



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL
RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y
CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE
COTOPAXI.”**

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

Autora:
Cofre Pilaguano Doris Maribel

Tutor:
Rivera Moreno Marco Antonio

LATACUNGA – ECUADOR

Marzo 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Cofre Pilaguano Doris Maribel, con cédula de ciudadanía No. 0504150012, declaro ser autora del presente Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero Mg. Marco Antonio Rivera Moreno, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, 05 de febrero del 2026

Doris Maribel Cofre Pilaguano
C.C: 0504150012
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 **COFRE PILAGUANO DORIS MARIBEL**, identificada con cédula de ciudadanía **0504150012** de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “**DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Abril 2022 - Agosto 2022

Finalización de la carrera: Octubre 2025 – Marzo 2026

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Tema: “**DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI**”

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

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

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

- a. La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b. La publicación del trabajo de grado.
- c. La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d. La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e. Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, 05 de febrero del 2026.

Doris Maribel Cofre Pilaguano
LA CEDENTE

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.
LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

“DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”, de Cofre Pilaguano Doris Maribel, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 05 de febrero del 2026

Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.
C.C: 0504150012
DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: Cofre Pilaguano Doris Maribel con el título del Proyecto de Investigación: **“DISEÑO DE ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DEL RECURSO SUELO EN LAS PARROQUIAS ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

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

Latacunga, 05 de febrero del 2026

Dr. José Antonio Andrade Valencia Ph.D.
C.C: 0502524481
LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Vicent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.
C.C: 0502547649
LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.
CC: 0400689790
LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Primero, quiero agradecer a Dios por darme salud, fortaleza y sabiduría por guiarme en mis pasos durante este proceso para superar cada reto que se me presentó en la realización de esta investigación. Y como no agradecer a mis padres, en especial a mi madre por su amor incondicional, su apoyo constante por darme el ejemplo que con esfuerzo y dedicación se alcanzan los sueños, gracias por creer siempre en mí y por brindarme las herramientas necesarias para crecer tanto académicamente como personalmente. A mis hermanos, por su compañía, paciencia y sus palabras de aliento y por siempre recordarme que la familia es un pilar que nunca falla, incluso en los momentos más difíciles

Un agradecimiento muy especial a mi docente tutor el Ing. Marco Rivera y mis lectores el Dr. José Andrade, Ing. Benjamín Velastegui, Ing. Oscar Daza, y al Ing. Diego Montalvo por su guía experta, su paciencia infinita y su disposición para acompañarme paso a paso en cada etapa de este trabajo, su compromiso y conocimiento han sido fundamentales para la consolidación de esta investigación

Un agradecimiento infinito a mi amiga Gissela Lisbeth Moreno Guasti quién siempre estuvo al pendiente de mí escuchándome, motivándome y compartiendo conmigo tanto en días buenos y malos de este proceso, su apoyo constante ha sido un verdadero refugio y motivación.

Doris Maribel Cofre Pilaguano

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios por darme salud y ser mi guía para enfrentar cada desafío que se me presentó en este camino académico, por sostenerme en los momentos difíciles por iluminar mi mente mi corazón para no perder la fé y la esperanza en mis días difíciles.

*Con amor dedico a mis padres **Delia Pilaguano** y **Jorge Cofre** por su amor y apoyo incondicional y su ejemplo de esfuerzo y dedicación, gracias por enseñarme con su ejemplo y que nada se logra sin trabajo, sacrificio, constancia y perseverancia. Cada logro mío es también suyo y este trabajo es un humilde reflejo de todo lo que me han dado y enseñado. A mis hermanos y mi familia por su compañía, sus palabras de aliento y por ser un refugio de cariño y confianza en cada paso que he dado. Su apoyo ha sido una motivación constante que me impulso a seguir adelante, incluso cuando parecía difícil.*

A mi docente tutor al Ing. Marco Rivera por su guía experta, su paciencia infinita y su disposición para acompañarme en cada etapa de este proceso por compartir sus conocimientos, motivarme a superar obstáculos y por creer en mi capacidad de crecer y aprender su apoyo ha sido fundamental para que este trabajo se concretara.

A mi amiga Gissela Moreno quien siempre estuvo a mi lado, pendiente de mí en todo momento, brindándome apoyo, consejos y motivación. Gracias por escucharme, animarme y celebrar conmigo cada pequeño avance. Tu amistad ha sido un pilar importante durante esta etapa.

Doris Maribel Cofre Pilaguano

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: Diseño de estrategias para la conservación del recurso suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la Provincia de Cotopaxi

Autora:

Cofre Pilaguano Doris Maribel

RESUMEN

La investigación titulada diseño de estrategias para la conservación del recurso suelo *se* desarrolló en la parroquia Zumbahua, cantón Pujilí, y en la parroquia Chugchilán, cantón Sigchos, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi. Tuvo como objetivo general diseñar estrategias de conservación del suelo orientadas a garantizar la sostenibilidad productiva en estos sectores altoandinos. Para ello se plantearon como objetivos específicos: diagnosticar las condiciones ambientales del ecosistema del páramo con énfasis en las problemáticas de erosión y degradación de tierras; comparar los indicadores edáficos de ambas parroquias asociados a los procesos de degradación del suelo y la vulnerabilidad de los suelos productivos; y como último objetivo específico proponer estrategias de conservación adaptadas a las condiciones ambientales de cada territorio. La investigación se desarrolló bajo una metodología mixta, combinando enfoques de investigación descriptivo, comparativo y de campo. Se realizaron análisis físicos, químicos y biológicos del suelo. Para ello se aplicaron métodos como textura (método del tacto), compactación, estabilidad estructural (test de agregados), infiltración de agua, retención de humedad (método gravimétrico), temperatura, pH, contenido de materia orgánica, evaluación de macrofauna y el test del calcetín para medir la cantidad de descomposición biológica. Los resultados obtenidos muestran que ambas parroquias presentan textura franco-arenosa, condición favorable para el drenaje y el desarrollo radicular, aunque con limitaciones en la retención de humedad. En el componente físico, Zumbahua presenta baja estabilidad estructural y baja retención hídrica, lo que genera dependencia de las precipitaciones y mayor susceptibilidad a la erosión. En Chugchilán se identificó una capa compactada a 20 cm de profundidad y una estabilidad estructural muy baja, condiciones que reducen la infiltración, aumentan la escorrentía y aceleran la pérdida del suelo fértil. En el componente químico, ambas parroquias presentan valores de pH y temperatura adecuados para los cultivos andinos. En el componente biológico, Zumbahua presentó baja macrofauna, pero una actividad microbiana intermedia; esto puede deberse a que los organismos de mayor tamaño como lombrices, insectos y larvas son escasos, mientras que los microorganismos como hongos y bacterias aún mantienen cierta funcionalidad. Por su parte, Chugchilán presenta un mayor contenido orgánico, pero su actividad microbiana fue baja, lo que puede estar asociado a la compactación del suelo y a condiciones de sequedad. Tras los resultados obtenidos, se diseñaron estrategias de conservación del suelo orientadas a la implementación de prácticas de manejo agroecológicas. En conclusión, el diagnóstico evidencia que ambas parroquias presentan procesos de degradación del suelo, lo que exige la implementación de **estrategias** diferenciadas de manejo sostenible.

Palabras claves: calidad edáfica; fertilidad natural; manejo agrícola; seguridad alimentaria.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “DESIGN OF STRATEGIES FOR SOIL RESOURCE CONSERVATION IN THE PARISHES OF ZUMBAHUA AND CHUGCHILÁN, PROVINCE OF COTOPAXI”

Author:
Cofre Pilaguano Doris Maribel

ABSTRACT

The research entitled design of strategies for soil resource conservation was conducted in the parish of Zumbahua, canton of Pujilí, and in the parish of Chugchilán, canton of Sigchos, located in the province of Cotopaxi. The general objective was to design soil conservation strategies aimed at ensuring productive sustainability in these high-Andean areas. The specific objectives were: to diagnose the environmental conditions of the páramo ecosystem with emphasis on soil erosion and land degradation problems; to compare soil indicators of both parishes associated with soil degradation processes and the vulnerability of productive soils; and to propose conservation strategies adapted to the environmental conditions of each territory. The study was developed under a mixed methodology, combining descriptive, comparative, and field research approaches. Physical, chemical, and biological soil analyses were carried out using methods such as soil texture (hand-texturing method), compaction, structural stability (aggregate stability test), water infiltration, moisture retention (gravimetric method), temperature, pH, organic matter content, macrofauna evaluation, and the Tea Bag Index test to measure biological decomposition activity. The results indicate that both parishes present sandy loam soil texture, a condition favorable for drainage and root development, although with limitations in moisture retention. In the physical component, Zumbahua showed low structural stability and low water retention, which increases dependence on precipitation and susceptibility to erosion. In Chugchilán, soil compaction was identified at a depth of 20 cm and structural stability was very low, conditions that reduce infiltration, increase surface runoff, and accelerate the loss of fertile soil. In the chemical component, both parishes showed pH and temperature values suitable for Andean crops. In the biological component, Zumbahua presented low macrofauna presence but intermediate microbial activity, which may be explained by the scarcity of larger organisms such as earthworms, insects, and larvae, while microorganisms such as fungi and bacteria still maintain certain soil functionality. In contrast, Chugchilán presented higher organic matter content but low microbial activity, possibly due to soil compaction and dry conditions. Based on the results obtained, soil conservation strategies were designed focusing on the implementation of agroecological management practices. In conclusion, the diagnosis indicates that both parishes present soil degradation processes, which requires differentiated strategies for sustainable soil management.

Keywords: soil quality; natural fertility; agricultural management; food security.

ÍNDICE 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
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
1. Información general.....	1
2. Introducción.....	2
3. Justificación de la investigación.....	2
4. Beneficiarios del proyecto.....	3
5. Problema de investigación.....	4
6. Objetivos.....	5
6.1. Objetivo General.....	5
6.2. Objetivos Específicos.....	5
7. Sistematización de los objetivos.....	5
8. Fundamentación científica.....	6
8.1. Territorio andino.....	6
8.2. Ecosistema de páramo.....	7
8.3. Funciones ecosistémicas del páramo.....	7
8.3.1. Regulación hídrica.....	7
8.3.2. Almacenamiento de carbono.....	8
8.3.3. Conservación de la biodiversidad.....	8
8.4. Presiones antrópicas sobre el páramo.....	8
8.4.1. Expansión agrícola y ganadera.....	8
8.4.2. Quemadas y sobrepastoreo.....	8
8.4.3. Cambio de uso del suelo.....	9
8.4.4. Impactos del cambio climático.....	9

8.5.	Suelo.....	9
8.5.1.	Tipos de suelo	9
8.5.2.	Triángulo textural del suelo	10
8.5.3.	Propiedades físicas.....	11
8.5.4.	Propiedades químicas.....	11
8.5.5.	Propiedades biológicas.....	11
8.5.6.	Funciones ecológicas y productivas del suelo	11
8.5.7.	Degradación del suelo.....	12
8.5.8.	Perdida de materia orgánica.....	12
8.5.9.	Impacto de prácticas agropecuarias inadecuadas.....	12
8.6.	Técnicas de conservación de suelo.....	13
8.6.1.	Terrazas agrícolas	13
8.6.2.	Barreras vivas y muertas	13
8.6.3.	Manejo agroecológico de suelo	14
8.6.4.	Rotación y asociación de cultivos.....	14
8.6.5.	Uso de abonos orgánicos	14
8.6.6.	Importancia de la agroecología en el suelo.....	15
8.7.	Saberes ancestrales y prácticas tradicionales	15
8.7.1.	Prácticas agrícolas ancestrales de conservación	15
8.7.2.	Agricultura familiar campesina.....	16
9.	Marco legal.....	16
10.	Pregunta científica	20
11.	Área de estudio	20
12.	Metodología de investigación	22
12.1.	Tipos de investigación	22
12.1.1.	Investigación descriptiva	22
12.1.2.	Investigación comparativa	22
12.1.3.	Investigación de campo.....	23
12.2.	Métodos	23
12.2.1.	Textura de suelo (Método del tacto).....	23
12.2.2.	Compactación del suelo.....	24
12.2.3.	Estructura de suelo (test de estabilidad de agregados)	24
12.2.4.	Infiltración de agua.....	25
12.2.5.	Retención de humedad (método gravimétrico)	25

12.2.6. Profundidad efectiva.....	26
12.2.7. Temperatura y pH de suelo.....	27
12.2.8. Materia orgánica.....	27
12.2.9. Macrofauna del suelo.....	27
12.2.10. Test del calcetín (descomposición).....	28
12.3. Instrumentos.....	28
13. RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA.....	29
14. Análisis y discusión de resultados.....	30
14.1. Análisis de los indicadores físicos, químicos y biológicos ambientales.....	30
14.1.1. Indicadores físicos del suelo.....	30
14.1.2. Indicadores Químicos del suelo.....	38
14.1.3. Indicadores biológicos del suelo.....	40
14.2. Comparación edáfica e identificación de especies aptas que sean cultivables en zonas altoandinas.....	42
15. Propuesta.....	43
15.1. Propuesta 1.....	44
15.2. Propuesta 2.....	48
16. Aporte general de conservación de suelo.....	52
17. Conclusiones.....	52
18. Recomendaciones.....	53
19. Referencias bibliográficas.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación	4
Tabla 2 Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos planteados.....	6
Tabla 3 Principales cultivos en sistemas agrícolas familiares andinos.....	16
Tabla 4 Coordenadas de ubicación del mapa de la parroquia Zumbahua.....	20
Tabla 5 Coordenadas de ubicación del mapa de la comunidad de Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán.....	21
Tabla 6 Materia orgánica presente en el suelo.....	27
Tabla 7 Resultados obtenidos de la textura del suelo	31
Tabla 8 Resultados obtenidos tras a la evaluación de compactación del suelo	32
Tabla 9 Resultados obtenidos tras la evaluación de la estructura del suelo.....	33
Tabla 10 Resultados obtenidos de la infiltración de agua.....	34
Tabla 11 Resultados obtenidos de la evaluación de la retención de humedad	35
Tabla 12 Resultados obtenidos tras la evaluación de profundidad efectiva	36
Tabla 13 Resultados obtenidos de la temperatura del suelo	37
Tabla 14 Resultados obtenidos sobre el pH del suelo.....	38
Tabla 15 Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas de la materia orgánica	39
Tabla 16 Resultados obtenidos de la evaluación de Macrofauna del suelo.....	40
Tabla 17 Resultados obtenidos después de a ver realizado la prueba del calcetín	41
Tabla 18 Aporte general de conservación de suelo	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Mapa de ubicación del área de estudio de la parroquia Zumbahua	20
Ilustración 2 Mapa de ubicación del área de estudio de la Comunidad Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán.	21
Ilustración 4 Diseño de propuesta de conservación de suelo para la parroquia Zumbahua	47
Ilustración 5 Diseño de conservación de suelo a de la comunidad de Guayama parroquia Chugchilán	51

1. Información general

Título de investigación

Diseño de estrategias para la conservación del recurso suelo de las parroquias Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la Provincia de Cotopaxi

Fecha de inicio: octubre 2025

Fecha de finalización: marzo 2026

Lugar de ejecución:

Provincia: Cotopaxi, Cantón: Sigchos – Pujilí, Parroquias: Zumbahua – Chugchilán

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Ambiental

Proyecto de investigación vinculado

Equipo de trabajo

Tutor: Ing. Marco Antonio Rivera Moreno, Mg.

Estudiante: Doris Maribel Cofre Pilaguano

Lector 1: Dr. José Antonio Valencia, PhD.

Lector 2: Ing. Vincent Benjamín Velastegui Tapia, Mg.

Lector 3: Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

Área de conocimiento: Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Línea de investigación

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Manejo y conservación del recurso suelo

Línea de vinculación

Análisis, conservación y aprovechamiento racional de la biodiversidad, fauna y recursos naturales para el desarrollo sustentable y la prevención de desastres naturales.

2. Introducción

La gestión sostenible del suelo es uno de los principales desafíos ambientales en las zonas altoandinas del Ecuador, especialmente en los ecosistemas de páramo reconocidos por su alta sensibilidad ambiental y su limitada capacidad de recuperación frente a procesos de degradación, el suelo en estos ecosistemas cumplen funciones esenciales relacionadas con la producción agrícola, mantenimiento de la biodiversidad actúa como un regulador de procesos ambientales; su estructura y alto contenido de materia orgánica permiten la retención de nutrientes así como también a la estabilidad de la cobertura vegetal, no obstante cuando estas características de alteran incrementan la debilidad del territorio generando impactos directos en la productividad agrícola y a la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

En los últimos años el aumento de las actividades agropecuarias, la expansión de la frontera agrícola, sobrepastoreo y el uso excesivo de fertilizantes químicos han generado un deterioro progresivo afectando a sus propiedades físicas, químicas y biológicas acciones que se ven afectadas principalmente a través de la erosión hídrica, erosión eólica, pérdida de fertilidad, compactación, disminución de la cobertura vegetal, abasteciendo su capacidad productiva comprometiendo a la sostenibilidad de las producciones agrícolas tradicionales en las zonas altoandinas

En la provincia de Cotopaxi especialmente en las parroquias Zumbahua y Chugchilán se evidencian procesos de deterioro del suelo por diversas actividades asociadas a la erosión acelerada, la degradación progresiva de las tierras y el manejo inadecuado del territorio. Estas condiciones afectan de manera directa a la agricultura familiar campesina y a la ganadería extensiva, actividades que constituyen la principal fuente de sustento económico para la población local. Esta investigación tiene como finalidad diseñar estrategias orientadas a la conservación del recurso suelo para las parroquias Zumbahua y Chugchilán contribuyendo directamente a los procesos críticos, de esta manera el estudio no solo preserva recursos vitales para el abastecimiento edáfico, sino que también impulsa al desarrollo local equitativo alineándose a nuevas políticas de conservación.

3. Justificación de la investigación

El suelo es un recurso natural fundamental para la vida y el desarrollo de las comunidades rurales no solo permite la producción de alimentos, sino que también sostiene los ecosistemas y contribuye al bienestar social y económico. En las parroquias Zumbahua y Chugchilán, en la provincia de Cotopaxi, el suelo ha enfrentado serios problemas como la erosión, la pérdida de fertilidad y el uso inadecuado del terreno estos desafíos son

principalmente el resultado de prácticas agrícolas tradicionales, el sobrepastoreo y la falta de estrategias de conservación.

La degradación del suelo es una amenaza real para la productividad agrícola y la seguridad alimentaria de las comunidades al afectar la calidad de los cultivos, también limita las oportunidades de desarrollo local por eso, es fundamental crear estrategias de conservación del suelo que mejoren su manejo, reduzcan los impactos ambientales y fomenten prácticas sostenibles que se adapten a la realidad de cada territorio.

Este estudio se centra en dos parroquias rurales que dependen del suelo para llevar a cabo sus actividades productivas y económicas. La investigación contó con el respaldo de la “Fundación Maquita Cushunchic”, que colabora con productores locales y fomenta el desarrollo comunitario y la economía solidaria, esto permitirá combinar el conocimiento técnico con la experiencia local para diseñar estrategias prácticas que ayuden a conservar el suelo.

Las estrategias que se proponen fortalecerán el uso responsable del suelo, la sostenibilidad de los sistemas productivos y servirán como apoyo para la toma de decisiones de las autoridades locales, organizaciones sociales y comunidades, en este contexto, la investigación busca abordar una problemática ambiental prioritaria, ofreciendo soluciones concretas para conservar el recurso suelo y mejorar la calidad de vida en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.

4. Beneficiarios del proyecto

El proyecto tendrá como beneficiarios dos fases en la primera fase están los beneficiarios directos los 50 habitantes de la Parroquia Zumbahua pertenecientes al Cantón Pujilí y 60 habitantes de la comunidad de Guayama pertenecientes a la parroquia Chugchilán quienes en su mayoría dependen mucho del recurso suelo para el desarrollo de sus actividades productivas, domésticas y económicas

En la segunda fase están los beneficiarios indirectos del proyecto se encuentran todos los habitantes de las parroquias y sus comunidades vecinas y otras personas particulares y organizaciones vinculadas al territorio, como lo es la “Fundación Maquita Cushunchic” mismos que auspician el proyecto, quienes podrán beneficiarse al acceso de información técnica, diagnósticos ambientales y estrategias de conservación del recurso suelo, mismos que

podrán ser utilizados para fortalecer y mejorar la producción agrícola, planificación territorial y acciones de gestión ambiental.

Tabla 1 *Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación*

Beneficiarios de la Parroquia Zumbahua	Beneficiarios de la Parroquia Chugchilán
Directos: 50	Directos: 60
Indirectos: 11.859	Indirectos: 6.356
Total: 11.909	Total: 6.416

Fuente: Cofre, 2025

Nota: En la siguiente tabla se muestran los beneficiarios directos e indirectos de la primera fase y segunda fase del proyecto de Zumbahua y Chugchilán.

5. Problema de investigación

A nivel global, la degradación del suelo constituye uno de los principales problemas ambientales del siglo XXI, afectando la capacidad productiva y ecológica de los territorios. Más del 34 % de los suelos del planeta han perdido parte de su potencial productivo debido a procesos como erosión, desertificación, compactación y contaminación, fenómenos intensificados por actividades humanas. Entre estos procesos, la erosión hídrica y eólica representan las formas más visibles y agresivas de degradación, ya que provocan la remoción directa de la capa superficial del suelo, que es la más fértil y rica en materia orgánica. La erosión hídrica ocurre cuando las lluvias intensas generan escorrentía superficial que arrastra partículas del suelo, especialmente en terrenos con pendiente y escasa cobertura vegetal; mientras que la erosión eólica se produce cuando el viento desprende y transporta partículas finas en suelos secos y descubiertos, reduciendo la estabilidad estructural y afectando la productividad agrícola.

En el ámbito nacional, Ecuador presenta señales preocupantes de degradación en aproximadamente el 50 % de sus tierras cultivables. Las regiones andinas, en particular, son altamente vulnerables debido a su topografía montañosa, suelos poco profundos y condiciones climáticas variables. La combinación de pendientes pronunciadas, lluvias estacionales intensas y prácticas agrícolas inadecuadas ha acelerado los procesos de erosión hídrica, generando pérdida progresiva de la capa arable, formación de surcos y disminución de la fertilidad. De igual manera, en épocas secas y con cobertura vegetal limitada, la acción del viento favorece la erosión eólica, especialmente en suelos de textura franco arenosa, donde las partículas son

más fácilmente transportadas. Estos procesos no solo reducen la productividad agrícola, sino que también afectan la regulación hídrica, incrementan el riesgo de deslizamientos y alteran el equilibrio ecológico.

En las parroquias indígenas de Zumbahua y Chugchilán, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi, la problemática se intensifica debido a las condiciones propias del ecosistema de páramo y al manejo tradicional del suelo. La falta de planificación territorial, la expansión agrícola en zonas de pendiente, la escasa implementación de barreras vivas y la reducción de cobertura vegetal han favorecido la erosión hídrica, evidenciada en la pérdida de suelo fértil y en la disminución de la capacidad de retención de humedad. En comunidades como Guayama, el pastoreo excesivo y la compactación del suelo reducen la infiltración, aumentando la escorrentía superficial. En periodos secos, los suelos descubiertos con baja materia orgánica quedan expuestos a la acción del viento, generando erosión eólica y pérdida de partículas finas ricas en nutrientes, disminuyendo así la actividad productiva del territorio.

6. Objetivos

6.1. Objetivo General

Diseñar estrategias de conservación del recurso suelo para las Parroquias Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la provincia de Cotopaxi.

6.2. Objetivos Específicos

Diagnosticar las condiciones ambientales del páramo con énfasis en las problemáticas de erosión del suelo, degradación de tierras.

Comparar los indicadores edáficos entre Zumbahua y Chugchilán asociados a los procesos de degradación del suelo y a la vulnerabilidad de los suelos productivos.

Proponer estrategias sostenibles de conservación de suelo adaptadas a las condiciones ambientales y territoriales de cada parroquia.

7. Sistematización de los objetivos

Tabla 2 Actividades y sistemas de tareas en relación con los objetivos planteados

Objetivos	Actividades principales	Metodología	Resultados
Diagnosticar las condiciones ambientales del páramo con énfasis en la erosión y degradación del suelo.	Delimitación del área, observación de erosión, registro fotográfico, levantamiento climático.	Diagnóstico de campo, observación estructurada, GPS, análisis descriptivo.	Identificación de zonas críticas, línea base ambiental.
Comparar los indicadores edáficos entre Zumbahua y Chugchilán asociados a degradación y vulnerabilidad productiva.	Muestreo de suelos, mediciones físicas, químicas y biológicas, tabulación de datos.	Métodos edáficos de campo, análisis comparativo y descriptivo	Diagnóstico edáfico comparativo y determinación de limitantes productivas.
Proponer estrategias sostenibles de conservación del suelo adaptadas a cada parroquia.	Revisión bibliográfica, análisis de resultados,	Diagnostico técnico comparativo, síntesis técnica, análisis multicriterio.	Estrategias diferenciadas, lineamientos técnicos y propuesta de manejo suelo

Nota: En el siguiente cuadro se muestran las actividades que se realizaron en relación de los objetivos planteados.

8. Fundamentación científica

Para comprender el tema a desarrollar es importante conocer algunos conceptos básicos relacionados como territorio andino, suelo y conservación del suelo.

8.1. Territorio andino

El espacio andino del Ecuador constituye un sistema territorial de alta complejidad ambiental, determinado por procesos geológicos, climáticos y ecológicos que interactúan a diferentes escalas. La presencia de la cordillera de los Andes a lo largo del país ha dado lugar a ecosistemas de montaña con características únicas, entre los cuales el páramo ocupa un lugar prioritario debido a su función reguladora dentro del equilibrio ambiental (Chuncho Morocho & Chuncho, 2025)

Los páramos han sido reconocidos como sistemas estratégicos para la sostenibilidad territorial, ya que su estructura vegetal y edáfica permite almacenar grandes volúmenes de agua y liberarlos de forma gradual hacia las cuencas hidrográficas. Esta función resulta esencial para el abastecimiento hídrico y la estabilidad ambiental de las zonas andinas y sub andinas, lo que

refuerza la necesidad de su conservación frente a presiones antrópicas y climáticas crecientes (García & et al., 2024)

8.2. Ecosistema de páramo

El páramo es definido como un ecosistema de alta montaña tropical ubicado entre el límite superior del bosque andino y la línea de nieves perpetuas, caracterizado por bajas temperaturas, alta humedad, elevada radiación solar y una marcada variabilidad climática diaria. Este ecosistema se desarrolla principalmente en la cordillera de los Andes y presenta una estructura vegetal dominada por gramíneas, plantas en cojín, arbustos bajos y especies altamente adaptadas a condiciones ambientales extremas (Hofstede, 2020)

Investigaciones recientes destacan que el páramo no puede ser entendido como un ecosistema homogéneo, sino como un mosaico de unidades ecológicas diferenciadas por gradientes altitudinales, edáficos y climáticos. En este sentido, su clasificación responde a criterios biofísicos que permiten identificar subzonas con dinámicas ecológicas particulares, lo cual es fundamental para el diseño de estrategias de manejo y conservación (Buytaert, Célleri, De Bièvre, & Hofstede, 2021)

8.3. Funciones ecosistémicas del páramo

Las funciones ecosistémicas del páramo son el resultado de complejas interacciones entre la vegetación, el suelo, el clima y la topografía, las cuales permiten la provisión de servicios ambientales esenciales para las poblaciones humanas y los sistemas productivos andinos.

8.3.1. Regulación hídrica

La función hidrológica del páramo es considerada una de las más relevantes a nivel regional, ya que sus suelos volcánicos ricos en materia orgánica presentan una elevada capacidad de retención e infiltración de agua. Este atributo permite la regulación natural de los caudales hídricos, garantizando un suministro relativamente constante de agua incluso durante períodos de escasa precipitación (Mosquera, Lazo, Célleri, & Wilco, 2022).

El rol regulador del páramo contribuye a la reducción de riesgos asociados a inundaciones y sequías, fortaleciendo la seguridad hídrica de comunidades rurales y centros urbanos ubicados aguas abajo, lo que lo convierte en un ecosistema estratégico para la gestión integral de cuencas hidrográficas (MAATE, 2023)

8.3.2. Almacenamiento de carbono

Los suelos de páramo representan uno de los mayores reservorios de carbono orgánico en ecosistemas de montaña tropical. Las bajas temperaturas y la saturación hídrica limitan la descomposición de la materia orgánica, permitiendo una acumulación significativa de carbono en el suelo, lo que contribuye a la mitigación del cambio climático (Rumpel, Amiraslani, Koutika, Smith, & Whitehead, 2021)

La alteración del páramo mediante actividades antrópicas puede provocar la liberación acelerada de carbono almacenado, transformando estos ecosistemas de sumideros a fuentes de gases de efecto invernadero, con impactos negativos a escala local y global (Tonneijck, 2021).

8.3.3. Conservación de la biodiversidad

El páramo alberga una alta proporción de especies endémicas de flora y fauna, muchas de las cuales presentan adaptaciones fisiológicas únicas a condiciones extremas de altitud. Esta biodiversidad cumple un rol fundamental en la estabilidad ecológica, la polinización, la regulación biológica y la resiliencia frente a perturbaciones ambientales (Cuesta, 2020)

Además, el páramo funciona como un corredor biológico que facilita la conectividad entre ecosistemas andinos, favoreciendo procesos ecológicos esenciales para la conservación a largo plazo de la biodiversidad regional.

8.4. Presiones antrópicas sobre el páramo

8.4.1. Expansión agrícola y ganadera

La ampliación de la frontera agropecuaria en zonas de páramo ha generado una pérdida progresiva de cobertura vegetal nativa, compactación del suelo y disminución de la capacidad de retención hídrica, afectando directamente la funcionalidad ecosistémica del sistema (Hofstede, 2020)

8.4.2. Quemados y sobrepastoreo

Las prácticas de quema periódica y el sobrepastoreo intensivo alteran la estructura del suelo al eliminar la capa vegetal protectora, exponiendo la materia orgánica a oxidación rápida y compactación del suelo hasta un 36 % lo que favorecen procesos de erosión, reduciendo la productividad ecológica en un 50% eso aumentando la vulnerabilidad del ecosistema páramo frente al cambio climático disminuyendo su capacidad reguladora y elevando las emisiones del CO₂ a través de la degradación orgánica (Tonneijck, 2021).

8.4.3. Cambio de uso del suelo

El reemplazo del páramo natural por usos agrícolas intensivas, paisajes mejorados, infraestructura vial o actividades extractivas generan fragmentación del hábitat y pérdida de conectividad ecológica entre zonas de recarga hídrica comprometiendo la resiliencia ecosistémica y la provisión de servicios ambientales como la purificación de agua y retención de carbono, en los páramos andinos la conversión eleva escorrentía superficial en un 25-40%, generando mayores inundaciones (Cuesta, 2020).

8.4.4. Impactos del cambio climático

El aumento de la temperatura y la variabilidad en los patrones de precipitación modifican la dinámica hidrológica y biológica del páramo, provocando desplazamientos altitudinales de especies endémicas y alteraciones en los ciclos del agua y del carbono esto seca humedales altoandinos reduciendo caudales estacionales en 30-50% para las ciudades dependientes y eleva vulnerabilidad los a sequías prolongadas siendo páramos ecuatorianos los más sensibles globalmente (Mosquera, Lazo, Célleri, & Wilco, 2022).

8.5. Suelo

El suelo es un recurso natural finito y no renovable que presta a diversos servicios ecosistémicos y ambientales en relación con su participación en los ciclos biogeoquímicos de elementos clave para la vida como carbono, nitrógeno, fósforo que continuamente y por efecto de la energía disponible pasan de los sistemas vivos a los componentes no vivos del planeta (Burbano-Orjuela, 2016).

8.5.1. Tipos de suelo

Suelos arcillosos: Estos suelos se caracterizan por tener un alto contenido de minerales de arcilla, estos suelos son densos y pesados, con mal drenaje y aireación limitada ya que las diminutas partículas de arcilla retienen grandes cantidades de agua formando barro cuando estas secas son difíciles de trabajar.

Suelos arenosos: Se caracterizan por tener una textura gruesa con un perfil arenoso superficial debido al tamaño relativamente grande de las partículas de arena estos suelos retienen poca agua y nutrientes son suelos bien drenados y aireados fáciles de trabajar, pero presenta baja actividad productiva ya que carecen de materia orgánica.

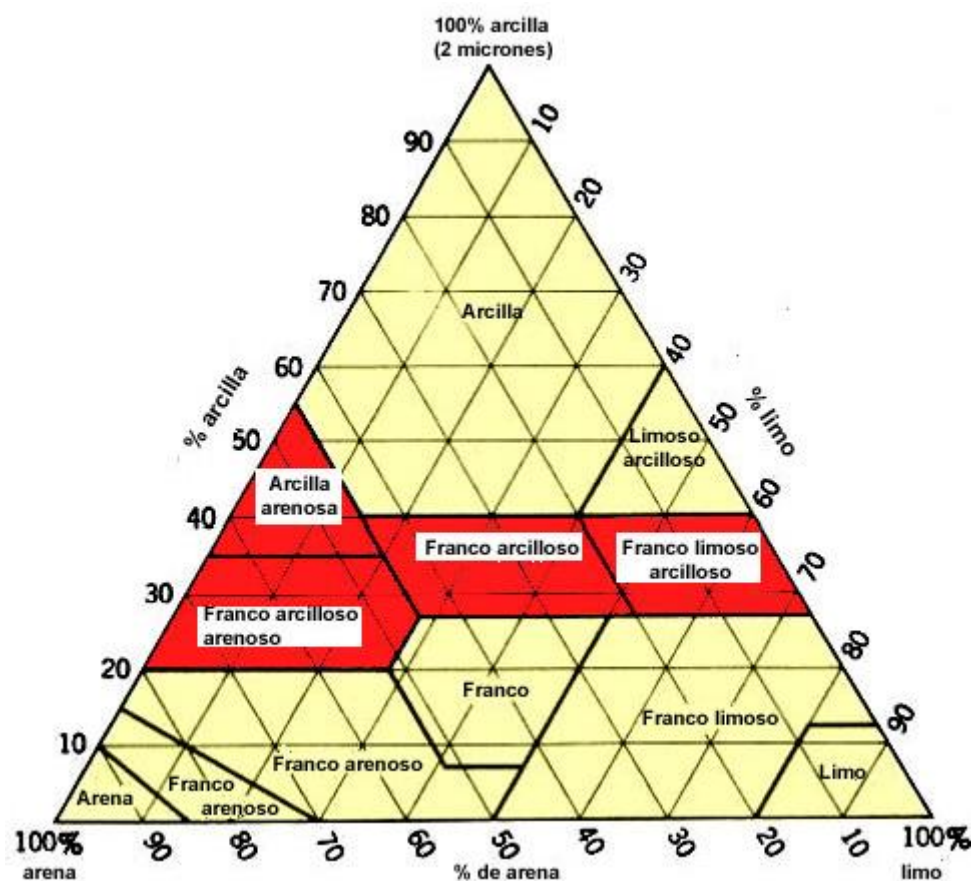
Suelos limosos: Es un tipo de suelo intermedio entre arena y limo compuesto por partículas formadas de tamaño mediano son fértiles y fáciles de trabajar ya que dan una textura suave, forman grumos que se rompen fácilmente cuando se secan sus partículas son de tamaño

de 0,02-0,002 mm su permeabilidad varía mucho en función de su estructura puede ser lento sin formación de agregados o bastante rápido si la estructura está vacía.

8.5.2. Triángulo textural del suelo

Las clases texturales del suelo es un diagrama triangular utilizado para determinar la clase textural de una muestra edáfica a partir de un porcentaje demostrativo de arena, limo y arcilla el triángulo textural permite ubicar la combinación de las tres partículas dentro de una clasificación estandarizada establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que reconoce las doce clases texturales entre ellas arenoso, franco, franco-arenoso, franco-arcilloso y arcilloso (López & García, 2020).

El uso del triángulo textural no solo nos permite clasificar el suelo, sino que también se puede interpretar su comportamiento productivo y su aptitud para diferentes usos agrícolas, siendo una herramienta esencial en estudios de caracterización y manejo sostenible del recurso suelo.



Fuente: (Moreno & Azcárate, 2022).

Nota: Triángulo Textural para determinar la textura del suelo

8.5.3. Propiedades físicas

Las propiedades físicas del suelo son el conjunto de características que tienen que ver con su propia estructura, su textura y su forma para interactuar con el agua y el aire, que determinan de forma notable la funcionalidad del suelo como medio de cultivo y soporte del ciclo del agua (Rodríguez, 2022). Del mismo modo, parámetros como la densidad aparente, la estabilidad de los agregados o la retención del agua, se alteran de modo significativo con la materia orgánica en el suelo y ello tiene una directa correlación con su capacidad para soportar procesos edáficos elementales y resistir condiciones desfavorables del medio físico (Fernández et al., 2024).

8.5.4. Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo tienen que ver con la composición de los constituyentes mineral y orgánico, así como con las relaciones iónicas que determinan la disponibilidad nutritiva y los procesos de intercambios catiónicos, pH y salinidad del medio (Pinos, 2022). Los atributos determinan la fertilidad, así como la capacidad del suelo de mantener reacciones químicas que son favorables para la absorción de nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos que son procedentes en la nutrición (Poonia et al., 2024). La varianza de pH y de la capacidad de intercambios catiónicos se ha identificado como un factor que modula la solubilidad de nutrientes y la actividad de los microorganismos constituyendo un parámetro crítico en la evaluación de la salud del suelo desde la óptica química (Changoluisa, 2024).

8.5.5. Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas del suelo hacen referencia a la presencia, diversidad o número y actividad de los organismos que van a habitar el perfil edáfico, y entre ellos podemos encontrar a los microorganismos, a los hongos, a los nematodos o a los macroinvertebrados, cuya interacción da movimiento a los procesos de transformación y disponibilidad de nutrientes (Pereira et al., 2011). Los indicadores biológicos, tales como la riqueza microbiana, la actividad de las enzimas edáficas y la cantidad de biomasa microbiana, proporcionan información sensible sobre el grado de salud del suelo y del grado de respuesta ante cambios en el medio o ante prácticas agronómicas muy intensivas (Su et al., 2024).

8.5.6. Funciones ecológicas y productivas del suelo

Las funciones ecológicas y productivas es un proceso y capacidades que permiten al suelo sostener la vida regular el ciclo de agua y los nutrientes actúa como hábitat para los

microorganismos y asegurar la producción de biomasa, como función ecológica el suelo actúa como medio para el crecimiento de las plantas y proveedor de nutrientes esenciales para la absorción radicular. En la actividad productiva el suelo proporciona soporte físico para las raíces y la exploración del perfil suministra y reserva macro y micronutrientes para los cultivos (Burbano-Orjuela, 2016).

8.5.7. Degradación del suelo

La degradación del suelo se define como el proceso de deterioro progresivo de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, reduce su capacidad para cumplir funciones ecológicas y productivas esenciales este fenómeno puede originarse por causas naturales como la pendiente, la erosión hídrica o eólica y variaciones climáticas pero se intensifica principalmente por actividades antrópicas como la deforestación, el sobrepastoreo, la agricultura intensiva, la labranza excesiva y el uso inadecuado de agroquímicos, generando pérdida de materia orgánica, compactación, disminución de la biodiversidad edáfica y reducción de la fertilidad natural del suelo (Valladares, 2011).

8.5.8. Pérdida de materia orgánica

La pérdida de materia orgánica del suelo es un proceso de degradación que implica la disminución del contenido de residuos vegetales y animales en descomposición, así como de los compuestos húmicos que contribuyen a la fertilidad y estabilidad estructural del suelo, esta pérdida ocurre principalmente por prácticas agrícolas intensivas, quema de rastrojos, deforestación, sobrepastoreo, labranza excesiva las cuales aceleran la mineralización y reducen la incorporación de nuevos aportes orgánicos (Espinoza, 2004). La materia orgánica cumple funciones fundamentales al mejorar la agregación de partículas, aumentar la capacidad de retención de agua, favorecer la actividad microbiana, incrementar la capacidad de intercambio catiónico y actuar como reserva de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y azufre; cuando su contenido disminuye, el suelo pierde estructura, se vuelve más susceptible a la compactación y erosión, reduce su fertilidad natural afectando directamente la productividad agrícola y los servicios ecosistémicos

8.5.9. Impacto de prácticas agropecuarias inadecuadas

Las prácticas agrícolas inadecuadas como la labranza excesiva, el monocultivo, el sobrepastoreo y el uso indiscriminado de agroquímicos afectan directamente la salud del suelo. Estas acciones provocan pérdida de materia orgánica, compactación, disminución de la fertilidad y mayor vulnerabilidad a la erosión. Cuando el suelo pierde su estructura y

biodiversidad, también reduce su capacidad de retener agua y nutrientes, lo que impacta negativamente en la productividad agrícola. A largo plazo, estas prácticas no solo deterioran el recurso suelo, sino que ponen en riesgo la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos, especialmente en zonas frágiles como las altoandinas donde la recuperación del suelo es lenta (Carhuaricra Espinoza et al., 2025).

8.6. Técnicas de conservación de suelo

8.6.1. Terrazas agrícolas

Son consideradas terrazas agrícolas las modificaciones deliberadas que se hacen en los relieves en las zonas de ladera, estas son construidas mediante la conformación de superficies escalonadas o a simplemente en zonas inclinadas, con el objetivo de permitir el sembrío de diferentes cultivos aptas para la agricultura a su vez ayudan a conservar agua y nutrientes en el perfil del suelo así mejorando su productividad y sostenibilidad a largo plazo (Chidi et al., 2022).

Las terrazas agrícolas se las pueden realizar especialmente en zonas alto andinas porque generalmente existen terrenos con pendiente que pueden ser utilizados para usos agrícolas estas prácticas contribuye a un buen mantenimiento del suelo así ayudando a mejorar la productividad y supervivencia para las familias y toda la comunidad en general

8.6.2. Barreras vivas y muertas

Las barreras vivas son consideradas hileras de vegetación que pueden ser plantadas en curvas de nivel son diseñadas principalmente para frenar el movimiento descendente del suelo y generar sedimentación estas son señaladas como estructuras biológicas que cumplen funciones múltiples como la disminución de la velocidad del escurrimiento, capturan sedimentos, aportan materia orgánica al suelo y en muchos casos proporcionan forraje o productos complementarios para la familias rurales (Schmalbach, 2020).

Estas barreras cumplen su función protectora aportando beneficios productivos y ecológicos, actúan como un freno natural al paso del agua de lluvia ayudando a que el suelo conserve su estructura y evite la pérdida de nutrientes.

Las barreras muertas son estructuras construidas con materiales inertes disponibles como piedras decorativas, troncos gruesos restos de cosechas colocadas a lo largo de las curvas de nivel con el objetivo de retener suelo y reducir la velocidad del agua de escorrentía estas pueden combinarse con otras prácticas de conservación (Raudes & Sagastume, 2009).

8.6.3. Manejo agroecológico de suelo

A través del manejo agroecológico el suelo se convierte en mejor calidad como un sistema vivo con la capacidad de sustentar una producción agrícola sostenible, asegura la seguridad alimentaria de las comunidades rurales este enfoque promueve el uso factible de los recursos su vez protege a la mejora de los cultivos, aprovechamiento de la materia orgánica y la reducción del uso excesivo de insumos químicos, con el fin de mantener la estructura y vida del suelo (Álvarez-Sánchez et al., 2020).

Las buenas prácticas agrícolas se pueden determinar mejorías en la calidad, textura, fertilidad del suelo, evitando la degradación, erosión entre otras problemáticas que enfrenta una comunidad alto andina que desconoce totalmente sobre educación ambiental, buenas prácticas agrícolas el adecuado manejo del suelo para realizar todas y cada una de sus actividades productivas.

8.6.4. Rotación y asociación de cultivos

La rotación y asociación de cultivos son prácticas agrícolas sostenibles que contribuyen a mantener la salud y fertilidad del suelo, rotación de cultivos consiste en alternar diferentes especies en una misma parcela en distintos ciclos productivos, lo que permite evitar el agotamiento de nutrientes específicos, reducir la presencia de plagas y enfermedades y mejorar la estructura del suelo. Al alternar leguminosas con tubérculos ayuda a reponer nitrógeno de manera natural. La asociación de cultivos implica sembrar dos o más especies al mismo tiempo en un mismo terreno, aprovechando sus beneficios complementarios, como mejor cobertura del suelo, mayor eficiencia en el uso del agua y nutrientes, y reducción de erosión. Ambas prácticas fortalecen la actividad biológica, aumentan la materia orgánica y favorecen sistemas productivos más resilientes y sostenibles, especialmente en zonas altoandinas donde el suelo es más vulnerable a la degradación (Vargas Diaz et al., 2022).

8.6.5. Uso de abonos orgánicos

El uso de abonos orgánicos es considerado como una práctica sostenible que mejora la calidad del suelo al aportar materia orgánica y nutrientes de forma natural, estos abonos, como el compost, estiércol bien descompuesto o residuos vegetales, ayudan a mejorar la estructura del suelo, aumentar la retención de agua y favorecer la actividad de microorganismos beneficiosos. A diferencia de los fertilizantes químicos, los abonos orgánicos liberan nutrientes de manera gradual, lo que reduce el riesgo de contaminación y mantiene la fertilidad a largo plazo contribuyen a fortalecer la resiliencia del suelo frente a la erosión y a las variaciones climáticas, siendo especialmente importantes en zonas altoandinas donde la regeneración

natural del suelo es lenta y la pérdida de materia orgánica representa un problema frecuente (Ramos, 2014).

8.6.6. Importancia de la agroecología en el suelo

La agroecología del suelo es importante porque promueve un manejo agrícola que respeta los procesos naturales y busca mantener la fertilidad a largo plazo sin degradar el recurso. A través de prácticas como la rotación y asociación de cultivos, el uso de abonos orgánicos y la conservación de cobertura vegetal, la agroecología fortalece la estructura del suelo, aumenta la materia orgánica y estimula la actividad biológica (C. E. López et al., 2024).

8.7. Saberes ancestrales y prácticas tradicionales

Las comunidades altoandinas han desarrollado durante milenios sistemas complejos de administración de recursos hídricos y edáficos que responden a las condiciones específicas de sus territorios. Estos sistemas tradicionales representan repositorios invaluable de conocimiento ecológico que han permitido la subsistencia humana en ecosistemas frágiles de alta montaña (Mamani, 2023).

En relación con el manejo del suelo, las poblaciones indígenas andinas han implementado técnicas que previenen la erosión y mantienen la fertilidad edáfica. Entre estas prácticas destacan la construcción de terrazas agrícolas o andenes, la rotación de cultivos en diferentes pisos altitudinales y el descanso periódico de parcelas.

8.7.1. Prácticas agrícolas ancestrales de conservación

La agricultura andina tradicional se fundamenta en principios agroecológicos que promueven la diversidad biológica y la resiliencia de los sistemas productivos. El modelo de chakra o huerto familiar andino representa un espacio de agrobiodiversidad donde coexisten múltiples especies cultivadas y silvestres en arreglos espaciales complejos que imitan los ecosistemas naturales (Torres & Yépez, 2023).

La incorporación de materia orgánica al suelo mediante el uso de estiércol animal y residuos vegetales compostados ha sido una práctica constante en la agricultura andina. El sistema de corrales móviles permite la fertilización directa de las parcelas aprovechando el pisoteo del ganado, mientras que la elaboración de abonos orgánicos fermentados incorpora microorganismos benéficos que mejoran la estructura y fertilidad del suelo (González & Mendoza, 2023).

8.7.2. Agricultura familiar campesina.

La agricultura familiar campesina constituye el pilar económico de las comunidades andinas, caracterizada por unidades productivas pequeñas de 1 a 5 hectáreas que emplean predominantemente mano de obra familiar (FAO, 2021). Este sistema produce aproximadamente el 60% de los alimentos consumidos en zonas rurales ecuatorianas, contribuyendo significativamente a la seguridad alimentaria local (MAGAP, 2020).

Los sistemas de policultivo andino integran especies nativas como quinua, papa, melloco, oca, mashua y chocho, combinadas con cultivos introducidos como maíz, habas, cebada y trigo (Tapia & Jiménez, 2021). Esta diversificación reduce riesgos climáticos, mejora la resiliencia productiva y mantiene la agrobiodiversidad regional (Oyarzún, Borja, Sherwood, & Parra, 2022).

Tabla 3 Principales cultivos en sistemas agrícolas familiares andinos

Cultivo	Área promedio (ha)	Rendimiento (t/ha)	Destino producción
Papa	0.8	8.5	60% autoconsumo, 40% venta
Maíz	0.5	2.3	70% autoconsumo, 30% venta
Quinua	0.3	1.2	40% autoconsumo, 60% venta
Habas	0.4	1.8	65% autoconsumo, 35% venta
Cebada	0.6	2.1	50% autoconsumo, 50% venta

Nota. Se muestran los principales cultivos de sistemas agrícolas familiares andinos. Tomado de MAGAP (2020)

Las técnicas agrícolas tradicionales incluyen rotación de cultivos, descanso de tierras (barbecho), terrazas de cultivo y asociación de especies complementarias (Barrera, Escudero, & Valverde, 2020). Estas prácticas, desarrolladas durante siglos, optimizan el uso de recursos limitados y preservan la fertilidad del suelo sin dependencia de insumos químicos externos (Paredes & Sherwood, 2021).

9. Marco legal

En el artículo 425 de la Constitución de la Republica del Ecuador (Constitución de la Republica Del Ecuador, 2008) se dispone jerárquicamente la aplicación de la Normativa Legal en nuestro país.

El presente trabajo se basa en la constitución de la república del ecuador (2008), leyes y reglamentos emitidos por el Ministerio del ambiente, enfocados principalmente a la

protección de los recursos naturales como páramos y suelo que permitan acciones conjuntas entre actores públicos y privados

Constitución de la Republica del Ecuador (2008)

La constitución ecuatoriana es la ley suprema del país que establece la organización del estado, los derechos y deberes de los ciudadanos y los principios que rigen la gobernabilidad, es el principal marco jurídico que fundamenta la protección del ambiente y la gestión comunitaria de los recursos naturales.

CAPITULO II

Sección II

Ambiente Sano

Art 14.- Se conoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art 15.- El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho del agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tendencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionales prohibidos, las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten a la soberanía alimentaria o los ecosistemas, aso como la introducción de los residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

CAPITULO VII

Derechos de la Naturaleza

Art 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observan, los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El estado incentivar  a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza y promover  el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art 74.- Las personas comunidades pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del medio ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

TITULO II

DE LOS DERECHOS DEBERES Y PRINCIPIOS AMBIENTALES

Art 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respecto a los derechos de la naturaleza y los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades indígenas.

2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como paramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros.

5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, degradación, desertificación, y permita su restauración.

10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impacto o daños ambientales.

12. La implementación planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

Art 28.- Facultades de los Gobiernos autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes, corresponden a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Parroquiales Rurales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la autoridad Ambiental Nacional, así como las dictadas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales, Metropolitanos y Municipales

3. Promover la formación de los viveros, huertos semilleros, acopio, conservación y suministro de semillas certificadas

5. Promover la educación ambiental, organización y vigilancia ciudadana de los derechos ambientales y de la naturaleza.

Título VI

Régimen Forestal Nacional

Capítulo II

Disposiciones Fundamentales.

Art 93.- Gestión del patrimonio Forestal: La gestión del Patrimonio Forestal Nacional se ejecutará en el marco de las siguientes disposiciones fundamentales.

2. Obligación de protección. La Autoridad Ambiental Nacional está obligado a proteger la integridad territorial del estado en el ámbito de sus componentes forestal. Esta obligación deberá ejercerse concurrentemente por aquellas instituciones públicas que tienen la facultad de gestión de los recursos naturales renovables.

5. Incentivos. La Autoridad Ambiental Nacional establecerá los mecanismos de incentivo y fomento para la conservación e incremento de la superficie del patrimonio forestal nacional. Estos mecanismos se concretarán en acciones de uso sostenible, restauración ecológica de tierras degradadas y deforestadas, permitiendo la regeneración natural realizando actividades de reforestación y de manejo integral de cuencas hidrográficas, en coordinación con las demás autoridades competentes.

Art 95.- Potestad precautelar. La Autoridad Ambiental Nacional tiene la potestad de disponer, el sitio de manera precautelar, la inmediata suspensión de acciones que puedan causar la degradación y deforestación del Patrimonio Nacional Forestal en coordinación con la policía Nacional y las Fuerzas Armadas, la coordinación será regulada en la normativa secundaria.

CAPITULO IV

De los Instrumentos para la Regularización Ambiental

Art 184.- De la participación Ciudadana. La Autoridad Ambiental Competente deberá informar a la población que podría ser afectada de manera directa sobre la posible realización de proyectos, obras o actividades, así como de los posibles impactos socioambientales esperados y la pertinencia de las acciones a tomar. La finalidad de la participación de la población será la recolección de sus opiniones y observaciones para incorporarlas en los Estudios Ambientales, siempre que ellas sean técnicas y económicamente viables.

10. Pregunta científica

¿Cómo influyen las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán, en el diseño de estrategias técnicas y sostenibles para la conservación del suelo en ecosistemas del páramo de la provincia de Cotopaxi?

11. Área de estudio

La investigación se realizó en la parroquia Zumbahua, Cantón Pujilí y en la comunidad Guayama, parroquia Chugchilán, cantón Sigchos pertenecientes a la provincia de Cotopaxi.

Tabla 4 *Coordenadas de ubicación del mapa de la parroquia Zumbahua*

Coordenadas de mapa de ubicación	
X	Y
733745.00	9893081.00

Fuente: Cofre, 2025

Ilustración 1 *Mapa de ubicación del área de estudio de la parroquia Zumbahua*



Nota: Mapa de Ubicación de la Parroquia Zumbahua

Fuente: Cofre, 2025

La parroquia Zumbahua perteneciente al cantón Pujilí en la provincia de Cotopaxi, el área superficial del terreno es 5990 m², presenta un clima frío de páramos altoandinos con temperaturas medias de 8 a 16 °C este depende las temporadas del año con sus precipitaciones elevadas, concentrada en temporada húmeda y su alta nubosidad que favorece a la formación

de neblina persistente. Sus suelos volcánicos andinos son profundos y ricos en materia orgánica pero vulnerables a la erosión por pendientes, estas son utilizadas principalmente para los cultivos tradicionales como tubérculos, leguminosas, hortalizas, frutales andinos incluso son aptos para las plantas medicinales junto a pastos para ganadería, pero no exceso. Se caracteriza por su relieve irregular con altitudes de 3.200-4000 msnm.

Tabla 5 *Coordenadas de ubicación del mapa de la comunidad de Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán*

Coordenadas del mapa de ubicación	
X	Y
731778.64	9909647.22

Fuente: Cofre, 2025

Ilustración 2 *Mapa de ubicación del área de estudio de la Comunidad Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán.*



Nota: Mapa de ubicación del área de estudio de la Comunidad Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán.

Fuente: Cofre, 2025

Guayama, comunidad perteneciente a la parroquia Chugchilán en el cantón Sigchos, presenta un área de 4500 m² tiene un clima frío a templado de alta montaña influenciado por la altitud entre 2.800 a 4.200, con temperatura promedio de 8 a 17°C esta depende de las épocas

del año, sus precipitaciones anuales de 500 a 1.200 mm concentradas en temporada húmeda y su alta nubosidad con vientos moderados. Sus suelos volcánicos son fértiles pero frágiles por pendientes pronunciadas son utilizados principalmente para la agricultura altoandina y pastos para ganadería de vacunos, pero son más utilizadas para ovinos, sus cultivos son destacados por ser resistentes a heladas y se destacan por su calidad orgánica.

12. Metodología de investigación

Se empleó una metodología con un enfoque mixto cualitativa y cuantitativa con el fin de analizar y comprender el estado actual de los recursos suelo, en donde nos permitió el análisis de información técnica recogidas tras las salidas de campo realizadas a las dos parroquias, relacionadas con la calidad y disponibilidad de los recursos naturales, este enfoque nos permitió recoger información de las observaciones, percepciones, conocimientos y algunas prácticas de conservación que manejan para la restauración de los recursos naturales, así como para contribuir en el diseño de estrategias de conservación correspondiendo a las necesidades de las comunidades altoandinas.

12.1. Tipos de investigación

12.1.1. Investigación descriptiva

Esta investigación permitió caracterizar el estado actual del recurso suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán, a través de esta investigación se describió el rendimiento de la productividad agrícola de los dos terrenos, la problemática ambiental, cobertura vegetal existente, las condiciones físicas, químicas, biológicas a su vez conocer si se realizaban prácticas de conservación de estos recursos actualmente.

12.1.2. Investigación comparativa

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque comparativo, al analizar y contrastar las condiciones edáficas y ambientales del ecosistema de páramo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi. Este enfoque permitió identificar similitudes y diferencias territoriales en los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo.

La comparación se realizó a partir de la aplicación de los mismos métodos y técnicas de evaluación en ambos territorios, garantizando la consistencia de los datos y la validez del análisis. Los resultados obtenidos fueron sistematizados y analizados de manera conjunta, lo que facilitó la identificación de patrones edáficos comunes y de limitaciones específicas asociadas al uso del suelo, la ganadería y las condiciones topográficas locales.

12.1.3. Investigación de campo

Esta investigación permitió identificar de manera directa las características del suelo como procesos de erosión, textura y estructura del suelo, compactación, pH, temperatura, retención de humedad, profundidad efectiva, materia orgánica y macrofauna del suelo. Datos que fueron recogidos en las Parroquias de Zumbahua y Chugchilán, previo a ello para analizar si se encuentran en condiciones óptimas para mejorar la producción agrícola, a su vez proponer algunas estrategias de mejoramiento, cuidado y protección de estos recursos que puedan ayudar a la productividad y así generar mayores ingresos económicos.

12.2. Métodos

Los métodos empleados en la presente investigación se orientaron al diagnóstico integral del estado del recurso suelo en ecosistemas de páramo de las parroquias Zumbahua y Chugchilán, bajo un enfoque descriptivo y comparativo y sin manipulación experimental de las variables. La aplicación sistemática de los mismos procedimientos en ambos territorios permitió asegurar la consistencia de los resultados y la validez del análisis territorial.

12.2.1. Textura de suelo (Método del tacto)

La determinación de la textura del suelo una técnica cualitativa más conocida y fácil de realizar se recogió muestras de suelo en diferentes puntos de la parcela esta permite reconocer a siempre vista cual es la textura del suelo tras seguir los siguientes pasos:

- Tomar una muestra del suelo húmedo del tamaño de una nuez
- Amasar entre los dedos hasta formar una masa homogénea
- Intentar formar una bola presionando con la palma
- Formar un cilindro o chorro entre las palmas
- Formar una cinta presionando entre pulgar e índice
- Observar y palpar sus características.

Clasificación según el tipo de suelo:

Arenoso: Áspero no forma bola cohesiva, se desborona inmediatamente, este comportamiento de debe a la alta proporción de partículas gruesas lo que no se unen entre si cuando se les humedece

Franco arenoso: Ligeramente áspero, forma bola débil que se rompe fácilmente, su comportamiento es la combinación es de arena con pequeñas cantidades de limo y arcilla por

lo que se entiende que tiene un equilibrio entre drenaje y retención de humedad, siendo apto para varios cultivos agrícolas.

Franco: Textura intermedia, forma bola que se desmorona con presión se debe a una proporción equilibrada de arena, limo y arcilla lo que hace que se desmorone al ejercer una buena presión este tipo de suelo también es apto la agricultura

Franco arcillo: Algo pegajoso, forma bola firme y cilindro corto su comportamiento se debe a que el suelo tiene mayor contenido de arcilla cuyas partículas finas aumentan la cohesión del suelo es apto para cultivos que requieren disponibilidad hídrica pero también puede presentar problemas de compactación y drenaje lento si no se da un buen mantenimiento.

Arcilloso: Muy pegajoso y plástico, forma cintas largas al presionar esto pasa cuando el suelo tiene mayor contenido de arcilla lo que las une fuertemente cuando están húmedas, nos es muy recomendable para el cultivo porque retiene una gran cantidad de agua y nutrientes, pero presenta baja permeabilidad y aireación lo que puede afectar al crecimiento de las raíces (Linares, 2020).

12.2.2. Compactación del suelo

La evaluación de la compactación del suelo se realizó con el método de penetración anual lo que nos permitió identificar de forma práctica el grado de resistencia del suelo y su condición estructural se determinaron diferentes puntos en zonas donde son de uso agrícola y puntos aptos para la agricultura con los siguientes pasos.

- Identificar áreas representativas del terreno
- Insertar un cuchillo o machete
- Si entra sin el requerimiento de fuerza los primeros 20 cm (un suelo no compactado)
- Si requiere fuerza (un suelo compactado)

La leve diferencia entre un suelo no compactado y compactado se basa en su estructura física y porosidad, factores importantes que influyen en la capacidad del suelo para sostener procesos productivos y agrícolas.

12.2.3. Estructura de suelo (test de estabilidad de agregados)

Al evaluar la estabilidad de agregados se puede determinar la resistencia de la disgregación cuando están expuestos a la acción del agua (Irigoyen Urinovsky et al., 2018).

Este método nos permitió evaluar la resistencia de los agregados del suelo frente a la acción del agua como indicador del estado estructural del suelo y su susceptibilidad a la erosión con los siguientes pasos:

- Tomar una muestra de 70 gr de suelo seco al aire, tamizar con una malla de 8-12 mm
- Seleccionar agregados de 8-12 mm
- Colocar de 10-15 agregados sobre tamiz de 2 mm
- Sumergir el tamiz en agua durante 5 minutos
- Retirar y agitar suavemente en 2 minutos
- Secar y pesar agregados estables que permanezcan sobre el tamiz (mayor de 2 mm)
- Calcular el % de agregados estables

El porcentaje de agregados estables se pueden calcular mediante la formula:

$$\% \text{ agregados estables} = \frac{\text{Peso agregados estables}}{70 \text{ gr peso inicial}} \times 100$$

Para determinar el valor total de los agregados y ver si los suelos se encuentran factibles para la producción agrícola.

12.2.4. Infiltración de agua

Esta prueba se realizó de manera cualitativa, considerando la capacidad del suelo para absorber y retener humedad como un indicador de estado físico del suelo y su condición para la actividad agrícola se las realizo de la siguiente manera:

- Limpiar el área de 20 a 30 cm con cobertura vegetal
- Introducir el medidor digital que mide la humedad del suelo
- Esperar 2 minutos que se calibre, recoger los datos

Esta prueba se la realizo en épocas de ausencia de lluvias por lo que los resultados obtenidos fueron suelo secos afectando en gran mayoría a la agricultura local ya que reduce la disponibilidad de agua para los cultivos y aumenta la susceptibilidad del suelo a procesos de degradación.

12.2.5. Retención de humedad (método gravimétrico)

Para medir la humedad presente en el suelo a una técnica cuya función es sacar el peso inicial del suelo húmedo secarlo y nuevamente medir el peso final, la diferencia de peso entre la muestra húmeda y seca determina la capacidad del suelo en retener agua (Bejar et al., 2020).

- Tomar una pequeña muestra de suelo recién excavado en una bolsa plástica
- Pesar inmediatamente la muestra húmeda
- Extender la muestra sobre papel periódico al sol directo
- Dejar secar completamente durante 2 a 3 días removerlo diariamente
- Pesar nuevamente la muestra completamente seca
- Calcular % de humedad

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Donde:

- **Peso húmedo:** Peso de la muestra de suelo recién tomada que contiene un suelo totalmente húmedo
- **Peso seco:** Es el peso de la misma muestra completamente seco.
- **Peso seco:** Peso seco recogida de la muestra inicial
- **Multiplicado por 100:** Convertir el valor en porcentaje para su mejor comparación e interpretación

La fórmula permite calcular el contenido de humedad del suelo expresado en porcentaje representando la cantidad de agua presente en relación con la masa seca del suelo, lo cual nos facilita la evaluación de la disponibilidad hídrica para la actividad agrícola.

12.2.6. Profundidad efectiva

Corresponde al espesor del suelo que en su mayoría pueden ser aprovechados por las raíces de las plantas antes de encontrar una límite físico de roca madre, suelos compactados y capas endurecida fundamental para evaluar la aptitud del suelo (Zhang et al., 2021).

- Seleccionar de 3 a 5 puntos representativos en la parcela
- Introducir la barreta en suelo hasta encontrar resistencia (roca madre, capa dura)
- Marcar profundidad alcanzada en la barreta
- Medir con cinta métrica la profundidad en centímetros
- Calcular el promedio de todos los puntos

La profundidad efectiva del suelo permitió identificar el volumen de suelo disponible para el desarrollo radicular siendo esta un indicador clave para la aptitud agrícola y de mayor potencial productivo para el área de estudio evaluado.

12.2.7. Temperatura y pH de suelo

La temperatura y el pH del suelo son parámetros edáficos fundamentales que influyen directamente a la actividad biológica la disponibilidad de los nutrientes y el desarrollo de los cultivos (opcion19, 2024).

- Hacer perforación de 10 cm con una barreta o palo
- Introducir termómetro digital hasta los 10 cm de profundidad
- Esperar de 2 a 3 minutos para que se establezca la temperatura
- Leer y registrar la temperatura y pH
- Medir siempre a la misma hora para comparar

Nos ayudó a evaluar cuales son las condiciones ambientales que regulan la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, aportando información clave para la formulación de estrategias de conservación del suelo y agua.

12.2.8. Materia orgánica

Se realizó con el siguiente procedimiento.

- Tomar 10 gramos de suelo seco tamizado (2 mm) en vaso plástico
- Añadir 10 ml de agua oxigenada al 3%
- Observar reacción: la presencia de efervescencia indica presencia de materia orgánica.

Tabla 6 *Materia orgánica presente en el suelo*

Donde	
Reacción débil	Bajo contenido de materia orgánica
Reacción moderada	Contenido medio de materia orgánica
Reacción intensa	Alto contenido de materia orgánica

Nota: Muestra la cantidad de materia orgánica presente en el suelo

12.2.9. Macrofauna del suelo

Para realizar esta prueba de realizaron las siguientes delimitaciones:

- Delimitar un cuadrante de 25 x 25 cm con marco de madera
- Excavar cuidadosamente hasta el 30 % de profundidad
- Colocar el suelo extraído en una bandeja blanca
- Desmenuzar terrones suavemente y buscar invertebrados
- Contar individuos y clasificar por grupos

12.2.10. Test del calcetín (descomposición)

Se realizó los siguientes pasos:

- Conseguir calcetines 100% algodón blanco (sin mezcla sintética)
- Anotar el peso inicial de los calcetines secos
- Enterrar calcetines verticalmente a 10-15 cm de profundidad
- Dejar enterrado durante 30 días
- Desenterrar cuidadosamente, lavar suavemente con agua
- Secar completamente y pesar
- Calcular el % de descomposición

$$\% \text{ Descomposición} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

Interpretación:

<50% = Muy Activo

30-50% = Activo

15-30% = Moderado

<15% = Bajo

12.3. Instrumentos

En la evaluación de propiedades físicas del suelo se emplearon herramientas manuales como barreta, machete o cuchillo, cinta métrica, tamices metálicos de diferentes diámetros, balanza portátil, bandejas plásticas y marcos de muestreo, utilizados para la determinación de compactación, profundidad efectiva, estabilidad de agregados y macrofauna.

En el componente químico se emplearon termómetros digitales de suelo, medidores portátiles de pH y reactivos básicos como peróxido de hidrógeno al 3 % para la estimación semicuantitativa del contenido de materia orgánica. Para la evaluación biológica se utilizaron calcetines de algodón, balanzas de precisión, palas pequeñas, tamices finos y bandejas blancas para la observación y conteo de macroinvertebrados.

De manera complementaria, se emplearon fichas técnicas de registro, cuadernos de campo y formatos de observación estructurada para sistematizar la información recolectada durante las salidas de campo. Estos instrumentos fueron fundamentales para asegurar la

trazabilidad de los datos, la comparación entre territorios y la integración de los resultados en el análisis técnico y la formulación de estrategias de conservación del suelo.

13. RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Cómo influyen las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán, en el diseño de estrategias técnicas y sostenibles para la conservación del suelo en ecosistemas de páramo de la provincia de Cotopaxi?

Los resultados del diagnóstico ambiental evidencian que las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo influyen de manera directa y determinante en la formulación de estrategias de conservación del recurso suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán. Desde el punto de vista físico, la textura franco arenoso predominante favorece la aireación y el desarrollo radicular, pero limita la capacidad de retención de humedad particularmente durante la época seca. En Chugchilán se identificó una compactación subsuperficial hasta aproximadamente 20 cm y una baja estabilidad de agregados, lo que restringe la infiltración del agua, incrementa la escorrentía superficial y eleva el riesgo de erosión en laderas, estas condiciones justifican la implementación de prácticas orientadas a mejorar la estructura del suelo tales como barreras vivas y muertas el control del pastoreo y des compactación biológica mediante especies de raíces profundas.

En el componente químico, las variaciones de pH entre ambas parroquias y las diferencias en el contenido de materia orgánica condicionan la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia productiva de los sistemas agrícolas. Los mayores niveles de materia orgánica registrados en Chugchilán se asocian con una mejor retención de humedad y mayor estabilidad estructural, mientras que los valores relativamente menores observados en Zumbahua refuerzan la necesidad de promover prácticas agroecológicas que incrementen los aportes orgánicos al suelo, como el uso de compost, abonos verdes y rotaciones con leguminosas.

Desde la perspectiva biológica, la baja abundancia de macrofauna y los reducidos niveles de actividad microbiana detectados en Zumbahua evidencian un funcionamiento edáfico limitado, con implicaciones negativas en el reciclaje de nutrientes y la formación de agregados estables. Estos resultados orientaron la propuesta de estrategias enfocadas en la recuperación de la biota del suelo mediante la reducción del disturbio mecánico, el mantenimiento de cobertura vegetal permanente y la incorporación sistemática de residuos orgánicos.

En conjunto, la interacción entre los factores físicos, químicos y biológicos del suelo, sumada a las condiciones de déficit hídrico estacional propias del ecosistema de páramo,

demuestra que la conservación del suelo debe abordarse de manera integrada y territorialmente diferenciada. En Zumbahua se priorizan acciones para incrementar la materia orgánica y la actividad biológica del suelo, en Chugchilán se enfatizan medidas para reducir la compactación y fortalecer la estructura edáfica. De esta manera, el diagnóstico técnico realizado permitió sustentar científicamente el diseño de estrategias específicas para cada parroquia, orientadas a disminuir la degradación del suelo y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas productivos altoandinos.

14. Análisis y discusión de resultados

14.1. Análisis de los indicadores físicos, químicos y biológicos ambientales

Para abordar el objetivo específico 1 que tiene su orientación hacia el diagnóstico del estado actual del recurso suelo los análisis físicos, químicos y biológicos del suelo fue estructurado por medio de muestreos puntuales en áreas representativas de uso agrícola en Zumbahua y Chugchilán.

14.1.1. Indicadores físicos del suelo

La caracterización física del suelo es un componente fundamental para evaluar su funcionamiento y poder determinar cuáles son sus propiedades tanto el comportamiento hídrico como en la dinámica del aire y el desarrollo radicular. Al reconocer la condición física del suelo nos permite identificar el nivel de calidad edáfica su aptitud para el uso agrícola y su vulnerabilidad ante perturbaciones externas.

Tabla 7 Resultados obtenidos de la textura del suelo

Parroquia/Comunidad	Clase textural	Interpretación edáfica	Implicaciones productivas y ambientales
Zumbahua	Franco arenoso	Según el triángulo textural, el suelo predomina de entre un 43 a 85% de arena un bajo contenido del -20% y una proporción moderada de limo. Presenta estructura relativamente suelta, buena aireación y drenaje rápido.	Buena facilidad de laboreo y desarrollo radicular, baja en retención de humedad y nutrientes riesgo bajo a erosión sin cobertura vegetal
Guayama (Chugchilán)	Franco arenoso	Según el triángulo textural, el suelo predomina de entre un 43 a 85% de arena un bajo contenido del -20% y una proporción moderada de limo. Presenta estructura relativamente suelta, buena aireación y drenaje rápido.	Adecuado para cultivos (papa, oca, melloco) requiere de incorporación de materia orgánica para mejorar retención de agua y fertilidad

Nota: Clasificación realizada según el triángulo del USDA para los suelos franco arenosos presentan buena aireación, pero baja retención de agua y nutrientes, por lo que requieren incorporación de materia orgánica para mejorar su fertilidad y sostenibilidad.

Se muestran los resultados obtenidos que tanto en Zumbahua y en la comunidad Guayama predominan una textura franco arenoso lo que refleja suelos con buen drenaje, adecuada aireación y facilidad para el crecimiento de las raíces, estas características favorecen el establecimiento de cultivos y el manejo agrícola, sin embargo, este tipo de suelo presenta una capacidad media a baja de retención de humedad y nutrientes, lo que hace susceptible a la pérdida de agua durante periodos secos

La textura del suelo permite identificar de manera cualitativa la proporción relativa de arena, limo y arcilla a partir de la manipulación del suelo húmedo, este método es conocido en evaluaciones de campo por su rapidez, facilidad de aplicación y confiabilidad, ayuda a comprender el comportamiento del suelo frente a la infiltración y retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y el desarrollo del sistema radicular de las plantas (Pérez & Arcia, 2024).

Según (Vaca, 2020) los suelos con textura franco-arenoso presenta una buena aptitud productiva para el cultivo de tubérculos andinos, plantas medicinales y frutales andinos siempre que se acompañen de prácticas de manejo orgánico orientadas a mejorar la fertilidad y la conservación del suelo mejorando a la productividad agrícola.

Tabla 8 Resultados obtenidos tras a la evaluación de compactación del suelo

Parroquia / Comunidad	Nivel de compactación superficial	Profundidad afectada (cm)	Impacto sobre infiltración	Interpretación
Zumbahua	Baja	0	Bajo	Suelo con estructura relativamente suelta, escasa restricción física
Guayama (Chugchilán)	Alta	20	Alto	Presencia de capa endurecida que limita el flujo de agua y raíces

Nota: La compactación superficial influye directamente en la infiltración del agua y el crecimiento radicular, a su vez pueden reducir la permeabilidad y aumentar el riesgo de escorrentía y degradación del suelo.

Los resultados evidencian un contraste marcado entre las dos áreas de estudio. En Zumbahua no se detectaron capas compactadas significativas dentro del horizonte superficial evaluado, lo que sugiere un suelo con mejor condición estructural relativa y mayor capacidad de infiltración inicial del agua. Esta situación puede estar asociada a una menor presión ganadera en determinadas parcelas y a prácticas agrícolas menos intensivas, aunque persiste la vulnerabilidad a procesos erosivos cuando el suelo permanece descubierto.

En la comunidad de Guayama, por el contrario, se identificó un nivel alto de compactación hasta aproximadamente 20 cm de profundidad, lo que indica la formación de una capa restrictiva que reduce la porosidad y dificulta el crecimiento radicular. Esta condición favorece la generación de escorrentía superficial durante eventos de lluvia, incrementando el transporte de sedimentos y la pérdida de partículas finas ricas en nutrientes y materia orgánica.

La compactación observada se asocia principalmente al tránsito frecuente de ganado y al uso continuado de las parcelas sin periodos adecuados de recuperación del suelo.

La presencia de compactación subsuperficial en Guayama constituye un factor crítico de degradación, ya que interactúa con las pendientes del terreno y con la textura franco-arenosa dominante, potenciando los procesos de erosión hídrica y acelerando la pérdida de la capa fértil del suelo. En Zumbahua, aunque la compactación no fue un problema dominante, la ausencia de prácticas sistemáticas de conservación mantiene un riesgo latente de deterioro estructural a mediano plazo. Al identificar presencia de capas endurecidas en el perfil del suelo que dificultan el crecimiento del sistema radicular, reducen la porosidad y limitan la infiltración y el movimiento del agua, este indicador ayuda a para comprender las condiciones físicas del suelo, ya que un suelo compactado afecta directamente la aireación, la disponibilidad de agua y la absorción de nutrientes por las plantas (Sánchez Pisco et al., 2024).

Tabla 9 Resultados obtenidos tras la evaluación de la estructura del suelo

Parroquia Comunidad	/ Número de puntos evaluados	de Agregados estables (%)	Categoría estructural	Riesgo de erosión
Zumbahua	3	10,30	Baja	Alto
Guayama (Chugchilán)	3	3,85	Muy baja	Muy alto

Nota: Los bajos porcentajes de agregados estables evidencian una estructura débil del suelo, lo que incrementa significativamente el riesgo de erosión hídrica.

Los resultados evidencian una marcada diferencia en la estabilidad estructural del suelo entre las dos áreas de estudio. En Zumbahua se registró un promedio de 10,3 % de agregados estables, valor que, si bien es superior al observado en Guayama, continúa indicando una estructura débil con alta susceptibilidad a la desagregación bajo eventos de lluvia. Esta condición favorece el sellado superficial del suelo, reduce la infiltración y acelera la escorrentía, incrementando el riesgo de pérdida de la capa fértil en parcelas agrícolas ubicadas en pendiente.

En la comunidad de Guayama, el promedio de 3,85 % de agregados estables, obtenido a partir de tres puntos de muestreo, revela un estado crítico de degradación estructural del suelo. Valores tan bajos reflejan una limitada cohesión entre partículas, lo que incrementa notablemente la vulnerabilidad a procesos erosivos y está en concordancia con la compactación

subsuperficial previamente identificada en este territorio. La combinación de pendiente pronunciada, presión ganadera y baja estabilidad de agregados configura un escenario de alta fragilidad ambiental en el ecosistema de páramo.

La estructura del suelo se define por la presencia de partículas primas del suelo en unidades mayores llamados agregados que determinan la aireación del suelo, circulación del agua y terminan la porosidad (Irigoyen Urinovsky et al., 2018). Cuando la estructura del suelo resulta estable favorece la infiltración del agua, mantiene la cohesión del suelo y protege la capa superficial rica en nutrientes y materia orgánica (Echeverría Pérez et al., 2023).

Tabla 10 Resultados obtenidos de la infiltración de agua

Parroquia / Comunidad	Condición del suelo al momento de la prueba	Interpretación hidrológica	Implicaciones ambientales
Zumbahua	Suelo seco por evaluación en época seca	Infiltración limitada	Riesgo de escorrentía y erosión al inicio de lluvias
Guayama (Chugchilán)	Suelo seco por evaluación en época seca	Infiltración limitada	Alta susceptibilidad a erosión en pendientes

Nota: al encontrarse un suelo seco durante la evaluación, la capacidad de infiltración se reduce inicialmente lo que puede favorecer a la escorrentía superficial y procesos erosivos con las primeras precipitaciones, principalmente en áreas inclinadas.

Se muestran los resultados obtenidos tras a ver realizado la medición de la infiltración del agua indican suelos secos debido a que las pruebas se realizaron en épocas de ausencia de lluvias esta condición limita temporalmente a la capacidad del suelo para absorber y retener agua superficial lo que afecta a la disponibilidad hídrica de los cultivos.

La baja disponibilidad de humedad representa una problemática temporal ya que genera una alta dependencia de las precipitaciones, limitando la producción agrícola y aumentando el riesgo para cultivos sensibles al déficit hídrico, especialmente en etapas críticas de crecimiento. La falta de humedad reduce la actividad biológica del suelo y puede acelerar procesos de degradación, como la pérdida de estructura y la disminución de la fertilidad para enfrentar esta problemática, se requiere la implementación de prácticas de manejo como la construcción de zanjas de infiltración estas pueden contribuir para captar el agua de lluvia cuando sean épocas de inviernos, acumularlos y dar uso en épocas de sequía (Abando, 2021).

Tabla 11 Resultados obtenidos de la evaluación de la retención de humedad

Parroquia / Comunidad	Agua retenida (g)	Categoría funcional	Implicaciones productivas
Zumbahua	28,0	Baja	Alta dependencia de lluvias, estrés hídrico estacional
Guayama (Chugchilán)	38,75	Media	Mejor almacenamiento hídrico relativo

Nota: La menor retención de agua en Zumbahua evidencia mayor vulnerabilidad al déficit hídrico, mientras que Guayama presenta mejor capacidad de almacenamiento favoreciendo mayor estabilidad productiva.

Los resultados evidencian una diferencia marcada en la capacidad de retención de humedad entre las dos áreas evaluadas. En Zumbahua se registró un promedio de 28,0 g de agua retenida, valor que indica una capacidad baja de almacenamiento hídrico en el perfil superficial del suelo, condición que incrementa la vulnerabilidad de los cultivos durante la época seca y limita la resiliencia de los sistemas productivos ante periodos prolongados de déficit hídrico.

En la comunidad de Guayama, el valor promedio de 38,75 g de agua retenida sugiere una mejor capacidad de almacenamiento hídrico en comparación con Zumbahua, aunque aún dentro de rangos moderados para ecosistemas de páramo degradados. Esta diferencia se asocia principalmente a un mayor contenido de materia orgánica y a una estructura superficial ligeramente más favorable, factores que contribuyen a incrementar la porosidad y la capacidad del suelo para retener agua disponible para las plantas.

La baja retención de humedad observada en Zumbahua, combinada con la textura franco arenosa dominante, la limitada estabilidad estructural y la escasa cobertura vegetal, configura un escenario de alto riesgo para la degradación progresiva del suelo. En Guayama, aunque la capacidad hídrica es relativamente superior, la presencia de compactación subsuperficial restringe la infiltración, lo que puede limitar el aprovechamiento efectivo del agua durante eventos de lluvia. Un indicador clave de la calidad del suelo, ya que determina la capacidad del mismo para almacenar agua disponible para las plantas después de eventos de lluvia o riego, influyendo directamente en la productividad agrícola y en la resiliencia de los sistemas productivos frente a periodos de sequía (Navas Romero et al., 2021).

Tabla 12 Resultados obtenidos tras la evaluación de profundidad efectiva

Parroquia / Comunidad	Profundidad efectiva promedio (cm)	Categoría funcional	Implicaciones principales
Zumbahua	42	Moderada	Desarrollo radicular medio; limitaciones en periodos secos
Guayama (Chugchilán)	38	Moderada–baja	Restricción parcial de raíces y almacenamiento hídrico

Nota: La profundidad efectiva moderada en ambas parroquias condiciona el desarrollo radicular y la reserva de agua en el perfil, siendo Guayama más susceptible a restricciones físicas y estrés hídrico

En la parroquia Zumbahua se registró una profundidad efectiva con un promedio de 42 cm clasificada dentro de la categoría funcional moderada esto nos indica que el suelo permite un desarrollo radicular medio, favoreciendo el crecimiento de cultivos andinos; sin embargo, puede presentar limitaciones en períodos prolongados de sequía. La profundidad alcanzada sugiere una capacidad intermedia de almacenamiento de agua y nutrientes, lo que implica que el suelo requiere prácticas de manejo como incorporación de materia orgánica y conservación de humedad para mantener su productividad.

En la comunidad de Guayama se obtuvo una profundidad efectiva promedio de 38 cm, ubicada en la categoría moderada a baja esto refleja una ligera restricción en el desarrollo radicular en comparación con Zumbahua, lo que puede limitar la exploración profunda de agua y nutrientes por parte de los cultivos. En épocas secas, esta condición puede generar mayor estrés hídrico en las plantas lo que se recomienda fortalecer prácticas de conservación del suelo, cobertura vegetal y manejo adecuado del riego para optimizar la producción agrícola.

Profundidad efectiva un indicador fundamental para evaluar la capacidad del suelo de sostener el desarrollo radicular, la absorción de agua y nutrientes, y el anclaje de los cultivos, influyendo directamente en su productividad y estabilidad (Mejía et al., 2024). Para conservar y mejorar la profundidad efectiva del suelo, es recomendable evitar labores agrícolas profundas e innecesarias, mantener una cobertura vegetal permanente, incorporar materia orgánica y aplicar prácticas de conservación que mejoren la calidad del suelo y estimulen el desarrollo radicular (Cabascango, 2021).

Tabla 13 Resultados obtenidos de la temperatura del suelo

Parroquia / Comunidad	Número de puntos evaluados	Temperatura promedio (°C)	Condición térmica	Implicaciones ecológicas
Zumbahua	3	17,6	Moderada	Actividad biológica intermedia; mineralización moderada
Guayama (Chugchilán)	3	19,6	Moderada– alta	Mayor actividad microbiana relativa

Nota: Las temperaturas registradas favorecen la actividad biológica del suelo ambos sectores presentan condiciones ligeramente más propicias para la actividad microbiana y los procesos de mineralización.

Los resultados muestran que la temperatura del suelo en Guayama (19,6 °C) fue superior a la registrada en Zumbahua (17,6 °C), diferencia que puede atribuirse a variaciones locales en altitud, exposición solar y cobertura vegetal. Aunque ambos valores se mantienen dentro de rangos moderados para ambientes altoandinos intervenidos, la mayor temperatura en Guayama podría favorecer una actividad microbiana ligeramente más intensa y una mayor velocidad de descomposición de residuos orgánicos, siempre que la humedad del suelo sea suficiente.

Estas temperaturas interactúan con otros indicadores físicos evaluados, como la humedad, la estabilidad estructural y la compactación. En condiciones de suelo seco, como las registradas durante el muestreo en época seca, un incremento térmico puede intensificar la evaporación y acentuar el estrés hídrico de los cultivos, especialmente en suelos con baja capacidad de retención de agua y estructura degradada.

La temperatura del suelo es un indicador clave de la calidad edáfica, ya que influye directamente en la germinación de semillas, el crecimiento radicular, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes, resulta especialmente relevante en ecosistemas altoandinos, donde las variaciones térmicas pueden afectar significativamente los sistemas productivos (Cedeño et al., 2023). La incorporación de materia orgánica contribuye a mejorar la capacidad del suelo para amortiguar las variaciones térmicas y mantener condiciones favorables para la actividad microbiana mejorando a la salud del suelo y a la producción agrícola sostenible (Carranza-Patiño et al., 2024). La implementación de sistemas agroecológicos y prácticas de

manejo refuerza estos efectos y mejora la estabilidad térmica del suelo, ambos territorios presentan buena aptitud para el establecimiento de cultivos andinos como tubérculos (papa, oca, melloco y mashua) hortalizas (zanahoria, acelga, lechuga) y plantas medicinales (manzanilla, menta, cedrón).

14.1.2. Indicadores Químicos del suelo

Tabla 14 Resultados obtenidos sobre el pH del suelo

Parroquia / Comunidad	Número de puntos evaluados	pH promedio	Clasificación	Implicaciones agronómicas
Zumbahua	3	6,25	Ligeramente ácido	Posible limitación moderada de P; buena para cultivos andinos
Guayama (Chugchilán)	3	6,79	Cercano a neutro	Alta disponibilidad de nutrientes

Nota: Ambos suelos presentan pH adecuado para la mayoría de cultivos andinos

Se muestran los resultados obtenidos en Zumbahua el pH del suelo es de 6,25, lo que corresponde a un suelo ligeramente ácido, mientras que en Guayama se registró un pH de 6,79, valor considerado cercano a la neutralidad. Ambos rangos se encuentran dentro de niveles favorables para la mayoría de los cultivos agrícolas, especialmente para los sistemas productivos propios de los ecosistemas andino la ligera diferencia entre ambos valores puede influir en la disponibilidad de ciertos nutrientes como fósforo, calcio y magnesio, así como en la actividad biológica del suelo.

El pH ligeramente ácido de Zumbahua es adecuado para cultivos andinos mientras que, en Guayama, el pH cercano a la neutralidad favorece una mayor disponibilidad de nutrientes y una actividad microbiana más equilibrada, lo que contribuye a mejores condiciones para el crecimiento vegetal. Los suelos de ambas zonas presentan buena aptitud para una amplia variedad de cultivos, incluyendo tubérculos andinos (papa, oca, mellocos) hortalizas (zanahoria, cebolla, acelga) plantas medicinales (menta, manzanilla, cedrón) y frutales andinos (taxo, capulí, tomate de árbol y mora de catilla) el manejo adecuado del pH permitirá optimizar la disponibilidad de nutrientes y fortalecer la productividad agrícola de manera sostenible para Zumbahua y Guayama.

Las plantas cultivadas presentan en general mejor desarrollo a valores cercanos a la neutralidad, ya que en estas condiciones los elementos nutritivos están más fácilmente disponibles y en un equilibrio más adecuado. Si el suelo es demasiado ácido, en el complejo de cambio abundan los hidrogeniones (iones de hidrogeno con carga positiva) y el aluminio

impidiendo que otros elementos necesarios tales como el calcio, magnesio, sodio y potasio permanezca en él, puesto éstos son eliminados por agua de lluvia o de riego. Si el suelo es básico el complejo de cambio se encuentra saturado y el exceso de calcio en el medio impide que otros elementos, tales como el hierro puedan ser absorbidos por las plantas (Martínez, 2020).

Tabla 15 Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas de la materia orgánica

Parroquia / Comunidad	Categoría observada	Interpretación funcional
Zumbahua	Moderada	Capacidad media de retención de agua y nutrientes
Guayama (Chugchilán)	Alta	Alta fertilidad potencial y mejor estructura

Nota: Las diferencias en la categoría funcional evidencian contraste en la calidad edáfica. Guayama posee mayor resiliencia productiva a mejor dinámica de nutrientes, mientras que en Zumbahua requiere estrategias de manejo para fortalecer su capacidad de retención y estabilidad estructural.

Los resultados obtenidos se evidencian diferencias claras, Zumbahua se registró un contenido de materia orgánica moderado, lo que indica que el suelo mantiene condiciones aceptables de fertilidad, mientras que en Guayama se identificó un contenido fuerte de materia orgánica, lo que refleja una mejor fertilidad biológica del suelo mayor actividad microbiana y mejores condiciones estructurales, favoreciendo el desarrollo radicular y la disponibilidad gradual de nutrientes. Por otro lado, el nivel moderado de materia orgánica en Zumbahua evidencia la necesidad de fortalecer el manejo orgánico del suelo para evitar una disminución progresiva de su fertilidad y prevenir procesos de degradación.

Para el mejoramiento de suelo en Guayama presenta una mayor aptitud productiva para el establecimiento de hortalizas y plantas medicinales por otro lado en Zumbahua, aunque sus suelos son aptos para cultivos andinos es necesario fortalecer el manejo orgánico para mejorar la fertilidad del suelo y ampliar las posibilidades productivas.

La materia orgánica indica la calidad edáfica, ya que influye directamente en la fertilidad química, física y biológica del suelo. Un suelo con adecuado contenido de materia orgánica presenta mejores condiciones para el crecimiento de las plantas y una mayor resiliencia frente a procesos de degradación (Julca-Otiniano et al., 2006).

14.1.3. Indicadores biológicos del suelo

Tabla 16 Resultados obtenidos de la evaluación de Macrofauna del suelo

Parroquia / Comunidad	Abundancia observada	Categoría funcional	Interpretación ecológica
Zumbahua	Baja	Actividad biológica limitada	Escaso reciclaje de nutrientes y baja agregación
Guayama (Chugchilán)	Media	Funcionamiento biológico intermedio	Mejor estructura y mayor incorporación de residuos

Nota: La mayor actividad biológica en Guayama favorece el reciclaje de nutrientes y la estabilidad estructural, mientras que la baja abundancia en Zumbahua indica menor dinámica ecológica del suelo.

Los resultados muestran diferencias claras en la actividad biológica visible del suelo entre ambas parroquias. En Zumbahua, la baja abundancia de macrofauna sugiere un ecosistema edáfico empobrecido, probablemente asociado a disturbios frecuentes del suelo, baja cobertura vegetal y aportes orgánicos limitados. Esta condición reduce la velocidad de descomposición de residuos vegetales y debilita la formación de agregados estables, lo que incrementa la susceptibilidad a la erosión y la degradación progresiva del perfil superficial.

En la comunidad de Guayama, la presencia media de macrofauna indica un funcionamiento biológico relativamente más favorable, coherente con la mayor disponibilidad de materia orgánica observada previamente. No obstante, la compactación subsuperficial identificada en este territorio podría restringir la movilidad de estos organismos y limitar su efecto positivo sobre la porosidad del suelo y la infiltración del agua.

La macrofauna del suelo constituye de una serie de organismos invertebrados como lombrices, insectos, arácnidos etc., son los responsables de una serie de funciones ecológicas y servicios ecosistémicos únicos que incluyen en la descomposición de la materia orgánica, el secuestro de carbono orgánico, reciclaje de nutrientes y el mantenimiento de la estructura del suelo (Machado-Cuellar et al., 2021). Es importante conocer el contenido de la macrofauna del suelo porque estas aportan a la mejora de la estructura del suelo a formando galerías que facilitan a la aireación, infiltración del agua, libera nutrientes esenciales para las plantas y estimula la actividad microbiana fortaleciendo así a la productividad agrícola y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Tabla 17 Resultados obtenidos después de haber realizado la prueba del calcetín

Parroquia / Comunidad	Pérdida de masa (g)	Nivel de descomposición	Interpretación biológica
Zumbahua	2,0	Media	Actividad microbiana intermedia
Guayama (Chugchilán)	1,0	Baja	Actividad microbiana limitada

Nota: Los valores obtenidos indican que ambos suelos presentan procesos biológicos activos con una leve diferencia donde Zumbahua presenta mayor descomposición materia orgánica, mientras que en Guayama el proceso es más lento por varios factores que influyen en la actividad de los microorganismos.

Los resultados evidencian diferencias en la intensidad de los procesos biológicos entre las dos áreas evaluadas. En Zumbahua, la pérdida promedio de 2 g sugiere una actividad microbiana intermedia, lo que indica una capacidad moderada del suelo para descomponer residuos orgánicos y liberar nutrientes para las plantas. Esta condición resulta coherente con el contenido de materia orgánica clasificado como moderado y con la temperatura del suelo registrada durante el muestreo.

En la comunidad de Guayama, la pérdida de 1 g refleja una actividad microbiana baja, a pesar de presentar un mayor contenido de materia orgánica. Esta aparente contradicción puede explicarse por la presencia de compactación subsuperficial y por condiciones de sequedad al momento de la prueba, factores que restringen la aireación del suelo y limitan la actividad de los microorganismos encargados de la descomposición.

La baja tasa de descomposición en Guayama sugiere que, aunque existe un mayor reservorio de materia orgánica, su transformación en nutrientes disponibles podría estar limitada por restricciones físicas del suelo. En Zumbahua, en cambio, la actividad biológica intermedia podría verse amenazada si continúan los procesos de degradación física y pérdida de cobertura vegetal. El test de calcetín permite evaluar la actividad microbiana del suelo a partir de grado de descomposición de fibras de algodón esta técnica es fundamental porque los microorganismos del suelo utilizan la celulosa como fuente de energía por lo que al mostrar un mayor nivel de descomposición indica suelos biológicamente activos y saludables (Nachimuthu et al., 2022).

14.2. Comparación edáfica e identificación de especies aptas que sean cultivables en zonas altoandinas

De acuerdo al objetivo 2 que determina comparar los indicadores edáficos entre Zumbahua y Chugchilán asociados a los procesos de degradación del suelo y a la vulnerabilidad de los suelos productivos a su vez la identificación de diferentes especies adaptables a sus condiciones climáticas y como estas aportan a la conservación del suelo y mejoran la actividad productiva.

En la parroquia Zumbahua se identificaron limitaciones edáficas relacionadas principalmente con el bajo contenido de materia orgánica, baja retención hídrica, fragilidad estructural y limitada actividad biológica, por lo que las prácticas de conservación propuestas responden directamente a estas condiciones. La incorporación de abonos orgánicos se plantea como una estrategia fundamental para incrementar la materia orgánica del suelo, mejorar la agregación de partículas y fortalecer la estructura edáfica. Por otro lado, el mantenimiento de cobertura vegetal resulta esencial para disminuir la evaporación, conservar la humedad y proteger la superficie del suelo frente al impacto directo de la lluvia, reduciendo así el riesgo de erosión. La reducción de la labranza profunda y repetitiva contribuye a evitar la desagregación estructural y a conservar la estabilidad física del suelo, favoreciendo su capacidad de infiltración y almacenamiento de agua. La implementación de abonos verdes permite estimular la actividad biológica mediante el aporte de residuos vegetales y la fijación natural de nitrógeno, lo que fortalece los procesos de reciclaje de nutrientes y mejora progresivamente la calidad productiva del suelo.

Así mismo considerando la baja retención hídrica, el limitado contenido de materia orgánica y la fragilidad estructural del suelo franco arenoso, se propone la incorporación de diferentes cultivos que aporte tanto a la productividad como a la conservación edáfica. Dentro del grupo de tubérculos andinos se priorizan especies como papa, oca, melloco y mashua, debido a su adaptación a climas fríos y su tolerancia a suelos de fertilidad media, además de que su cobertura foliar ayuda a proteger el suelo del impacto directo de la lluvia. Las leguminosas y hortalizas, se recomienda el cultivo de haba, chocho y arveja por su capacidad de fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad natural del suelo, así como zanahoria, acelga, lechuga y cebolla, que se adaptan a suelos de textura franca y permiten mantener cobertura vegetal continua.

La incorporación de frutales andinos como tomate de árbol y mora de castilla contribuye a la diversificación productiva y a la protección del suelo mediante sistemas agroforestales que favorecen la estabilidad estructural y reducen la erosión. Por último, el

establecimiento de plantas medicinales como manzanilla, menta, cedrón y toronjil resulta óptimo, ya que presentan buena adaptación a climas fríos y suelos bien drenados, además de requerir bajo manejo intensivo, disminuye la perturbación del suelo. La integración de estos grupos de cultivos dentro de esquemas de rotación y asociación agrícola fortalece la actividad biológica, incrementa el aporte de residuos orgánicos y mejora progresivamente la calidad del suelo, contribuyendo así a la sostenibilidad productiva y ambiental de Zumbahua.

En la comunidad de Guayama (Chugchilán), se evidenció compactación del suelo hasta los 20 cm de profundidad, baja estabilidad estructural y riesgo de erosión hídrica debido a la pendiente del terreno, la propuesta de manejo debe orientarse principalmente a la recuperación física del suelo y a la mejora de su funcionalidad biológica. Para mejorar la compactación, se recomienda la incorporación de abonos verdes y leguminosas de raíces profundas como chocho, haba y arveja, las cuales favorecen la descompactación biológica al generar canales naturales en el perfil del suelo, mejorando la porosidad y facilitando la infiltración del agua, así mismo, la aplicación periódica de materia orgánica mediante compost y estiércol bien descompuesto contribuye a fortalecer la agregación de partículas y a incrementar la estabilidad estructural, reduciendo la susceptibilidad a la erosión.

Debido a la pendiente característica del territorio, resulta fundamental el establecimiento de barreras vivas con especies como quishuar, chilca y aliso, las cuales disminuyen la velocidad de la escorrentía superficial, estabilizan el terreno y protegen la capa fértil del suelo. En cuanto a los cultivos productivos, los tubérculos andinos como papa, oca, melloco y mashua pueden desarrollarse adecuadamente en suelos franco arenosos y clima frío, siempre que se integren dentro de esquemas de rotación para evitar el monocultivo y el deterioro estructural. De igual manera, la incorporación de hortalizas como zanahoria, acelga, lechuga y cebolla permite mantener cobertura vegetal continua, mientras que frutales andinos como capulí, tomate de árbol y mora de castilla favorecen la estabilización del suelo mediante sistemas agroforestales que reducen el impacto de la pendiente. Las plantas medicinales como manzanilla, menta, cedrón y toronjil constituyen una alternativa de bajo impacto mecánico que diversifica la producción sin incrementar la perturbación edáfica. Estas acciones permiten reducir la compactación, mejorar la estructura y fortalecer la actividad biológica del suelo, garantizando mayor sostenibilidad productiva y ambiental en Guayama.

15. Propuesta

De acuerdo a los resultados obtenidos que indica proponer estrategias sostenibles de conservación del suelo para la parroquia Zumbahua y para la comunidad de Guayama

perteneciente a la parroquia Chugchilán, adaptadas a las condiciones ambientales y territoriales.

15.1. Propuesta 1

Tema: Propuesta de conservación del suelo para la parroquia Zumbahua

Introducción:

La parroquia Zumbahua se caracteriza por su ecosistema altoandino su clima está en frío a templado sus suelos son de textura franco arenoso están condiciones favorecen para el establecimiento de cultivos andinos tradicionales, mantiene sus limitaciones relacionadas con la baja retención de humedad presenta pérdida progresiva de fertilidad y procesos de degradación de suelo durante la época seca afectando tanto a la productividad agrícola como la sostenibilidad del recurso suelo. Previo a los resultados obtenidos se plantea una propuesta orientada a la conservación del suelo dándole uso a los cultivos andinos adaptados a su clima a través de rotación agrícola, cobertura vegetal permanente y practicas agroecológicas.

Objetivo:

Diseñar una propuesta para la conservación de suelo en la parroquia Zumbahua mediante la implementación de sistemas de cultivo rotativo y prácticas agroecológicas adaptadas a las condiciones climáticas.

Desarrollo:

La zona delimitada para la puesta en práctica de la propuesta de diseño de estrategias técnicas y sostenibles para la conservación del suelo corresponde a una parcela de la cual se obtuvieron los perímetros aproximado de 320,12 metros y una superficie total de 5 990 m², en la que se observa una pendiente moderada que es habitual en los ecosistemas altoandinos de la parroquia, situación que afecta la dinámica del agua, la estabilidad del suelo y el manejo agrícola, razón por la que las acciones propuestas van en dirección de reducir procesos de erosión, mejorar la estructura edáfica y optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico bajo criterios de sostenibilidad medioambiental y productiva.

Las acciones propuestas para el desarrollo de la estrategia se detallan a continuación:

- En el límites izquierdo y derecho de la superficie se iniciará una franja mixta de especies leñosas y arbustivas, concretamente de aliso (*Alnus acuminata*) y chilca (*Baccharis latifolia*), cada una sembrada intercaladamente con una distancia cercana a los dos metros, distancia que resulta según esta investigación apropiada para un crecimiento correcto de las plantas y su

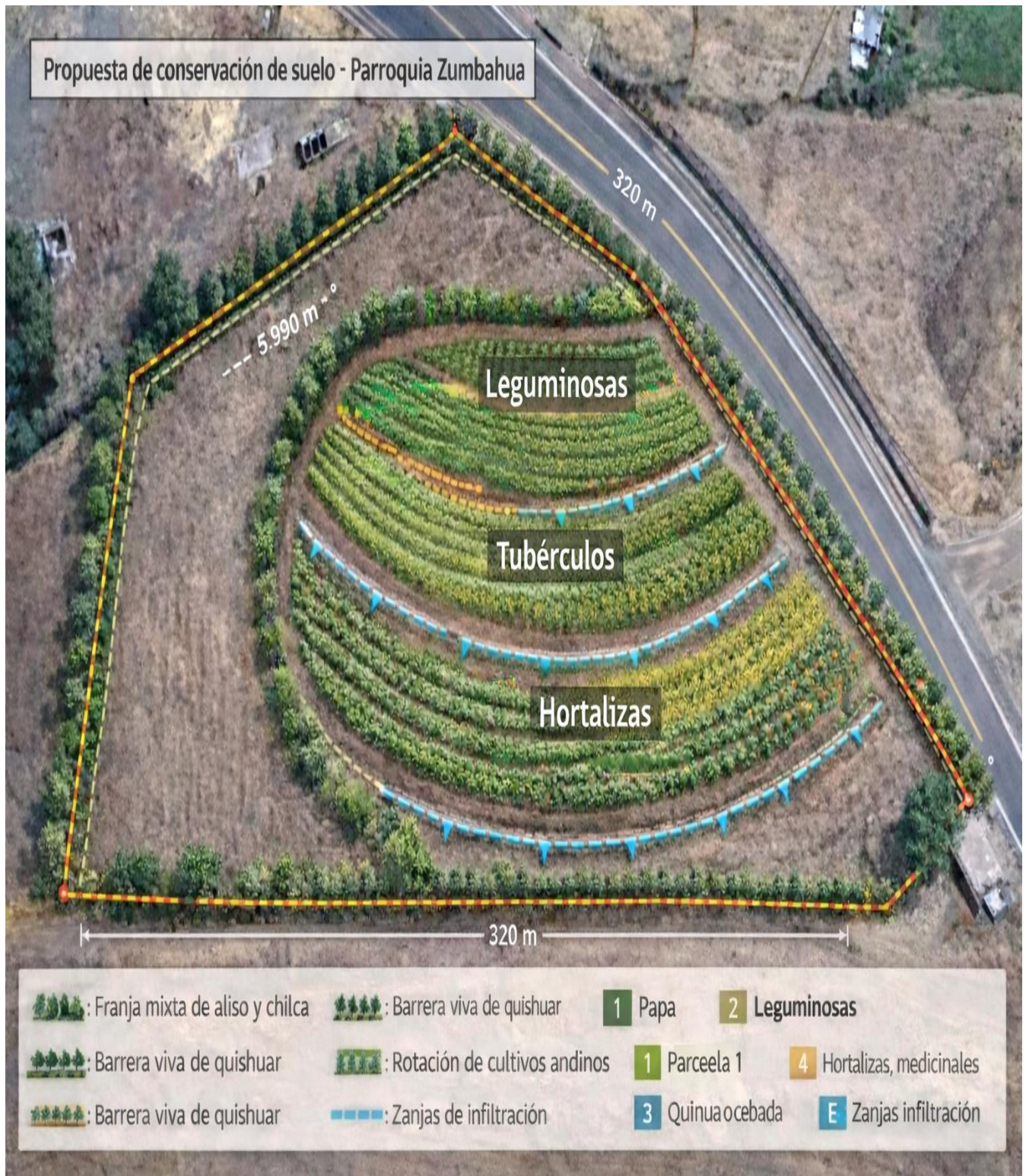
función principal, que es la de facilitar cortinas rompevientos, contribuir de igual forma a la fijación de nitrógeno, mejorar la protección del suelo frente a la restauración del mismo, e incrementar, por último, la estabilidad estructural del suelo en los márgenes de la parcela.

- Contiguo a la infraestructura vial, se establecerá una hilera de quishuar (*Buddleja incana*), un tipo de planta que posee raíces bastante profundas, que ayuda a estabilizar taludes, minimizando de este modo el riesgo de eventos de deslizamiento de taludes, además de funcionar como un filtro biológico gracias a la retención de sedimentos, nutrientes y materia orgánica, evitando de este modo la pérdida de estos elementos hacia las zonas más bajas y los cuerpos de agua.
- Con la finalidad de mejorar la calidad del suelo ya que presenta una problemática que se relaciona con la baja estructural de agregados estables, limitada retención de humedad y baja abundancia de macrofauna lo que genera alta susceptibilidad a la erosión y el estrés hídrico estacional en toda la parcela se implementará de cobertura vegetal permanente mediante un sistema de rotación de cultivos que comprenderá tubérculos andinos (papa, oca, melloco y mashua), leguminosas (haba, chocho y arveja), hortalizas (acelgas y cebollas), plantas medicinales (manzanilla, menta y cedrón) y frutales andinos (tomate de árbol y mora de castilla) son cultivos que se adaptan mejor a las condiciones climáticas de la parroquia, por su resistencia a las heladas y por la tolerancia a periodos de escasez de agua, el cual permite mantener la fertilidad del suelo, disminuir la presión de plagas y enfermedades para evitar el agotamiento del suelo y favorecer la diversidad biológica.
- Incorporación sistemática de materia orgánica (compost, estiércol y abonos verdes con la finalidad de mejorar la estructura e incrementar la retención de agua y estimular la actividad biológica
- Para conservar el recurso hídrico se propone la ejecución de zanjas de infiltración dispersas estratégicamente por la parcela, las cuales lograrán captar y almacenar el agua procedente de la lluvia en la etapa invernal para propiciar la infiltración de este recurso en el perfil de los suelos, incrementando de este modo la humedad disponible y disminuyendo los efectos de la escasez de agua durante los periodos secos que anualmente sufren las parroquias, ayudando de esta manera a la mejora de las producciones agrícolas y de la resiliencia del sistema frente a la variabilidad climática

Conclusión

En conclusión, conservar el suelo mediante la implementación de sistemas de cultivo rotativo y prácticas agroecológicas adaptadas a sus condiciones climáticas y edáficas. Las propuestas planteadas como la incorporación de materia orgánica, el establecimiento de cobertura vegetal permanente y la construcción de zanjas de infiltración, permiten mejorar la retención hídrica, fortalecer la estructura del suelo y reducir la susceptibilidad a la erosión.

Ilustración 3 Diseño de propuesta de conservación de suelo para la parroquia Zumbahua



Fuente: Cofre, 2025

15.2. Propuesta 2

Tema: Conservación del suelo para la parroquia Chugchilán (comunidad Guayama)

Introducción

La comunidad de Guayama presenta un ecosistema altoandino su clima es frío a templado con temperaturas moderadas estas condiciones climáticas y geomorfologías influyen directamente en el recurso suelo condicionando el uso agrícola como principal actividad productiva, en estas zonas los procesos de degradación del suelo, compactación, pérdida de materia orgánica y la erosión hídrica se han intensificado debido al uso continuo de malas prácticas agrícolas del suelo. De esta manera la propuesta de conservación de suelo busca fortalecer la resiliencia de los ecosistemas productivos locales, promover el uso sostenible de los recursos naturales.

Objetivo

Diseñar una propuesta para la conservación del suelo y en la comunidad Guayama, mediante la implementación de prácticas agroecológicas adaptadas a las condiciones climáticas.

Desarrollo

La propuesta fue construida a partir de los fundamentos de la conservación del suelo, agroecología, manejo sostenible del recurso hídrico en los ecosistemas altoandinos, considerando la realización de prácticas establecidas de manejos en el suelo, que componen la manutención del entorno en la zona en que se trabaja, contado en este caso que se trabajó una parcela cuyo perímetro está aproximado en 255,80 metros y con superficie de la parcela de 4 500 m² con la opción de realizar prácticas de manejo como forma de mejorar la sostenibilidad productiva y ambiental.

Las acciones planteadas para el desarrollo de la propuesta son las siguientes:

- En esta parcela no es necesario plantar filas intercaladas de plantas cuya funcionalidad tienen la de cortinas rompevientos porque a sus alrededores están plantadas diferentes árboles y arbustos por lo que ya estas realizan la función de cortinas rompevientos protegiendo a la productividad agrícola que está implantada dentro de la parcela.
- Con el objetivo de mejorar la calidad del suelo ya que presenta una alta problemática en la compactación hasta los 20 cm de profundidad muy baja estabilidad estructural y una limitada actividad microbiana a pesar de mostrar un alto contenido de materia orgánica

- Para mejorar la problemática de compactación de 20 cm que existe se puede implantar un subsolado mecánico puntual es una técnica cuya función es romper la capa compactada del suelo sin voltear ni mezclar las capas fértiles, esta situación limita la infiltración del agua y el crecimiento de las raíces esta práctica consiste en introducir un subsolador con una púa profunda que fractura la capa endurecida y mejora la porosidad interna del suelo se denomina puntual porque se aplica únicamente en las zonas donde existe compactación y controlada porque no altera la capa superficial rica en materia orgánica.
- Manejo racional del pastoreo mediante rotación de potreros para reducir la presión ganadera.
- Para preservar el agua, se plantea la construcción de zanjas de infiltración que tengan la capacidad de retener y almacenar el agua de lluvia en el periodo de invierno, facilitando y favoreciendo su infiltración en el suelo. Durante sequías que suelen ocurrir en la parroquia se puede aprovechar el agua, contribuyendo así a reducir la escasez de agua para los cultivos y mejorar por ende la producción agrícola.
- Se puede aplicar la aplicación de bioinsumos y microorganismos eficientes para activar la descomposición y mineralización de nutrientes
- Para mejorar el suelo agrícola se diseñará un plan de rotación de cultivos mediante la introducción de tubérculos (papa, melloco, y ocas), leguminosas (chocho, haba y arveja), hortalizas (zanahoria, acelga y cebolla), plantas medicinales (cedrón, menta, y toronjil), y frutales andinos (mora de castilla, tomate de árbol y capulí) especies que se adaptan a las condiciones climatizadas de la zona, que son tolerantes a las heladas y a periodos con baja disponibilidad de agua, y que serán complementadas con la aplicación de abonos orgánicos con el fin de mejorar la fertilidad de la parcela, la estructura del suelo y la actividad biológica.
- En Guayama, considerando que existe producción de miel de abeja, se puede introducir como actividad complementaria el establecimiento de sistemas agroforestales melíferos con enfoque apícola. Esta estrategia consiste en incorporar y fortalecer la siembra de especies nativas y florales que sean productoras de néctar y polen, tales como chilca, aliso, romerillo, arrayán andino plantas melíferas adaptadas al páramo.

Esta actividad tendría varios beneficios:

- Primero, mejora la conservación del suelo, ya que las especies arbustivas y arbóreas reducen la erosión, incrementan la cobertura vegetal, mejoran la infiltración del agua y aportan

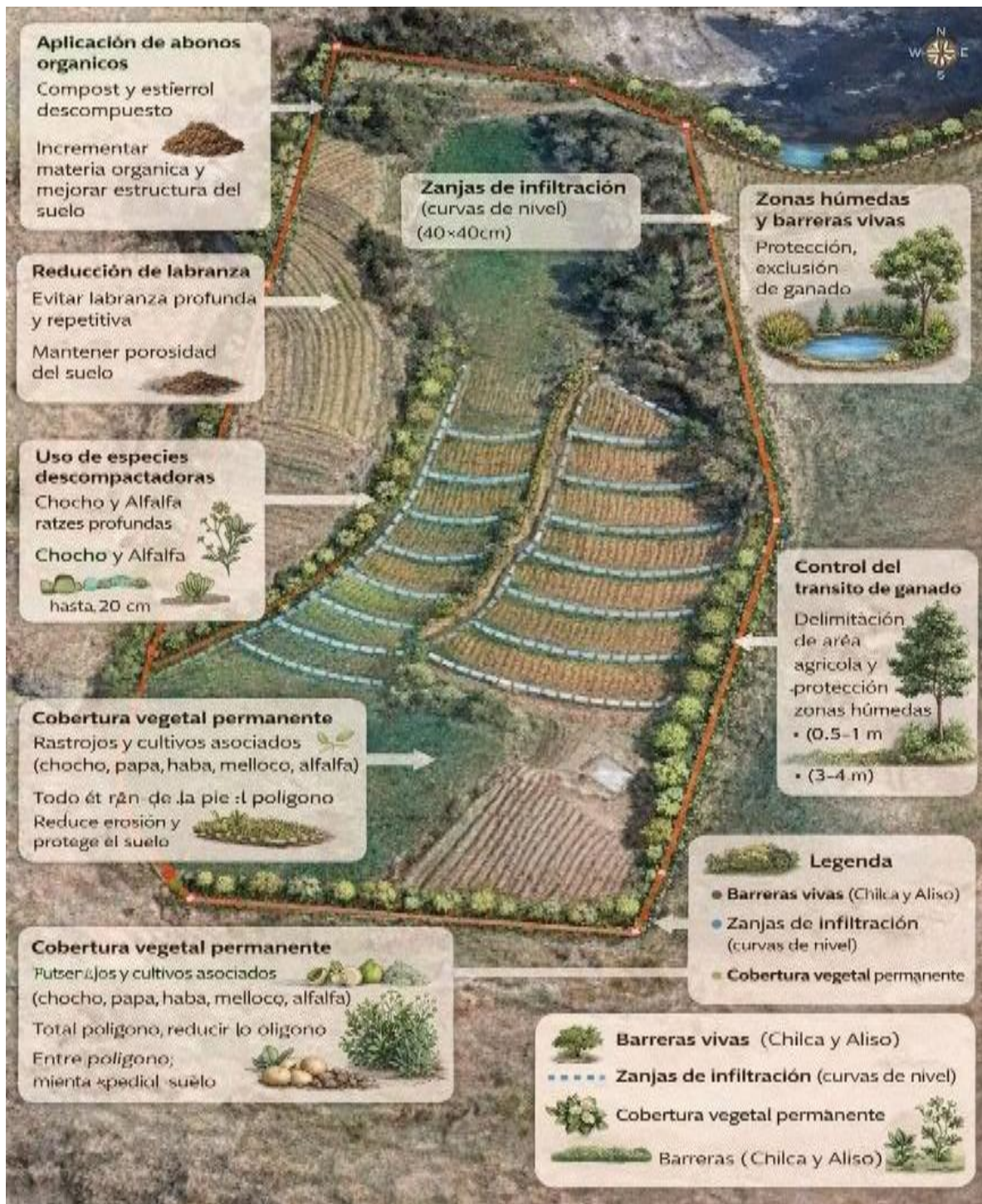
materia orgánica al suelo, lo cual es clave en un territorio con baja estabilidad estructural (3,85 %) y compactación.

- Segundo, fortalece el emprendimiento apícola, porque aumenta la disponibilidad de floración durante más meses del año, mejora la calidad y cantidad de miel producida y diversifica productos como polen, propóleo y cera.
- Tercero, estimula la actividad biológica del suelo, ya que mayor cobertura vegetal implica más raíces, más residuos orgánicos y mayor dinamismo microbiano, ayudando a superar la limitada actividad biológica detectada.

Conclusión

En conclusión, las acciones planteadas permiten reducir la compactación, mejorar la infiltración del agua y fortalecer la estabilidad estructural del suelo, con la rotación diversificada de cultivos y la incorporación de sistemas agroforestales ayudan a incrementar la fertilidad y la actividad biológica, la propuesta favorece la recuperación progresiva del suelo y garantizan mayor sostenibilidad productiva y ambiental en el territorio.

Ilustración 4 Diseño de conservación de suelo a de la comunidad de Guayama parroquia Chugchilán



Fuente: Cofre, 2025

16. Aporte general de conservación de suelo

Las estrategias de conservación del suelo no solo buscan mantener la productividad agrícola, sino que también generan beneficios integrales para la comunidad y el territorio. Sus impactos se reflejan en distintos ámbitos, desde lo social y cultural hasta lo económico y político, fortaleciendo la sostenibilidad de los ecosistemas altoandinos y el bienestar de sus habitantes.

Social: Fortalecen la seguridad alimentaria mediante la diversificación de cultivos andinos y la implementación de prácticas agroecológicas que reducen la vulnerabilidad productiva; además promueven la participación comunitaria en el manejo sostenible del suelo y mejoran la resiliencia de las familias frente a la variabilidad climática.

Económico: Incrementan la productividad agrícola al mejorar la estructura y fertilidad del suelo, reduciendo pérdidas por erosión y compactación; asimismo diversifican las fuentes de ingreso mediante la producción de tubérculos, hortalizas, frutales, plantas medicinales y sistemas agroforestales, disminuyendo la dependencia de un solo cultivo.

Cultural: Revalorizan los cultivos andinos tradicionales como parte de la identidad agrícola altoandina y fortalecen el conocimiento ancestral relacionado con la rotación de cultivos, el uso de especies nativas y el manejo sostenible del territorio.

Político: Se alinean con políticas de desarrollo rural sostenible, soberanía alimentaria y conservación de los recursos naturales, contribuyendo a la planificación territorial responsable y a la adaptación al cambio climático en ecosistemas altoandinos.

17. Conclusiones

El diagnóstico del suelo nos permitió identificar la presencia de problemáticas asociadas a la erosión del suelo, la compactación y la baja retención de humedad, especialmente en áreas con pendiente y uso agrícola intensivo, evidenciando que estos factores afectan la productividad y aceleran los procesos de degradación de tierras en ambas parroquias. La

determinación de los tipos de suelo presentes en Zumbahua y Chugchilán permitió establecer que predominan suelos de textura franco arenoso con variaciones en compactación, contenido de materia orgánica y actividad biológica, características que influyen directamente en la capacidad productiva, la disponibilidad de agua y la estabilidad estructural del suelo en cada territorio.

La propuesta de estrategias sostenibles de conservación del suelo permitió establecer acciones técnicas viables y adaptadas a las condiciones ambientales de cada parroquia, orientadas a mejorar la fertilidad, reducir la erosión y optimizar el uso del recurso hídrico, contribuyendo al fortalecimiento de la sostenibilidad productiva en los ecosistemas de páramo.

El diseño de estrategias de conservación del recurso suelo para las parroquias Zumbahua y Chugchilán permitió integrar los resultados del diagnóstico físico, químico y biológico del suelo, evidenciando que las condiciones edáficas y ambientales influyen de manera directa en la sostenibilidad productiva y en la vulnerabilidad frente a procesos de degradación, lo que confirma la necesidad de aplicar acciones técnicas diferenciadas que fortalezcan la estabilidad del suelo, la retención de humedad y la resiliencia de los ecosistemas de páramo.

18. Recomendaciones

Se sugiere fortalecer el monitoreo periódico de las condiciones ambientales del páramo; incorporar prácticas de conservación como cobertura vegetal permanente, manejo adecuado del pastoreo y control de la escorrentía superficial para disminuir la erosión y evitar la degradación del suelo. Es importante usar la información edafológica obtenida como base del ordenamiento productivo del territorio, promoviendo cultivos que se adapten a las condiciones

del suelo e impidiendo prácticas agrícolas que pueden ocasionar compactación o empobrecimiento de la estructura edáfica.

Es necesario que las estrategias indicadas recojan los programas locales de desarrollo rural y conservación ambiental, orienten la capacitación de las comunidades y afronten el acompañamiento técnico de manera que se garantice el buen uso de las estrategias y se incremente su efecto positivo sobre el suelo y el sistema productivo.

Se recomienda desarrollar gradualmente las estrategias de conservación propuestas priorizando las que apuntan a mejorar la estructura del suelo, aumentar la materia orgánica, y mejorar el uso del agua, con la participación de las comunidades locales y haciendo énfasis en que se garantice la sostenibilidad y la perdurabilidad en el tiempo de las acciones.

19. Referencias bibliográficas

- Abando, S. (2021, abril 1). *Cartilla No 2: Zanjas, Cubas y Acequias para Infiltración de Agua - FAO*. Studocu. <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-tecnica-de-cotopaxi/fibras-agroindustriales/cartilla-no-2-zanjas-cubas-y-acequias-para-infiltracion-de-agua/109642005>
- Álvarez, P., & Castro, M. (2022). La minga como sistema de reciprocidad en comunidades kichwas del Ecuador. *Antropología Andina*, 7(1), 23-41.
- Álvarez-Sánchez, M. E., Maldonado-Torres, R., Nájera-Rosas, C., & Cristóbal-Acevedo, D. (2020). Manejo agroecológico para la restauración de la calidad del suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 741-752. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2462>
- Ana, O. (19 de 05 de 2021). *Buenas prácticas de conservación y restauración de humedales andinos*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/ar758s/ar758s>.
- Barrera, V., Escudero, L., & Valverde, M. (2020). *Sistemas agrícolas tradicionales andinos: Sostenibilidad y resiliencia*. Editorial INIAP.
- Barrezueta, S. L. (2021). *Diagnóstico de necesidades tecnológicas en agricultura familiar campesina ecuatoriana*. Obtenido de *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(3), e1876: https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1876
- Bejar, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de transferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Berkes, F. (2021). *Sacred ecology* (5th ed.). *Routledge*.
- Buenaño, M., y Tapia, F. (2020). Dinámica de cambio de cobertura vegetal en ecosistemas de páramo del Ecuador. *Revista Geográfica Ecuatoriana*, 13(2), 89-108.
- Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Buytaert, W., Célleri, R., De Bièvre, B., & Hofstede. (2021). *Human impact on the hydrology of the Andean páramos*. Obtenido de *Earth-Science Reviews*, 213, 103464: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103464>
- Cabascango, S. P. C. (2021). *“EVALUACIÓN DE LA RECUPERACIÓN DE SUELOS EN TALUDES EN TERRAZAS DE BANCO CON UNA ESPECIE SUCULENTA,*

(*APTENIA CORDIFOLIA*), *APLICANDO DOS TIPOS DE ABONOS Y CUATRO DISTANCIAS DE SIEMBRA EN EL SECTOR SALACHE, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA COTOPAXI 2021*".

- Camacho, M. (2025). *Los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible*. Obtenido de Anales de la Universidad Central del Ecuador.: <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>
- Carhuaricra Espinoza, K. V., Guerra Lu, J. K., Marlix Cristancho Ariza, K. F., Cristancho Ariza, D., Gallo Álvarez, A. G., & Vela Marin, I. B. (2025). Mitigación de impactos ambientales por prácticas agrícolas inadecuadas en el cultivo de granadilla y rocoto. *Revista Alfa*, 9(26), 631-645. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i26.370>
- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., & Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y Manejo Sostenible del Suelo en la Agricultura: Una Revisión Sistemática de Prácticas Tradicionales y Modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 1-28. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/nE3/303>
- Cedeño, A. (2022, diciembre 23). *Siembra y cosecha de agua: Conoce la técnica ancestral para conservar este recurso vital*. <https://andina.pe/agencia/noticia-siembra-y-cosecha-agua-conoce-tecnica-ancestral-para-conservar-este-recurso-vital-922553.aspx>
- Changoluisa, N. (2024). Análisis y relación de la capacidad de intercambio catiónico con parámetros físicos y químicos en suelos de cinco sistemas productivos en Cotopaxi, mediante metodologías y aplicaciones móviles. Universidad Técnica de Cotopaxi: <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8db9bb21-a3eb-4b7d-b904-9f96eb39b895/content>
- Chidi, C. L., Zhao, W., Thapa, P., Paudel, B., Chaudhary, S., & Khanal, N. R. (2022). Evaluation of traditional rain-fed agricultural terraces for soil erosion control through UAV observation in the middle mountain of Nepal. *Applied Geography*, 148, 102793. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102793>
- Chiriboga, M. &. (2020). Minifundio y agricultura familiar en Ecuador: Desafíos y oportunidades. *Problemas del Desarrollo*, 51(201), 85-109.
- Chuncho Morocho, C., & Chuncho, G. (2025). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones. *Universidad Nacional de Loja*.
- Coronel, M., Parreño, L., & Naranjo, S. (2020). *Trabajo comunitario y cohesión social en comunidades indígenas andinas*. *Revista Andina de Estudios Sociales*,.

- Crespo, P. F. (2022). Identifying controls of the rainfall–runoff response of páramo catchments. *Hydrological Processes*, 36(4), e14412.
- Cuesta, F., Muriel, P., Llambí, L., Halloy, S., Aguirre, N., Beck, S., & Gosling, W. (2020). Latitudinal and altitudinal patterns of plant community diversity on mountain summits across the tropical Andes. *Journal of Biogeography*, 47(7), 1403–1415.
- Eiso, M. (2022, agosto 5). Cómo el calentamiento global afecta los páramos. *Comunidad Planeta Azul*. <https://comunidadplanetaazul.com/como-el-calentamiento-global-afecta-los-paramos/>
- Espinoza, Y. (2004). Calidad de la materia orgánica bajo diferentes prácticas de manejo en un suelo ácido tropical. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 21(2), 126-141.
- FAO. (2021). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021: Hacer que los sistemas agroalimentarios sean más resilientes*. FAO. . Obtenido de <https://doi.org/10.4060/cb4476es>
- Fernández, J., Álvarez, J., y Jaime, M. (2024). Propiedades físicas de un suelo sometido a la aplicación de diferentes cantidades de materia orgánica de escarabajo. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v27.n2.2024.2561>
- García, M., & et al. (2024). *Modeling of Andean páramo ecosystems' hydrological response to environmental change*. *Water*, 16(3). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/w16030094>
- García, R., López, M., y Torres, J. (2021). *Procesos erosivos en ecosistemas andinos: diagnóstico y cuantificación*. *Revista de Ciencias del Suelo*, 39(2), 145-162. Obtenido de <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v39.n2.28934>
- González, P., & Mendoza, L. (2023). *Sistemas de fertilización orgánica en la agricultura andina: prácticas tradicionales y validación científica*. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), 145-163. Obtenido de <https://doi.org/10.22490/21456453.5832>
- Guerrero, F., & Salazar, P. (2023). Gobernanza comunitaria indígena en Ecuador: Experiencias y desafíos. *Íconos: Revista de Ciencias Sociales*, 75, 125-144.
- Hernández, O. R. (2015). *IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMÁTICAS AMBIENTALES EN COLOMBIA A PARTIR DE LA PERCEPCIÓN SOCIAL DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS LOCALIZADOS EN DIFERENTES ZONAS DEL PAÍS*.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

- Hofstede, R., Coppus, R., Vásquez, A., & Segarra, P. (2020). El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecología en Bolivia*, 37(1), 3-15.
- Hofstede, R., Segarra, P., & Mena, P. (2020). *Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro*.
- Irigoyen Urinovsky, K. M., Acosta, M. G. L., Contreras Leiva, S. M., & Todelo, D. M. (2018). *Estabilidad de agregados como indicador de calidad en suelos del Chaco semiárido*.
https://agris.fao.org/search/en/providers/124983/records/67050d3eb1dfe472e14502fc?utm_source.
- José, M. (12 de 6 de 2015). *BARRERAS VIVAS PARA EL MENJO PAISAJÍSTICO Y LA MITIGACIÓN DE OLORES OFENSIVOS EN GRANJAS PORCÍCOLAS*. Obtenido de https://porkcolombia.co/wp-content/uploads/2024/01/Guia-Barreras-Vivas_v4.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- León, R., y Cordero, M. (2021). Escenarios de cambio climático para la región andina ecuatoriana: proyecciones hacia 2050 y 2100. *Clima y Ambiente*, 19(1), 45-67.
- Linares, M. (2020, marzo 28). *Soil Texture*. Smallholder Soil Health Assessment.
<https://smallholder-sha.org/protocol-1/texture-by-feel/>
- López, C. E., Rebollo Contreras, S., & Cárdenas Camargo, I. (2024). Impacto del Manejo Agroecológico en las Propiedades del Suelo: Un estudio comparativo en parcelas del Norte del Estado de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 3151-3166. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15078
- López, E. A. E., & García, V. J. (2020). *USO DE ALGORITMO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA DESARROLLAR UNA METODOLOGÍA PARA MEDIR LA TEXTURA DE LOS SUELOS*.
- MAATE. (2023). Plan de acción nacional para la conservación, restauración y uso sostenible de los páramos del Ecuador. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*.
- MAGAP. (2020). La política agropecuaria ecuatoriana: Hacia el desarrollo territorial rural sostenible 2015-2025. *Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
- Maglianesi, M. (2016). *Vista de Restauración ecológica: Perspectiva histórica e implicaciones éticas de una disciplina en crecimiento*. Vol. 25 Núm. 1-2 (2011):

- Biocenosis. Revista ambiental. Centro de Educación Ambiental-UNED.*
<https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1186/1217>
- Maldonado, P., & Galarza, F. (2021). Caracterización socioeconómica de comunidades indígenas andinas en Ecuador. *Ecuador Debate*, 113, 89-108.
- Mamani, F. &. (2023). Sistemas tradicionales de gestión del agua en comunidades aymaras: lecciones para la adaptación climática. *Revista de Ecología Política*, 64, 112-127.
- Maria, S. (2020). *pH del suelo*. Obtenido de organizaciones de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura.
- Mario, T. (2007). *Guía de campo y de cultivos andinos*. Obtenido de <https://www.fao.org/4/ai185s/ai185s>.
- Morales, J., y Sánchez, R. (2023). *Erosión mecánica en sistemas agrícolas de montaña: causas y consecuencias*. *Agronomía Mesoamericana*, 34(1), 1-18. Obtenido de <https://doi.org/10.15517/am.v34i1.48321>
- Moreno, J., & Azcárate, J. (2022). Evaluation of the USDA soil texture triangle through Atterberg limits and an alternative classification system. *Applied Clay Science*, 229, 106689. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106689>
- Morocho, J., & Pillajo, A. (2021). *Sistemas de gobierno comunitario en pueblos kichwas de la Sierra ecuatoriana*. Obtenido de Chakiñan: Revista de Ciencias Sociales, <https://doi.org/10.37135/chk.002.14.06>
- Mosquera, G. M., Lazo, P. X., Célleri, R., & Wilco. (2022). The role of páramo ecosystems in regulating Andean water resources. *Journal of Hydrology*, 610, 127902.
- Nachimuthu, G., Hundt, A., Palmer, B., Schwenke, G. D., & Knox, O. G. G. (2022). Cotton strip assay detects soil microbial degradation differences among crop rotation and tillage experiments on Vertisols. *Journal of Microbiological Methods*, 200, 106558. <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106558>
- Opcion19. (2024, diciembre 3). El pH del Suelo y del Agua en la Agricultura: Guía Completa para Agricultores Chilenos. *SOLEN | Equipos de Alta Precisión*. <https://www.solen.cl/el-ph-del-suelo-y-del-agua-en-la-agricultura-guia-completa-para-agricultores-chilenos/>
- Oyarzún, P., Borja, R., Sherwood, S., & Parra, V. (2022). grobiodiversidad y resiliencia climática en agroecosistemas andinos. *Agriculture and Human Values*, 39(2), 567-583.

- Paredes, M., & Sherwood, S. (2021). Agroecología campesina en los Andes: Prácticas tradicionales y sostenibilidad. *Revista Latinoamericana de Estudios Rurales*, 6(11), 1-28.
- Pereira, C., Maycotte, C., Restrepo, B., y Calle, A. (2011). Edafología 1. Espacio Gráfico Comunicaciones S.A.:
<https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf>
- Pinos, D. (2022). Calidad del suelo a partir de indicadores físicos y químicos aplicado a tres usos de suelo para la generación de propuestas de gestión por impactos en el suelo. Universidad Politécnica Salesiana:
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21860/1/UPS-CT009562.pdf>
- Pinto, L., y Martínez, C. (2022). Tipología y mecanismos de erosión en ecosistemas de alta montaña. *Geomorfología Andina*, 11(1), 67-89.
- Poonia, T., Choudhary, M., Kakraliya, M., Dixit, B., y Jat, H. (2024). The influence of soil types and agricultural management practices on soil chemical properties and microbial dynamics. *Front. Sustain. Food Syst*, 8(1412198).
<https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1412198>
- Ramírez-Villegas, J. M. (2021). *Climate change impacts on agricultural productivity in the Andes*. Obtenido de *Regional Environmental Change*, 21(2), 45. :
<https://doi.org/10.1007/s10113-021-01753-8>
- Ramos, D. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.
- Raudes, M., & Sagastume, N. (2009). *CONSERVACION DE SUELOS*. 76.
- Rodríguez, A. (2022). Evaluación de la calidad del suelo en el sistema productivo de Pitahaya en el Cantón Palora, Provincia de Morona Santiago. Escuela Superior de Chimborazo:
<https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/132b6de7-544e-45cb-a219-2d29f0a3287b/content>
- Rumpel, C., Amiraslani, F., Koutika, L., Smith, P., & Whitehead, D. (2021). Soil carbon sequestration and climate change mitigation. *Soil Use and Management*, 37(2), 173–187.
- Salazar, C. &. (2022). Diagnóstico de agricultura familiar en Ecuador: Limitaciones y potencialidades. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Rural*, 14(1), 112-135.
- Salazar, J., Vélez, J., y Poveda, G. (2020). Sedimentación en reservorios andinos: causas, consecuencias y estrategias de manejo. I. *ingeniería de Recursos Naturales*, 15(1), 34-52.

- Schmalbach, R. (2020, abril 22). *EDUCACIÓN EN CONSERVACIÓN DE SUELOS – Bienvenido a IECA IBEROAMERICA – IECA IBEROAMERICA*.
<https://iecaiberoamerica.org/educacion-en-conservacion-de-suelos/>
- Su, H., Yang, Z., Liu, Z., Zhang, R., Wu, S., Li, Y., y Yao, H. (2024). Applicability of soil health assessment dominated by biological indicators in facility agriculture. *Science of The Total Environment*, 957(20), 177346.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177346>
- Suárez, A. J. C., Bazurto, E. E. F., González, R. R. V., & Camacho, E. J. A. (2024). Manejo y conservación de suelos en el Ecuador como medida de mitigación al cambio climático. *RECIMUNDO*, 8(2), 422-436.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(2\).abril.2024.422-436](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(2).abril.2024.422-436)
- Tapia, C., & Jiménez, D. (2021). *Sistemas de policultivo andino: Agrobiodiversidad y seguridad alimentaria*. Editorial INIAP.
- The Regional Office of FAO for Latin America and the Caribbean (RLC). (2021). *Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar*. 15.
- Tonneijck, F. H. (2021). Carbon stocks and dynamics in tropical alpine ecosystems. . *Global Change Biology*, 27(5), 1045–1061.
- Torres, A., y Ramírez, L. (2021). Consecuencias ambientales de la erosión acelerada en ecosistemas tropicales de montaña. *Ambiente y Desarrollo*, 25(48), 89-108.
- Torres, B., & Yépez, V. (2023). La chakra kichwa como modelo de agrobiodiversidad y soberanía alimentaria en la Amazonía ecuatoriana. *Revista Etnobiología*, 21(2), 45-63.
- Torres, V., Santillán, J., & Dobronski, J. (2022). Identidad cultural y territorialidad en nacionalidades indígenas del Ecuador. Tsafiqui. *Revista Científica en Ciencias Sociales*, 14(20), 45-62.
- US EPA, O. (2020, enero 23). *Source Water Protection Practices* [Overviews and Factsheets]. <https://www.epa.gov/sourcewaterprotection/source-water-protection-practices>
- Vaca, C. A. U. (2020). *COMPARACIÓN DE LA REPELENCIA AL AGUA DEL SUELO DE ZONAS AFECTADAS POR INCENDIOS FORESTALES, EN ANÁLISIS REALIZADOS IN SITU Y EN LABORATORIO*.
- Valladares, G. S. (2011). Vulnerabilidad de suelos frente a degradación. *Revista Ciência Agronômica*, 42, 39-50. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000100006>

- Vargas Diaz, R. E., Wilches Ortiz, W. A., Espitia Malagón, E. M., Vargas Diaz, R. E., Wilches Ortiz, W. A., & Espitia Malagón, E. M. (2022). Efecto del establecimiento de sistemas de rotación para el cultivo de la papa sobre las características químicas y físicas del suelo. *Siembra*, 9(2). <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4023>
- Villamil, M., Matus, F., y Silva, P. (2021). *Efecto de la pendiente en la pérdida de suelo y nutrientes en sistemas agrícolas de ladera*. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 81(3), 412-423. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0718-58392021000300412>
- Vuille, M. C. (2020). *Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes*. Obtenido de Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth-Science Reviews*, 176, 195-213. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.09.019>
- Zhang, L., Huang, Y., Rong, L., Duan, X., Zhang, R., Li, Y., & Guan, J. (2021). Effect of soil erosion depth on crop yield based on topsoil removal method: A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 41(5), 63. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00718-8>

