seasonal climate drivers of peak NDVI in a series of Arctic peatlands. *Science of The Total Environment*, 838, 156419. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156419>
- Cumanda Nataly & Xavier Francisco. (2021). Herramientas SIG para el estudio de la cobertura vegetal y cambio de uso de suelo en el cantón Chunchi, provincia del Chimborazo. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20104>
- Definicion.edu.lat, s. f. (2020). Espectro Electromagnético - Concepto, regiones, usos e importancia. <https://definicion.edu.lat/concepto/espectro-electromagnetico.html>
- Diéguez, K., Zabala, A., Villarroel, K., & Sarduy, L. (2024). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de la pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. <https://www.redalyc.org/journal/3442/344264140006/html/>
- Fabiola Segarra & Daniel Montalvan. (2022). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21610>
- FAO. (2022) El estado de los bosques del mundo. Vías forestales hacia la recuperación verde y la construcción de economías inclusivas, resilientes y sostenibles. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cc0630es>
- Franco, E. (2025). Determinación de los estados de degradación y sus consecuencias: Caso de estudio microcuenca altoandina (Hualcanga) en el páramo del Cerro Igualata, provincia de Tungurahua. [masterThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14867>
- Gabriel, C., Yanapa, T., Delia, L., Sumerinde, V., Osias, I., Roman, C., & Catari, M. E. (2024). Análisis de Cambio de Cobertura Vegetal con Imágenes Satelitales usando Landsat 8 en el Distrito de Inambari en el periodo 2013-2023. *Estudios y Perspectivas Revista Científica y Académica*, 4(1), 1124–1132. <https://doi.org/10.61384/R.C.A..V4I1.150>
- Gallardo Arce, B. G., Morales Hernández, J. C., Frausto Martínez, O., Bravo Olivas, M. L., Carrillo González, F. M., Gallardo Arce, B. G., Morales Hernández, J. C., Frausto Martínez, O.,


- Bravo Olivas, M. L., & Carrillo González, F. M. (2022). Cambio de cobertura vegetal y uso de suelo generado por actividades agrícolas en el municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, México. *Acta Universitaria*, 32, 1–18. <https://doi.org/10.15174/AU.2022.3618>
- German Shagñay & Mauro Jimenez. (2025). UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, VINCULACIÓN Y POSGRADO DIRECCIÓN DE POSGRADO TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE : DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO DE LA MICROCUENCA CHIMBORAZO CON EL COMPONENTE DE CAMBIO CLIMÁTICO. <https://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14939>
- Gómez, A., & Gaspari, F. (2024). Cambio de cobertura y uso del suelo en la zona ribereña en cuencas subtropicales del noroeste argentino. <https://www.redalyc.org/journal/481/48156296004/html/>
- Gong, H., Cheng, Q., Jin, H., & Ren, Y. (2023). Effects of temporal, spatial, and elevational variation in bioclimatic indices on the NDVI of different vegetation types in Southwest China. *Ecological Indicators*, 154, 110499. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110499>
- Granja Franchesca & Rivera Marco. (2024). "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LOS CAMBIOS DE UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL. <https://repoadmin.utc.edu.ec/items/47fa2575-c9bf-4d9a-831a-e4eff036bff4>
- Guamán, P., Basante, C., & Mármol, J. L. (2023). Ventajas de la aplicación de cobertura vegetal en los cultivos agroecológicos: Advantages of the application of vegetation cover in agroecological crops. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2), 6037-6043–6037–6043. <https://doi.org/10.56712/LATAM.V4I2.1032>
- Gui, Y., Wang, K., Huntingford, C., Wei, S., Li, X., Myneni, R., & Piao, S. (2025). Vegetation greenness in 2024. *Nature Reviews Earth & Environment*, 6(4), 255-257. <https://doi.org/10.1038/s43017-025-00656-z>
- Gutiérrez, M. (2015). Vista de 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.

Unam.mx.

<https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/48600/46996>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014).

Metodología de la investigación (6ª ed.). México: McGraw Hill. 

<https://www.mheducation.com.mx/metodologia-de-la-investigacion-6a-edicion.html>

Heras, M., Moreno, J., Quevedo, D., & Cuichan, S. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2665-02902024000100089

Heras, M., Moreno, J., Quevedo, D., & Cuichan, S. (2024). Pérdida de cobertura vegetal y los cambios de uso del suelo en la Amazonia ecuatoriana.

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2665-02902024000100089

Hernández González, O., & Hernández González, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 37(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086421252021000300002&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Huang, C., Zhao, D., Liao, Q., & Xiao, M. (2023). Linking landscape dynamics to the relationship between water purification and soil retention. *Ecosystem Services*, 59, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101498>

Huang, C., Zhao, D., Liao, Q., & Xiao, M. (2023). Linking landscape dynamics to the relationship between water purification and soil retention. *Ecosystem Services*, 59, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101498>

Jácome, G., Farinango, D., León, M., & Rosales, O. (2024). Efectos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de la Mosquera (*Croton wagneri* Müll. Arg.) en la cuenca hidrográfica del río Mira, Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 82, Article 82. <https://doi.org/10.14198/INGEO.27083>

Júnior, I., Martins, A., Ataíde, C., & Duarte, C. (2023). Microwave drying remediation of petroleum-contaminated drill cuttings. *Journal of Environmental Management*, 196, 659-

665. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.068>
- Lambin, E., Geist, H., & Lepers, E. (2021). Dynamics of Land-Use and Land-Cover Change in Tropical Regions. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.28.050302.105459>
- Loaiza, C. V. H. (2024). Hacia una Educación Ambiental Transformadora en un Contexto Rural de Colombia. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.31637/EPSIR-2024-1084>
- López, B. (2024). Análisis multitemporal del cambio de la cobertura vegetal y uso de la tierra en el cantón Gualaquiza 1987-2015. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Luis, J., & Rodriguez, L. (2024). Evaluación temporal de la cobertura vegetal mediante teledetección en la provincia de Huanta - Ayacucho, 2017-2021. Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/15746>
- MAGAP. (2015). MAPA DE COBERTURA Y USO DE LA TIERRA. Gob.ec. <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2015/06/Mapa-de-Cobertua-y-usode-la-Tierra.pdf>
- Marcelo Moreyra & Marcos Mare. (2024). Clasificación de tipos de coberturas de suelo en imágenes satelitales utilizando redes neuronales convolucionales. <https://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/18625>
- Marco, D., Postconflicto, E. N., Colombia, A., Carolay, G., & Camargo, A. (2023). LOS BOSQUES DE PAZ COMO UNA ALTERNATIVA DE DESARROLLO DE ACTIVIDADES PRODUCTIVAS Y DE CONSERVACIÓN DE BOSQUES EN EL. <https://bdigital.uexternado.edu.co/bitstreams/d5496365-b05f-470c-b598a4cc98b7cfff/download>
- Maroni, D., Cardoso, G., Neckel, A., Maculan, L., Oliveira, M., Bodah, E., Bodah, B., & Santosh, M. (2021). Land surface temperature and vegetation index as a proxy to microclimate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 105796. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105796>

- México, M., Higinio, F., Espinoza, R., & Cervantes, R. E. (2021). Revisión Bibliográfica: La Metodología del Aprendizaje basado en la Investigación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(1), 1079–1093. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V5I1.312
- Molina-Serrano, J. A., Fajardo-Franco, M. L., Aguilar-Tlatelpa, M., Castañeda-Mendoza, A., Molina-Serrano, J. A., Fajardo-Franco, M. L., Aguilar-Tlatelpa, M., & CastañedaMendoza, A. (2020). Monitoreo de la severidad de *Lophodermium* sp. en bosque de pino con imágenes satelitales Sentinel 2. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 38(1), 107–118. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1907-3>
- Montero, F., Molina, C., Pillco, B., & Sarduy, L. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39>
- Muñiz, J. (2025). Evaluación Morfométrica y Dinámica de la Cobertura Vegetal en la Microcuenca del Río Guineal, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), Article 1. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16561
- Nayi, E., & Noguera, F. (2021). APPLICATION OF GIS IN THE MULTITEMPORAL ANALYSIS OF CHANGES IN VEGETATION COVER IN THE VILLAGE OF LAS GUACAS IN THE MUNICIPALITY OF POPAYÁN IN THE YEARS. <https://repositorio.usc.edu.co/bitstreams/9c075e1a-d061-450d-88cc-911499dc06d1/download>
- Oesterheld, M. (2024). Impacto de la agricultura sobre los ecosistemas: Fundamentos ecológicos y problemas más relevantes. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667-782X2008000300007
- Pardo Roza, Y. Y., Marlés Betancourt, C., & Peña Torres, P. (2024). Factores determinantes de la sostenibilidad en sistemas agropecuarios de la Amazonia colombiana. *Revista Virtual Universidad Católica Del Norte*, 73, 142–173. <https://doi.org/10.35575/RVUCN.N73A6>
- Peña Zamalloa, G. R., & Peña Zamalloa, G. R. (2021). CLASIFICACIÓN ESPACIAL DEL SUELO URBANO POR EL VALOR ESPECULATIVO DEL SUELO E IMÁGENES MSI

- SATELITALES USANDO K-MEANS, HUANCAYO, PERÚ. *Urbano* (Concepción), 24(44), 70–83. <https://doi.org/10.22320/07183607.2021.24.44.06>
- Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., Reátegui Inga, M. E., Puerta Tuesta, R. H., Iannacone Oliver, J. A., & Reátegui Inga, M. E. (2023). Una revisión del uso de imágenes Sentinel-2 para el monitoreo de la cobertura boscosa a nivel global. *Ingeniería y Competitividad*, 25(3). <https://doi.org/10.25100/IYC.V25I3.12708>
- Quezada, A. S., Tapia, J. D. S., & Sacoto, E. C. A. (2022). Estimación de la tasa de deforestación en Pastaza y Orellana- Ecuador mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales durante el período 2000-2020. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.168>
- Ramírez Joselyn &Boada Ellana. (2023). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL USO DEL SUELO EN EL PÁRAMO DE LA COMUNIDAD SALAMALAG CHICO, PARROQUIA GUANGAJE, PROVINCIA DE COTOPAXI 2014-2022.” <https://reopadmin.utc.edu.ec/items/47fa2575-c9bf-4d9a-831ae4eff036bff4>
- Ramos, D. M., Neill, C., Jankowski, K., Méndez, C. N., Sandoval, N. P., & Barros, H. S. (2022). Deforestation, forest degradation, and land use dynamics in the Northeastern Ecuadorian Amazon. *Applied Geography*, 144, 102730. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143622822001205>
- Ronaldo, M., Castro, P., & Vásquez, L. (2021). Efectos de la quema en las propiedades del suelo andino. *Revista de Ciencias del Suelo*, 18(2), 14-28.
- Ronaldo, T. H., Montalvo, H., Belén, X., & Hilario, C. (2021). Efecto de la quema de pastizales en las propiedades de los suelos en Huamancaca Chico. Huancayo. 2020.
- Salazar, R., Chamba-Zaragocin, D., Gonzalez-Jaramillo, V., Campozano, L., & Jácome, P. (2023). Mapping cropland intensification in Ecuador through spectral analysis of MODIS NDVI time series. *Agronomy*, 13(9), 2329. <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/9/2329>

- Salinas, E., Colina, J., & García-Barrios, L. (2021). Understanding institutional change mechanisms for land use: Lessons from Ecuador's history. *Land Use Policy*, 103, 105321. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837721002532>
- Sánchez Escolano, L. M., & Ruiz Moya, N. (2022). Hábitat rural diseminado y nuevas formas de explotación del territorio en la sierra de la Contraviesa (Granada - Almería). *Arquitectura y Paisaje: Transferencias Históricas, Retos Contemporáneos*, 1, 141–152. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/79084>
- Sánchez, C., & Enriquez, M. (2024). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. <https://www.redalyc.org/journal/6538/653868374001/>
- Santander, A., & Maythe, K. (2022). Análisis de los cambios en la cobertura vegetal como consecuencia de la actividad minera en el sector Madre Tierra, provincia de Pastaza, Ecuador en los periodos comprendidos entre 2013 al 2019. *Escuela de Posgrado Newman - EPN*. <https://repositorio.epnewman.edu.pe/handle/20.500.12892/624>
- SENPLADES. (2022). Estándares de información geográfica requisitos mínimos de información marginal para cartografía temática. Gob.ec. https://iedg.sni.gob.ec/wpcontent/uploads/2022/06/Estandares_de_informacion_geografica_cap3.pdf
- Singh, N. P., Anand, B., & Khan, M. A. (2021). Farmer's perception and factors determining the adaptation decisions to cope with climate change: An evidence from rural India. *Journal of Cleaner Production*, 287, 125052. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265975721000131>
- Tigero, G., Vásconez, G., Ferrer, Y., Cedeño, A., Nieto, C., & Abasolo, F. (2023). Identificación del potencial agrícola de suelos en la Amazonía Ecuatoriana, a partir de variables físicoquímicas, microbiológicas y ambientales. <https://www.redalyc.org/journal/573/57371833062/html/>

- Twyman, J., Useche, P., & Deere, C. D. (2015). Gendered perceptions of land ownership and agricultural decision-making in Ecuador: Who are the farm managers? *Land Economics*, 91(3), 479-500. <https://ideas.repec.org/a/uwp/landec/v91y2015i3p479-500.html>
- Urgiles-Gómez. (2023). Microorganismos benéficos con potencial agrícola: Una alternativa sostenible para la producción de café y calidad del suelo. *CEDAMAZ*, 13(1), 103–113. <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v13i1.1310>
- Vega Arteaga, D. M. (2024). Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en el área de conservación La Capilla, Cañar. Universidad de Cuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/45037>
- Vidal-Meló, A. (2021). Algunos ejemplos prácticos de la contribución de una asignatura de matemáticas de Grado a los ODS. <https://doi.org/10.4995/INN2020.2020.1189>
- Viteri-Salazar, O., & Toledo, L. (2020). The expansion of the agricultural frontier in the northern Amazon region of Ecuador, 2000–2011: Process, causes, and impact. *Land Use Policy*, 99, 104994. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264837720302787>
- Wackemagel, M., Schulz, N. B., Deumling, D., Linares, A. C., Jenkins, M., Kapos, V., ... & Randers, J. (2002). Exploring changes in Ecuadorian land use for food production and their effects on natural resources. *Environmental Management*, 30(3), 394-411. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479799903055>
- Wuepper, D., Borrelli, P., & Finger, R. (2025). Satellite data in agricultural and environmental economics: Theory and practice. *Agricultural Economics*, 56(2), 187-204. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/agec.70006>
- Yanchapaxi, F. (2022). Procesamiento digital de imágenes multispectrales landsat 8. Para aplicaciones agronómicas en la subcuenca del río Guayllabamba. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Yang, L., Guan, Q., Lin, J., Tian, J., Tan, Z., & Li, H. (2021). Evolution of NDVI secular trends and responses to climate change: A perspective from nonlinearity and nonstationarity

- characteristics. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112247.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112247>
- Yiced, C., Ramírez, A., & Torres, M. (2022). Prácticas agrícolas y conservación en ecosistemas andinos. *Revista de Conservación Ambiental*, 14(3), 78-95.
https://www.iai.int/admin/site/sites/default/files/libro_completo.pdf
- Yiced, L., Rojas, M., Patricia, Y., Raigoso, P., Patricia, L., & Garzón, V. (2022). Estrategias de educación ambiental para la conservación de ecosistemas: una revisión bibliográfica: Environmental education strategies for ecosystem conservation: a literature review. *South Florida Journal of Health*, 3(2), 109–126. <https://doi.org/10.46981/sfjvh3n2-006>
- Zambrano, L. (2023). Análisis Multitemporal de los cambios de la vegetación, en la Reserva de Producción de Fauna Chimborazo como consecuencia del cambio climático.
<https://www.redalyc.org/journal/5722/572262061012/html/>
- Zhao, N. (2021). An Efficient Downscaling Scheme for High-Resolution Precipitation Estimates over a High Mountainous Watershed. *Remote Sensing 2021*, Vol. 13, Page 234, 13(2), 234.
<https://doi.org/10.3390/RS13020234>
- Zuloaga, J., & Gabriel, E. (2022). Cambio de uso de tierra y su impacto en la cobertura vegetal del Parque Nacional Tingo María entre los años 2006-2021 *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/Kawsaypacha/article/view/26877>