



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIA DE ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”

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

Autora:

Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra

Tutor:

Ortiz Bustamante Vladimir Marconi

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra, con cédula de ciudadanía N° 1728514561; declaro ser autora del presente proyecto de investigación **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”**, siendo el Ingeniero Ortiz Bustamante Vladimir Marconi PhD, 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, 7 de agosto del 2026

Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra
CC: 1728514561
ESTUDIANTE

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTORA

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **BARRIONUEVO CHASIPANTA PAOLA ALEXANDRA**, identificada con cédula de ciudadanía N° 1728514561 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 “**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE ZUMBAHUA Y CHUGCHILAN 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: octubre 2022- marzo 2022

Finalización de la carrera: abril 2026 – agosto 2026

Tutor: Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi PhD.

Tema: “**IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE 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 comuniquen, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

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

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

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 7 días del mes de agosto del 2026.

Paola Alexandra Barrionuevo Chasi-
panta

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:

“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE ZUMBAHUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”, de Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra, 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, 7 de agosto del 2026

Ing. Ortiz Bustamante Vladimir Marconi, PhD.

CC: 0502188451

DOCENTE TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad del 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: Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra con el título del Proyecto de Investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE 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, 7 de agosto del 2026

Dr. José Antonio Valencia, PhD.

CC: 0502524481.

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

CC: 0400689790

LECTOR 2 (MIEMBRO)

Ing. Cajas Cayo Eduardo Issac.

CC: 0502205164

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Primero quiero expresar mi más profundo agradecimiento a Dios, por darme la salud, sabiduría y la fortaleza para culminar esta importante etapa de mi vida.

Agradezco a mi familia, en especial a la mujer más valiente y luchadora María Barrionuevo mi madre, por siempre ofrecerme su amor incondicional, su apoyo constante por darme ese ejemplo de lucha, humildad, valor y perseverancia, por enseñarme que con esfuerzo y dedicación los sueños si se pueden alcanzar, gracia por siempre creer en mí y darme las herramientas para seguir adelante y no rendirme ante los desafíos y como no también agradecer a mi querido padre José Ortiz por ser un ejemplo de trabajo, humildad y fortaleza. A mi padre Juan Cárdenas por enseñarme que nada es imposible de alcanzar. Gracias por sus consejos, por el apoyo brindado en cada etapa de mi vida. Gracias a ustedes por ser una inspiración constante y por creer en mi incluso cuando el camino parecía difícil. Llevaré siempre los valores que me han inculcado y espero que este momento sea motivo de orgullo para ustedes.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la carrera de Ingeniería Ambiental por impartirme todos los conocimientos adquiridos durante esta etapa de mi vida, así como también a mi docente y director de tesis Ing. Vladimir Ortiz un infinito agradecimiento por compartir sus conocimientos, orientación y valiosos aportes durante esta investigación. Al igual un agradecimiento a cada uno de mis docentes que formaron parte de mi formación académica.

Finalmente agradezco a todas las personas e instituciones que colaboraron para la realización de esta investigación y a las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso.

Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra.

DEDICATORIA

A mi madre y mi padre por brindarme los consejos que me han servido hoy por hoy; por ayudarme a forjar mi carácter que me ha servido de mucho, por darme valores que siempre los llevaré, por sus palabras sinceras, fortaleza y amor incondicional.

A mi amado novio, Noel Bernal, por ser mi compañero, mi apoyo y mi inspiración. Gracias por acompañarme en este proceso y darme palabras de aliento en momentos de cansancio. Tú amor, comprensión y apoyo fueron un motor esencial para poder alcanzar esta meta y muchas más que vengan. Este logro también es para ti, porque tu presencia hizo que este camino sea más fácil y significativo, te amo.

Y de manera muy especial, dedico esta tesis a mi amada hija Cristel Quinatoa, quien ha sido mi mayor fortaleza e inspiración. Tu amor, tu sonrisa y tu existencia han sido la fuerza que me impulsó a seguir adelante incluso en los momentos más difíciles. Cada esfuerzo realizado para culminar esta etapa y este trabajo tiene como propósito brindarte un mejor futuro y demostrarte que con dedicación, disciplina y fe los sueños se hacen realidad. Espero que algún día este logro te inspire a perseguir tus sueños con la misma determinación. Te amo infinitamente y este triunfo también es tuyo.

Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AGROFORESTERÍA SUCESIONAL EN LAS PARROQUIAS DE ZUMBABUA Y CHUGCHILÁN PERTENECIENTES A LA PROVINCIA DE COTOPAXI”

Autor:
Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra

RESUMEN

La investigación titulada, Implementación de sistemas de agroforestería sucesional, se desarrolló en la parroquia Zumbabua, canton Pujilí, y la parroquia Chugchilán, canton Sigchos, pertenecientes a la provincia de Cotopaxi. Tuvo como objetivo general la implementación de sistemas de agroforestería sucesional orientada a la mejora del suelo. Para ello se plantearon como objetivos específicos: Implementar chacras agroforestales con base en una línea base biofísica, monitorear indicadores de salud del suelo de forma periódica y comparar los indicadores de salud del suelo obtenido antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional. La investigación se desarrolló bajo una metodología mixta, integrando métodos descriptivo, comparativo, cualitativo, cuantitativo y de campo. Se evaluaron indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo mediante la aplicación de técnicas como compactación, textura, estabilidad de agregados, retención de humedad, profundidad efectiva, temperatura, pH, materia orgánica y macrofauna del suelo. Los resultados evidenciaron que en Zumbabua la profundidad de penetración aumentó de 13,84 cm a 20,72 cm en la zona alta y de 10,62 cm a 19,40 cm en la zona baja. Asimismo, la estabilidad de agregados incrementó de 10,23 % a 14,08 % y de 8,11 % a 16,04 %, respectivamente. La retención de humedad aumentó de 13,25 % a 13,55 % en la zona alta y de 2,54 % a 6,14 % en la zona baja; además, la profundidad efectiva alcanzó 34,75 cm y el pH se mantuvo cercano a la neutralidad. En Chugchilán la retención de humedad aumentó de 9,52 % a 14,60 %, mientras los demás indicadores presentaron variaciones asociadas a las condiciones edáficas y al corto tiempo de evaluación. En conclusión, los sistemas de agroforestería sucesional favorecieron la recuperación inicial de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, constituyéndose en una alternativa sostenible para fortalecer los sistemas productivos y contribuir a la conservación de los recursos naturales en los ecosistemas altoandinos.

Palabras clave: altitud, biofísicos, especies, restauración, selección.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCE AND NATURAL RESOURCES

THEME: “IMPLEMENTATION OF SUCCESSIONAL AGROFORESTRY SYSTEMS IN THE PARISHES OF ZUMBABUA AND CHUGCHILÁN IN THE PROVINCE OF COTOPAXI.”

Author:
Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra

ABSTRACT

The research project titled “Implementation of Successional Agroforestry Systems” was conducted in the parish of Zumbabua, Pujilí canton, and the parish of Chugchilán, Sigchos canton, both located in the province of Cotopaxi. Its overall objective was the implementation of successional agroforestry systems aimed at soil improvement. To this end, the following specific objectives were established: to establish agroforestry plots based on a biophysical baseline; to periodically monitor soil health indicators; and to compare soil health indicators obtained before and after the implementation of the successional agroforestry systems. The research was conducted using a mixed-methods approach, integrating descriptive, comparative, qualitative, quantitative, and field methods. Physical, chemical, and biological soil indicators were evaluated using techniques such as soil compaction, texture, aggregate stability, moisture retention, effective depth, temperature, pH, organic matter, and soil macrofauna. . The results showed that in Zumbabua, the penetration depth increased from 13.84 cm to 20.72 cm in the upper zone and from 10.62 cm to 19.40 cm in the lower zone. Likewise, aggregate stability increased from 10.23% to 14.08% and from 8.11% to 16.04%, respectively. Moisture retention increased from 13.25% to 13.55% in the upper zone and from 2.54% to 6.14% in the lower zone; furthermore, the effective depth reached 34.75 cm, and the pH remained close to neutral. In Chugchilán, moisture retention increased from 9.52% to 14.60%, while the other indicators showed variations associated with soil conditions and the short evaluation period. In conclusion, successional agroforestry systems promoted the initial recovery of the soil’s physical, chemical, and biological properties, establishing themselves as a sustainable alternative for strengthening production systems and contributing to the conservation of natural resources in high Andean ecosystems.

KEYWORDS: Altitude, Biophysical properties, Species, Restoration, Selection.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCION.....	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	4
4.1 Beneficiarios directos	4
4.2 Beneficiarios indirectos	5
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	5
6. OBJETIVOS.....	6
6.1 Objetivo General.....	6
6.2 Objetivos Específicos	6
7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	7
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA.....	8
8.1 Antecedentes.....	8
8.2 Fundamentación Teórica.....	9
8.2.1 Territorio Altoandino	9

8.2.2	Suelos de los páramos	10
8.2.3	Funciones ecosistémicas del páramo.....	10
8.2.4	Regulación hídrica.....	10
8.2.5	Almacenamiento de carbono.....	11
8.2.6	Biodiversidad	11
8.2.7	Suelo.....	11
8.2.8	Tipos de Suelo.....	12
8.2.9	Triángulo textural del suelo.....	12
8.2.10	Degradación y erosión de suelos.....	13
8.2.11	Tipos de erosión	13
8.2.12	Tipos de degradación	14
8.2.13	Restauración de suelos	15
8.2.14	Métodos / técnicas de restauración y conservación de suelos.....	15
8.2.14.1	Cultivos de cobertura.....	15
8.2.14.2	Labranza de conservación y siembra directa.....	16
8.2.14.3	Rotación de cultivos	16
8.2.14.4	Eliminación permanente de abonos y pesticidas sintéticos.....	16
8.2.14.5	Conservación de los organismos del suelo.....	16
8.2.15	Técnicas de monitoreo de salud del suelo.....	17
8.2.15.1	Monitoreo físico	17
8.2.15.1.1	Textura del suelo.....	17
8.2.15.1.2	Compactación	17
8.2.15.1.3	Estructura	18
8.2.15.1.4	Infiltración	18
8.2.15.1.5	Retención de humedad.....	19
8.2.15.1.6	Profundidad efectiva	19
8.2.15.1.7	Temperatura	19

8.2.15.2	Monitoreo químico	19
8.2.15.2.1	pH del suelo	19
8.2.15.2.2	Materia orgánica	20
8.2.15.3	Monitoreo biológico	20
8.2.15.3.1	Macrofauna	20
8.2.15.4	Diagrama de Mulder	20
8.2.16	Agroforestería sucesional	21
8.2.16.1	Principios de la agroforestería sucesional	21
8.2.16.2	Beneficios principales.....	21
8.2.17	Implementación de chacras agroforestales.....	21
8.2.18	Cercas vivas.....	22
8.2.19	Zanjas de infiltración.....	24
8.3	Marco Legal.....	25
8.3.1	Constitución de la república del Ecuador (2008)	25
8.3.2	Código Orgánico del Ambiente (2017)	26
8.3.3	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua	26
8.3.4	Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria	28
8.3.5	Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo.....	28
9.	PREGUNTA CIENTÍFICA.....	29
10.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	29
11.	METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN	32
11.1.	Tipos de Investigación	33
11.1.1.	Investigación Descriptiva	33
11.1.2.	Investigación de campo	33
11.1.3.	Investigación bibliográfica	34
11.2.	Métodos de la Investigación.....	34
11.2.1.	Método Inductivo	34

11.2.2.	Método Deductivo	34
11.2.3.	Método Observación	35
11.2.4.	Método analítico	35
11.3.	Técnicas de monitoreo de los Indicadores de salud del suelo.....	35
11.3.1.	Textura del suelo (Método Sedimentación)	35
11.3.2.	Compactación del suelo.....	36
11.3.3.	Estructura del suelo (Test de estabilidad de Agregados).....	36
11.3.4	Retención de Humedad (método gravimétrico)	37
11.3.5	Profundidad efectiva	38
11.3.6	Temperatura y pH del suelo	38
11.3.7	Materia orgánica (Método Agua Oxigenada).....	38
11.3.8	Macrofauna del suelo	39
11.4.	Instrumentos	40
11.5.	Caracterización de las especies vegetales implementadas en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.....	40
11.6.	Distribución de las especies implementadas en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.....	50
12.	RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA	52
13.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
13.1	. Implementación de chacras agroforestales	53
13.2	. Monitoreo de los indicadores de salud del suelo	54
13.3	. Comparación de los indicadores de la salud del suelo antes y después de la implementación.	55
13.3.1.	Indicadores físicos del suelo.....	55
13.3.2.	Indicadores químicos del suelo.....	62
13.3.3.	Indicadores Biológicos del suelo	65
14.	CONCLUSIONES.....	66
15.	RECOMENDACIONES	67

16. REFERENCIAS	68
-----------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación</i>	5
Tabla 2 <i>Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.</i>	7
Tabla 3. <i>Coordenadas UTM de la parroquia Zumbahua, provincia de Cotopaxi.</i>	30
Tabla 4 <i>Coordenadas de mapa de ubicación de la comunidad de Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán</i>	31
Tabla 6 <i>Materia Orgánica (Método Agua oxigenada)</i>	39
Tabla 7 <i>Macrofauna en el suelo</i>	39
Tabla 8. <i>Caracterización de las especies vegetales sembradas</i>	42
Tabla 9 <i>Resultados obtenidos de la compactación del suelo antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.</i>	55
Tabla 10 <i>Resultados de la evaluación de la textura del suelo método de sedimentación.</i>	56
Tabla 11 <i>Resultados obtenidos de la estabilidad de agregados del suelo</i>	58
Tabla 12 <i>Resultados obtenidos de la retención de humedad del suelo</i>	59
Tabla 13 <i>Resultados obtenidos de la profundidad efectiva del suelo</i>	60
Tabla 14 <i>Resultados obtenidos de la temperatura del suelo</i>	61
Tabla 15 <i>Resultados obtenidos de la evaluación del pH del suelo</i>	62
Tabla 16 <i>Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas de la materia orgánica (Método de Agua Oxigenada)</i>	63
Tabla 17 <i>Resultados obtenidos de la evaluación de Macrofauna del suelo</i>	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Triangulo Textural del Suelo</i>	13
Figura 2 <i>Velocidad de infiltración del suelo</i>	18
Figura 3 <i>Ubicación del área de estudio en la parroquia Zumbahua</i>	30
Figura 4 <i>Ubicación del área de estudio de la parroquia Chugchilán.</i>	31
Figura 5 <i>Distribución de las especies implementadas en la parroquia de Zumbahua</i>	51
Figura 6 <i>Distribución de las especies implementadas en la parroquia Chugchilán comunidad de Guayama</i>	51

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto: “Implementación de sistemas de agroforestería sucesional en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la provincia de Cotopaxi”.

Fecha de inicio: abril 2026

Fecha de finalización: agosto 2026

Lugar de ejecución

Parroquia: Zumbahua – Chugchilán

Cantón: Pujilí

Provincia: Cotopaxi

Zona: 3

Institución: Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN).

Carrera que auspicia: Carrera de ingeniería Ambiental.

Nombres de quipo de Trabajo

Tutor de investigación: Ing. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante, PhD.

Lector 1 (presidente): Dr. José Antonio Valencia, PhD.

Lector 2: Ing. Oscar Rene Daza Guerra, Mg.

Lector 3: Ing. Cajas Cayo Eduardo Issac, Mg.

Estudiante: Barrionuevo Chasipanta Paola Alexandra.

Área de Conocimiento: Ambiente.

Línea de investigación: Análisis, conservación y aprovechamiento de la Biodiversidad Local

Sub líneas de investigación de la Carrera: Manejo y Conservación del Recurso Suelo

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

2. INTRODUCCIÓN

La degradación de los recursos naturales es uno de los principales y mayores desafíos para la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y la conservación de los ecosistemas en todo el mundo provocando la reducción de la calidad y la productividad económica del suelo. Factores como las actividades humanas, el cambio de uso del suelo, la expansión de la frontera agrícola y el cambio climático han acelerado la erosión, la pérdida de fertilidad de la tierra y la desaparición de la biodiversidad, poniendo en serio riesgo la calidad de los ecosistemas. Esta crisis es todavía más grave en las regiones montañosas, donde la inclinación del terreno y la fragilidad natural de sus suelos las vuelven sumamente vulnerables al desgaste (Stringer, 2017).

Es así que, los páramos son ecosistemas frágiles a los cambios ambientales, por lo que, entre las principales amenazas del páramo se pueden mencionar el cambio de uso de suelo por la agricultura y el cambio climático (Thompson & Troeh, 2021). Además, se ha verificado que el cambio de uso de suelo tiene impactos negativos en los ecosistemas del páramo, debido a la reducción del contenido de carbono, la compactación y degradación de los suelos (Calispa et al., 2023).

En la provincia de Cotopaxi, específicamente en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán, estas zonas enfrentan un evidente deterioro de sus suelos y de los recursos hídricos debido a la erosión, la pérdida progresiva de fertilidad de la tierra y la disminución de la vegetación ocasionadas por las prácticas agrícolas inadecuadas. Estas actividades inciden negativamente en la productividad agrícola, la seguridad hídrica y la sostenibilidad ambiental del territorio, afectando de manera directa a las comunidades locales cuya economía se sustenta principalmente en la agricultura familiar campesina y la ganadería extensiva (FAO, 2021; MAATE & Torres-Celi, 2023).

Frente a esta problemática, la agroforestería sucesional se ha convertido en una alternativa cada vez más importante para el cuidado y uso sostenible del territorio. Los sistemas de agroforestería sucesional buscan combinar especies forestales, arbustivas, medicinales y agrícolas, mediante principios ecológicos que ayudan a que el suelo se recupere poco a poco, a su vez estos incrementen la biodiversidad, potencian la recolección de nutrientes y hacen que los

sistemas productivos sean más resistentes ante la variabilidad del clima. Este enfoque aprovecha los procesos naturales de sucesión ecológica para que la restauración ambiental y la producción agrícola avance de la mano, generando beneficios ecológicos, sociales y económicos para las comunidades rurales (Young, 2017).

Esta investigación tubo como finalidad, evaluar los sistemas de agroforestería sucesional implementados en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán, a partir de la implementación de chacras agroforestales y mediante el monitoreo de forma periódica de los indicadores de salud del suelo, previo a esto se compararán los resultados obtenidos antes y después de la investigación. Con esta información se podrá conocer el efecto real de esta estrategia sobre la recuperación del suelo, además de generar evidencia científica que respalde prácticas de manejo sostenible adaptadas a las condiciones propias de los ecosistemas altoandinos.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La presente investigación desde el ámbito ambiental permitió implementar alternativas de producción sostenible que contribuyan a la recuperación de los suelos degradados y al fortalecimiento de la funcionalidad ecológica de los ecosistemas altoandinos de las parroquias de Zumbahua y Chugchilán de la provincia de Cotopaxi, dado que el ecosistema páramo desempeña un rol fundamental en la conservación del suelo, la regulación hídrica y la provisión de servicios ecosistémicos.

Todo lo expuesto, se consideró desde la fase de diagnóstico del proyecto, donde los resultados revelaron procesos de erosión, pérdida de materia orgánica, compactación del suelo y reducción de la capacidad de retención de humedad; todas estas condiciones restringen la productividad agrícola y afectan la conservación de los recursos naturales. Frente a esta problemática, la adopción de sistemas de agroforestería sucesional se consolida como una opción que combina especies agrícolas y forestales, con el objeto de impulsar la recuperación progresiva del suelo, enriquecer la biodiversidad y fomentar una gestión más sostenible del territorio.

En lo práctico, el estudio permitió evaluar el efecto de la implementación de los sistemas agroforestales sobre variables asociadas a la calidad del suelo, generando información útil

para mejorar las prácticas agrícolas desarrolladas por las comunidades locales. La incorporación de especies arbóreas nativas y cultivos proporciono el aumento de la cobertura vegetal, la introducción de materia orgánica, la disminución de procesos erosivos y la mejora de las características físicas y biológicas del suelo, lo que incidió en una mejor producción agrícola más resistente ante la variabilidad climática.

Las comunidades de Zumbahua y Chugchilán fueron los principales beneficiarios de la investigación, ya que sus sistemas productivos dependen directamente de la conservación del suelo y de los recursos naturales. De igual forma, los resultados prácticos serán aplicados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados, GAD parroquiales y municipales, instituciones públicas relacionadas con el desarrollo agropecuario y ambiental, y su competencia de fomento productivo, en organizaciones comunitarias y proyectos de cooperación enfocados en la restauración de los ecosistemas andinos y el fortalecimiento de la agricultura familiar.

Por último, esta investigación posee una profunda relevancia ambiental, social e institucional, debido a que aporta datos clave que respaldan el uso de la agroforestería sucesional como una estrategia real para recuperar el suelo y aprovechamiento de los recursos de forma sostenible, como lo determina la agenda 2030 y sus objetivos de desarrollo sostenible.

Además, la información obtenida se constituye en base bibliográfica de sustento para diseñar futuros programas de restauración ecológica, proteger los ecosistemas de páramo y, fundamentalmente, fortalecer la seguridad alimentaria de las comunidades altoandinas en Cotopaxi.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos serán 50 habitantes de la parroquia Zumbahua perteneciente al Cantón Pujilí y 60 habitantes de la comunidad de Guayama perteneciente a la parroquia de Chugchilán quienes en su mayoría dependen de los recursos naturales agua y suelo para el desarrollo diario de sus actividades domésticas, productivas y económicas.

4.2 Beneficiarios indirectos

En los beneficiarios indirectos se encuentran todos los habitantes de las parroquias vecinas y la organización vinculada al proyecto “Fundación Maquita Cushunchic” mismo que auspician el proyecto, quienes se benefician de la información obtenida.

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

Nota: La tabla contempla el número de beneficiarios del estudio planteado

Fuente: (Cofre Pilaguano, 2026).

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A nivel global, la degradación de los suelos representa uno de los principales problemas ambientales, donde más del 34% de los suelos terrestres han perdido su capacidad productiva por problemas como erosión, desertificación, compactación, pérdida de materia orgánica, reducción de la cobertura vegetal y en su gran mayoría por la contaminación afectando mayoritariamente a la seguridad alimentaria e hídrica de más de 3.200 millones de personas según informes de la ONU Y FAO (Eiso, 2022).

En el Ecuador la degradación del suelo está relacionada principalmente con el cambio de uso del suelo, la deforestación, el sobrepastoreo, los monocultivos y prácticas agrícolas poco sostenibles. La FAO señala que cerca del 50% de los suelos del país presenta procesos de degradación, con efectos importantes sobre la productividad agrícola y la economía rural. Por otro lado, un reporte periodístico nacional indica que alrededor del 47% de la superficie ecuatoriana está afectada por este fenómeno. Esto muestra que el problema es amplio y requiere acciones urgentes de conservación y manejo sostenible (FAO, 2021).

En la provincia de Cotopaxi en sus diferentes cantones, la degradación de los suelos, son ocasionados principalmente por la actividad humana causante de la deforestación, la agricultura intensiva, el pastoreo excesivo y el cambio climático, aspectos que a lo largo del tiempo han ido deteriorando los suelos. Los documentos provinciales muestran que la presión sobre el territorio, la sequía y el uso intensivo de la tierra han reducido la calidad del suelo en varios sectores lo que no solo presenta un problema ambiental, sino también social y económico (Ortiz Bustamante et al., 2023).

Las parroquias indígenas de Zumbahua y Chugchilán en las épocas de verano han enfrentado grandes cambios como la pérdida del suelo y carencias de agua esto se da por las diferentes actividades, una de ellas, las malas prácticas agrícolas, degradación del suelo, pastoreo excesivo entre otras actividades. Esta situación perjudica directamente a la pérdida de fertilidad del suelo, erosión y reducción de la productividad agrícola lo que puede afectar directamente a la seguridad alimentaria haciendo que esta no sea segura o estable para las comunidades cercanas.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivo General

- Implementación de sistemas de agroforestería sucesional en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la provincia de Cotopaxi.

6.2 Objetivos Específicos

- Implementar chacras agroforestales con base en una línea base biofísica.
- Monitorear indicadores de salud del suelo de forma periódica.
- Comparar los indicadores de salud del suelo obtenido antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMAS DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2

Actividades y sistemas de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVO	ACTIVIDAD	METODOLOGIA	RESULTADOS
Implementar chacras agroforestales con base en una línea base biofísica.	Se establecieron dos chacras de una hectárea cada una en las parroquias de Zumbahua y (Chugchilán) comunidad de Guayama con especies forestales, frutales, agrícolas y medicinales.	Implementación de chacras agroforestales conforme a los lineamientos técnicos establecidos por el proyecto Siguiendo los lineamientos establecidos por el proyecto Fincas Faro de la Fundación Maquita Cushunchic	Establecimiento de dos chacras de una hectárea cada una en las parroquias de Zumbahua y Chugchilá.
Monitorear indicadores de salud del suelo de forma periódica.	Evaluación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo antes y después de la implementación de las chacras agroforestales: compactación, textura, estabilidad de agregados, retención de humedad, profundidad efectiva, temperatura, pH, materia orgánica y macrofauna.	Muestreo de campo, aplicación de metodologías participativas para cada indicador, registro de datos, tabulación y análisis descriptivo y comparativo de los resultados obtenidos.	Obtención de datos de los indicadores de salud del suelo, antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.
Comparar los indicadores de salud del suelo obtenido antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.	Comparación de los resultados obtenidos antes y después de la implementación de sistemas de agroforestería sucesional para determinar el comportamiento de los indicadores de salud del suelo en las parroquias de Zumbahua y Guayama (Chugchilán).	Análisis comparativo de datos, cálculo de variaciones, interpretación técnica y discusión de resultados con base en la literatura científica.	Se evaluaron 9 indicadores de salud del suelo los cuales evidenciaron mejoras en los indicadores físicos, mientras que los químicos y biológicos presentaron respuestas diferentes, asociadas a las condiciones biofísicas y al tiempo de implementación de los sistemas agroforestales.

Nota: La siguiente tabla muestra las actividades que se realizaron en relación de los objetivos planteados.

Fuente: Elaboración propia.

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA TÉCNICA

8.1 Antecedentes

Condori et al.(2018) realizaron una investigación titulada “Sistemas agroforestales sucesional para la restauración de áreas degradadas en la comunidad de San Pedro del Zapallar, Municipio Monteagudo”, cuyo objetivo fue evaluar el crecimiento de plantas de naranjo y otros cultivos acompañantes dentro de sistemas agroforestales sucesional (SAFs) establecidos en suelos degradados mediante un diseño en núcleos con especies en sucesión vegetal. Su metodología consistió en el desarrollo experimental, donde se evaluaron 45 plantas, distribuidas en tres tratamientos con diferentes etapas de sucesión vegetal, considerando variables como altura, numero de hojas, estado sanitario y biomasa de las especies acompañantes. Sus resultados mostraron que el tratamiento sin núcleos alcanzo la mayor altura promedio en los cítricos llegando a medir 82,80 cm y también el mayor número de hojas 143 por planta, por otro lado, la Canavalita ensiformis especie acompañante fue la que mayor producción de biomasa produjo 6,10 kg en una superficie de 0,80 m². Con esto se concluyó que los sistemas de agroforestería sucesional favorecen a la restauración de áreas degradadas y recuperación del suelo.

Rosales et al.(2014) en su artículo titulado "Sistema agroforestal para el uso racional del suelo en el municipio San José de las Lajas, provincia Mayabeque" tuvo como objetivo evaluar la incidencia de un sistema agroforestal (SAF) como alternativa para el uso eficiente del suelo. El trabajo se llevó a cabo en tres fases: primero la caracterización edafológica del área de estudio, luego un diagnóstico integral de la finca y finalmente el establecimiento y evaluación de técnicas agroforestales orientadas al uso racional del suelo. Los resultados obtenidos permitieron identificar las principales limitaciones y potencialidades del área, facilitando la implementación de las técnicas agroforestales, concluyendo que los sistemas de agroforestería sucesional son una alternativa eficaz para la regeneración de los suelos y fortalecimiento de los sistemas productivos.

Moran merino (2023) en su investigación “ Sistemas agroforestales y restauración de paisajes andinos”, con el objetivo de analizar la producción científica sobre agroforestería en los Andes y su contribución a la restauración de los paisajes andinos, realizó un estudio cuantitativo basado en un enfoque bibliométrico donde se analizó 190 documentos indexados en

Scopus, publicaciones entre 1984 y 2023, los resultados mostraron un incremento progresivo del interés científico por la agroforestería en la región andina durante los últimos años, llegando a la conclusión de la relevancia de la agroforestería para la restauración de los paisajes andinos.

De acuerdo con Alexander,(2024), en su tesis “Beneficios de los servicios ecosistémicos que brinda la producción de cacao nacional bajo sistemas agroforestales sucesional (SAFs)” orientada a comparar los sistemas agroforestales sucesional con los monocultivos en términos de ahorro de agua y captura de carbono, utilizando enfoques cuantitativos y cualitativos esto con el propósito de evidenciar las ventajas de los SAFs en los monocultivos.

Añazco Romero y Fernández Gómez,(2026) en su artículo de investigación “ Fijación de carbono en sistemas agroforestales gestionados por pequeños productores de los Andes del Ecuador” con la finalidad de determinar las tasas de fijación de carbono en estos sistemas, menciona que se realizó una evaluación a cinco practicas agroforestales representativas de los Andes ecuatorianos, para cuantificar el contenido de carbono a partir de biomasa aérea de las especies foréstaes y el muestreo destructivo para las especies agrícolas y los pastos, teniendo como resultado que la mayor tasa de fijación de carbono fue de 87,13 Mg CO₂ ha⁻¹, registrada en el sistema silvopastoril de Eucalyptus globulus.

8.2 Fundamentación Teórica.

8.2.1 Territorio Altoandino

La presencia de la cordillera de los Andes a lo largo del país ha dado lugar a ecosistemas de montañas con características únicas, entre los cuales el páramo ocupa un lugar prioritario debido a su función reguladora dentro del equilibrio ambiental. El territorio Andino del Ecuador es uno de los sistemas territoriales con alta complejidad ambiental, la cual está determinada por procesos geológicos, climáticos y ecológicos que interactúan a diferentes escalas (Morocho & Chunchu, 2019).

Los suelos del altoandino son frágiles y están expuestos a una serie de amenazas las cuales pueden afectar negativamente la disponibilidad de servicios ecosistémicos como el

acceso al agua y la biodiversidad, lo que afecta directamente a las poblaciones humanas de comunidades y pueblos que residen cerca (Bonilla, 2024).

8.2.2 Suelos de los páramos

Los páramos ecuatorianos representan uno de los ambientes con mayor importancia ecológica del país debido a su elevada biodiversidad, capacidad de almacenamiento de carbono y su función en la regulación del ciclo hidrológico. En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional (Mena-Vásquez et al., 2023).

En el Ecuador, la formación de los suelos en los páramos está estrechamente relacionada con la actividad volcánica, debido a esto poseen una fertilidad potencial considerable, aunque su estabilidad depende en gran medida del mantenimiento de la cobertura vegetal natural (Camacho, 2014).

8.2.3 Funciones ecosistémicas del páramo

Las funciones ecosistémicas del páramo se originan en la interacción entre la vegetación, el suelo, el clima y la topografía, esta interacción hace posible la provisión de servicios ambientales indispensables para las poblaciones humanas y los sistemas productivos andinos.

8.2.4 Regulación hídrica

El sistema de regulación hídrica de los páramos, permite captar, almacenar y liberar agua de manera gradual, esto se debe a su cobertura natural, las cuales actúan como esponjas y absorben el agua de lluvia dando paso a la creación de acuíferos, lagunas, ríos etc. Garantizando así un suministro constante de agua incluso durante periodos de escasa precipitación (Mosquera et al., 2022).

No obstante, la capacidad reguladora de los páramos se ve afectada por los diferentes factores que afectan de forma directa a los suelos, como son la degradación, sobre pastoreo, actividades humanas y manejo inadecuado del territorio lo que favorece a la compactación del

suelo, el incremento de escorrentía superficial y la reducción de infiltración, lo que genera la provisión de este servicio ecosistémico (Lazo et al., 2019)

8.2.5 Almacenamiento de carbono

El suelo de paramo tiene la capacidad de acumular grandes cantidades de carbono, esto gracias a las bajas temperaturas que reducen la tasa de descomposición de la materia orgánica que se acumulan. Estos suelos prestan un servicio ecosistémico importante al regular el nivel de dióxido de carbono emitido a la atmosfera, ya que actúa como sumideros (Morales Matute et al., 2021).

Estos suelos también se han visto afectados debido a la conversión de coberturas naturales a sistemas agrícolas provocando una perdida rápida de carbono de la bio masa y la perdida de carbono del suelo esto ocasionado en la mayoría de los casos por la erosión y la mala labranza (Castañeda-Martín & Montes-Pulido, 2017).

8.2.6 Biodiversidad

El páramo se caracteriza por su amplia diversidad, ya que alberga numerosas especies de flora y fauna, de las cuales muchas de estas presentan un alto grado de endemismo y se distribuyen en diferentes pisos altitudinales, desempeñando un papel fundamental en la regulación hídrica, la conservación del suelo y el mantenimiento del equilibrio ecológico (Zapata Guzmán, 2021).

8.2.7 Suelo

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

8.2.8 Tipos de Suelo

Suelos Arenosos: Las partículas de arena son pequeños fragmentos de roca y, como tales, tienen poca o ninguna capacidad para suministrar nutrientes y retención de agua. Debido a su tamaño, la arena proporciona una alta permeabilidad al suelo, permitiendo que el agua y el aire se filtren fácilmente.

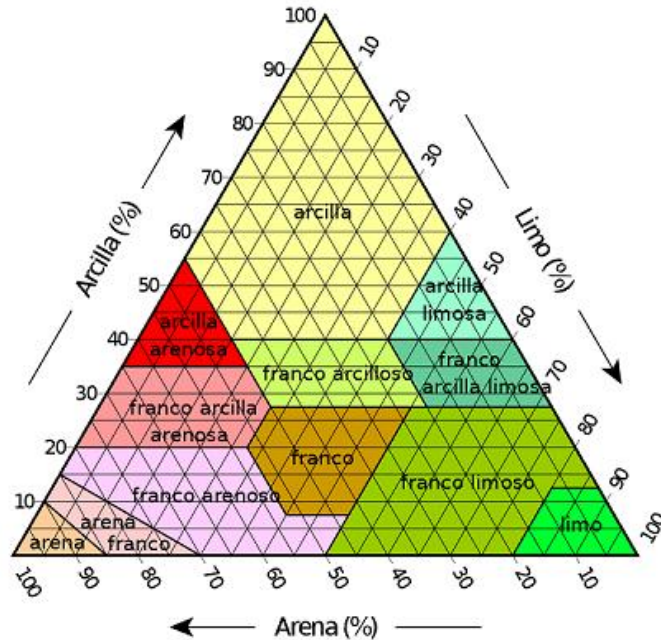
Suelos Limosos: Se caracteriza por tener partículas de tamaño intermedio, entre 0.002 y 0.05 milímetros, es suave y sedoso al tacto cuando está seco, y se vuelve resbaladizo al estar mojado. tienen una capacidad limitada para retener nutrientes vegetales o para liberarlos a la solución del suelo y que las plantas puedan absorberlos.

Suelos Arcillosos: Son pequeñas partículas aproximadamente de 0.002 milímetros. Son responsables de la retención de muchos nutrientes para las plantas, como el calcio, el magnesio, el potasio, los oligoelementos y parte del fósforo. Debido a su pequeño tamaño y gran superficie, las arcillas retienen mayor cantidad de agua que los suelos arenosos., pero también llegan a poseer grandes cantidades de nutrientes y agua lo que suele ser beneficioso para las plantas (Sheard, R. W., 2019).

8.2.9 Triángulo textural del suelo

El triángulo de clases texturales del suelo es un diagrama que se usa para determinar la clase textural de una muestra de suelo a partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla que esta contiene. Este diagrama permite ubicar la combinación de las tres partículas dentro de una clasificación estandarizada, establecida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la cual reconoce doce clases texturales, entre ellas arenoso, franco-arenoso, franco-arcilloso y arcilloso (López, 2019).

Figura 1
Triangulo Textural del Suelo



Nota: La siguiente figura muestra el triángulo de texturas del suelo.

Fuente: (Dewangan, 2023).

8.2.10 Degradación y erosión de suelos

Desde hace años atrás la degradación de los suelos viene afectando de manera notoria a la producción agrícola y ambiental. Esto se debe, en gran parte a la erosión del suelo, la cual ha provocado una disminución progresiva en el rendimiento de la tierra. Como consecuencia de esto muchos agricultores han sufrido pérdidas tanto agrícolas como económicas (Sánchez & Enriquez, 2021).

8.2.11 Tipos de erosión

Desde un punto de vista general, la erosión del suelo hace referencia a un daño en el suelo debido a la eliminación de partículas que lo componen, dentro de este grupo se destacan los siguientes tipos:

Erosión Hídrica: en este tipo el agua es el principal causante de erosión, debido a lluvia, inundaciones, mal aprovechamiento del riego, entre otros. Si el terreno está desnudo y se expone q lluvias intensas esta degradación puede agravarse con facilidad.

Erosión por viento: Las tormentas de polvo, y el viento en si provoca un movimiento de partículas ligeras que contiene el suelo, destruyéndose progresivamente las capas superiores del suelo, esto principalmente se produce en suelos áridos.

Erosión por temperatura: Al contar con partículas expuestas a la intemperie, la temperatura, calor, luz solar son factores que degradan el suelo por efectos de expansión y contracción de las partículas, lo que se desemboca en el transporte de partículas.

Erosión Gravitatoria: Este tipo se produce principalmente en zonas interandinas, debido a la pendiente y desprendimiento de las partículas, estas finalizan su transporte en zonas bajas.

Erosión Antropogénica: Este tipo de erosión se produce por las actividades humanas en la naturaleza, producida por actividades como la agricultura, la minería, entre otras actividades que incrementan la degradación de la capa superior del suelo (Arias Muñoz et al., 2023).

8.2.12 Tipos de degradación

Se conoce como degradación del suelo a la perdida de las características físicas, químicas y biológicas del suelo en base a causas naturales o por el hombre, por ejemplo, de esto es la erosión, la perdida de nutrientes, entre otros (Chasi Vizuite, 2025)De aquí que existen diferentes tipos de degradación del suelo como:

Biológica: Se considera cuando la actividad microbiana en tierras sin vegetación, lo que en consecuencia hace menos apto al suelo para el cultivo.

Química: Esta degradación se produce principalmente en suelos implementados en agricultura, debido a que se observa este problema en su mayoría en suelos donde se aplicaron

fertilizantes sintéticos y pesticidas, viéndose directamente afectados los microbios beneficiosos, humus, etc.

Ecológico: Producido principalmente por los cambios de temperatura debido al cambio climático, deforestación y pérdida de cubiertas vegetales en los ecosistemas, producto de este cambio el suelo empieza un proceso de erosión

Físico: Debido a cambios físicos como escorrentías superficiales, agricultura y paso de maquinaria pesada en repetidas ocasiones producen el agotamiento de la capa fértil del suelo, perjudicando a la fertilidad del suelo (Arias Muñoz et al., 2023)

8.2.13 Restauración de suelos

La restauración de suelos permite en primera instancia recuperar la salud del suelo, en conjunto con su estructura, composición y disminuir el impacto de la degradación del suelo por la erosión.

8.2.14 Métodos / técnicas de restauración y conservación de suelos

8.2.14.1 Cultivos de cobertura

En esta etapa se siembran plantas que mejorarán las características del suelo en un tiempo prudente. Las plantas que pertenecen a la categoría leguminosa, puesto que tienen una gran capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico en el suelo, al mismo tiempo que producen beneficios al suelo degradado como:

- Incremento de la biomasa vegetal del suelo
- Incremento de contenido de materia orgánica por desechos de propia planta y las raíces
- Evitan la impregnación de rayos del sol directamente sobre el suelo.
- Se evita la erosión progresiva, debido a que las raíces mantienen el suelo fijo.
- Se reduce la necesidad de implementar fertilizantes sintéticos, en base a que la planta aporta de nutrientes al suelo (González et al., 2024).

8.2.14.2 Labranza de conservación y siembra directa

Este método elimina al 100% la labranza del suelo, de forma tal que se realiza la siembra sobre los desechos de siembras anteriores con el objetivo de mantener el carbono retenido en el suelo, al mismo tiempo que se evita dejar el suelo totalmente desnudo en todo momento, de esta forma al entrar en contacto con agua se evita la remisión de partículas livianas que componen el suelo, finalmente el número de labranzas se ve reducido considerablemente y el suelo no queda desprotegido en ningún momento (Cherlinka, 2026).

8.2.14.3 Rotación de cultivos

Uno de los principales beneficios de la rotación de cultivos es el mejoramiento de las características del suelo en base a las especies que se siembran, puesto que al no sembrar la misma planta durante largos periodos de tiempo las plagas se ven radicalmente mitigadas. Para obtener un criterio para la elección de sembríos es necesario conocer sobre la situación climática del emplazamiento, siembras por temporadas sobre todo por precipitaciones y productividad de estas (Neuenkamp et al., 2024).

8.2.14.4 Eliminación permanente de abonos y pesticidas sintéticos

En este apartado, el control no químico es sumamente importante, es bien conocido que el control mediante abonos y pesticidas sintéticos es dañino para el medioambiente, en consecuencia, pueden ser implementadas opciones más biológicas como el uso de abono verde y animal, y pesticidas biológicos que puedan permitirle al suelo recuperarse y generar mejores cultivos (Saltos Cargua & Simbaña Pupiales, 2024).

8.2.14.5 Conservación de los organismos del suelo

Los organismos propios del suelo juegan un papel sumamente importante en la conservación de sus características, a raíz de la implementación de los pesticidas y fertilizantes sintéticos pueden verse sumamente afectados en base a la toxicidad que pueden generar en el suelo. Una alternativa de conservación por ejemplo es la fijación de nitrógeno en el suelo, en vista que es un elemento clave para los microorganismos que en él habitan, en vista que su

principal función es obtener nutrientes para las plantas, airear la tierra y crear nuevos drenajes en el cultivo (Carrasco J. et al., 2012).

8.2.15 Técnicas de monitoreo de salud del suelo

Dentro de los parámetros más importantes al momento de monitorear la salud del suelo existen pruebas de campo como la textura del suelo, compactación, estructura del suelo, infiltración de agua, retención de humedad, profundidad efectiva, temperatura del suelo, simultáneamente se realizan pruebas químicas como pH del suelo, materia orgánica, carbono activo, fósforo disponible, y a su vez indicadores biológicos como Microfauna del suelo, respiración del suelo, test del calcetín, e indicadores de cobertura y biodiversidad como cobertura vegetal, biomasa de cobertura, índice de Shannon, que pueden ayudar a evaluar su estado, estas se deben llevar a cabo dos veces al año durante la temporada seca, pero si esto no es posible debe llevarse a cabo una vez en el mismo periodo (De-La-Ossa-Puello et al., 2024).

8.2.15.1 Monitoreo físico

8.2.15.1.1 Textura del suelo

Relacionado directamente con el tamaño de las partículas que componen el suelo y su trabajabilidad, estos factores afectan directamente a la aireación, drenaje y principalmente a su estructura. Un parámetro clave en este estudio es la porosidad del suelo, y se ve directamente relacionada con la granulometría de este. Dentro de estos ensayos, los más importantes son: la prueba de lanzamiento de bola, prueba de compresión de bola, prueba de la bola de barro, sacudimiento de bola de barro, desmenuzamiento en seco, entre otras (Chasi Vizuite, 2025).

8.2.15.1.2 Compactación

Este factor mide la restricción de crecimiento que tienen las raíces, así como el movimiento de agua o aire, relacionado también con la porosidad del suelo, uno de los métodos más utilizados es la resistencia a la penetración, donde se implementan aparatos como el compactómetro, que mide la fuerza mínima necesaria para introducir una varilla con punta cónica en el suelo, y el parámetro clave a ser revisado es la densidad aparente del suelo (Antón et al., 2021).

8.2.15.1.3 Estructura

Este evalúa como se agrupan los agregados del suelo, principalmente se implementan métodos visuales para su evaluación, y básicamente durante su ensayo se deja caer un bloque de 20x20x20cm sobre una superficie firme y se observa cómo se disgrega, de esta forma se evalúan también los tamaños de las partículas inmiscuidas en la muestra, colores y porosidad (Hetz et al., 2025).

8.2.15.1.4 Infiltración

La infiltración mide directamente cual es la capacidad del suelo de permitir el paso del agua por sus estratos, este factor es dependiente del tipo de suelo, porosidad, humedad, y la materia orgánica contenida en su estructura como se muestra a continuación:

Figura 2
Velocidad de infiltración del suelo

Tipo de suelo	Velocidad de infiltración (cm/h)	Categoría
Compactado	Menor que 0.0038	Impermeable
Arcilloso, arcilloso limoso	0.0039 a 0.15	Muy lenta
Arcilloso, pobre en materia orgánica	0.16 a 0.51	Lenta
Franco arenoso y franco limoso	0.52 a 1.52	Moderadamente lenta
Arenoso profundo y franco limoso	1.53 a 5.08	Moderada
Limoso arenoso	5.09 a 15.24	Moderadamente rápida
Arenoso	15.25 a 50.8	Rápida
Muy arenoso	Mayor que 50.8	Muy rápida

Nota: Velocidades de infiltración del suelo, según sus características

Fuente: (Hernández & Sánchez-de-Prager, 2021).

Para realizar este ensayo es necesario tomar una muestra de suelo e introducirla en un cilindro de acero, de forma tal que este quede totalmente compactado y una vez esté listo, se procede a verter una cantidad de agua sobre la muestra, midiendo el tiempo y la cantidad de agua que logra cruzar la muestra (Luters & Salazar Lea Plaza, 1999).

8.2.15.1.5 Retención de humedad

Mide directamente cuánta agua se mantiene contenida en la muestra de suelo, el método más utilizado es el gravimétrico, donde se toma una muestra de suelo, se pesa y se coloca en un horno para eliminar la cantidad de agua, se vuelve a pesar la muestra y la diferencia entre estas muestras señala el peso de agua contenida (Caicedo-Rosero et al., 2021).

8.2.15.1.6 Profundidad efectiva

Este estudio permite determinar cuál es la profundidad máxima a la que se pueden encontrar raíces del cultivo, así como la capacidad de almacenar agua y nutrientes clave para el cultivo requerido. Muchas de las veces este factor se ve afectado por el tipo de suelo, como rocas, capas endurecidas, nivel freático, entre otros. Para realizar este ensayo es necesario realizar calicatas y observar la profundidad de las raíces, capas que limitan su crecimiento, de forma tal que la profundidad desde el nivel de la superficie hasta la primera capa limitante se conoce como profundidad efectiva (Cortés-Delgadillo et al., 2024).

8.2.15.1.7 Temperatura

Consiste en medir la temperatura del suelo y la del ambiente para conocer qué condiciones afectan al crecimiento de los cultivos, de esta forma se conoce la posible actividad microbiana presente en el suelo (Galindo Araque et al., 2017).

8.2.15.2 Monitoreo químico

8.2.15.2.1 pH del suelo

Este factor mide el grado de acidez o alcalinidad del suelo para evaluar la cantidad de nutrientes y condiciones en las que el cultivo se está implantando. Dentro del ensayo como tal se deja secar una muestra de suelo y se retira la materia orgánica, se mezcla con agua destilada y se deja reposar de 15 a 30 min. Luego se introduce la tira reactiva pH y se registran los valores obtenidos (Jones et al., 2025)

8.2.15.2.2 Materia orgánica

En este parámetro se mide la fertilidad y calidad del suelo, el método más utilizado es el de Walkley-Black, donde el principal valor obtenido es el carbono orgánico presente en la muestra. Así mismo se deslindan valores que permiten interpretar la capacidad de retener agua, aportar nutrientes y por consiguiente el desarrollo de los cultivos (Luters & Salazar Lea Plaza, 1999).

8.2.15.3 Monitoreo biológico

8.2.15.3.1 Macrofauna

Consiste principalmente en recolectar una muestra de suelo y contar los organismos visibles, así se puede conocer la actividad biológica del suelo, así como la salud del mismo (Hernández & Sánchez-de-Prager, 2021).

8.2.15.4 Diagrama de Mulder

El Diagrama de Mulder, ilustra las complejas interacciones entre los diversos nutrientes esenciales para las plantas. Este diagrama visualiza cómo la presencia o deficiencia de un nutriente puede influir en la absorción y eficacia de otros, resaltando las relaciones de sinergia y antagonismo que existen entre ellos.

Este Diagrama representa once de los elementos más importantes en la nutrición vegetal y los relaciona entre sí de dos formas.

Relación de Antagonismo: Dos elementos o nutrientes unidos por una flecha de antagonismo representa que la presencia de un elemento en el suelo provoca que otro esté en una situación en el que la absorción de la planta se vea dificultada.

Relación de Sinergia: Dos elementos o nutrientes unidos por una flecha de sinergia indica que la presencia de un elemento facilita que la planta absorba con más facilidad otro elemento (Rey, 2019).

8.2.16 Agroforestería sucesional

Este sistema busca imitar la sucesión natural de los ecosistemas, combinando especies vegetales de distinto tamaño, edad y funciones en el entorno, lo que hace especial a este método es el manejo de continuo de podas al mismo tiempo que se elimina la necesidad de depender de fertilizantes y pesticidas sintéticos (Luters & Salazar Lea Plaza, 1999).

8.2.16.1 Principios de la agroforestería sucesional

- **Imitación de la naturaleza:** Replica el proceso de la naturaleza, desde la introducción de especies de un ecosistema naciente hasta un bosque maduro.
- **Incremento en la diversidad y densidad de plantas:** Existe una convivencia de distintas especies vegetales con distintas funciones y productos.
- **Manejo de podas frecuentes:** Las podas en cualquier instante generan desechos que vuelven al suelo, de manera que generan fertilizantes naturales que reciclan los nutrientes de las plantas.
- **Sin insumos externos:** El más grande beneficio de este ecosistema es la eliminación de la necesidad de fertilizantes y pesticidas sintéticos que atentan contra los organismos vivos.

8.2.16.2 Beneficios principales

- Incremento del almacenamiento de carbono en las biomásas presentes en el entorno
- Incrementa la fertilidad del suelo debido a los residuos de poda y materia orgánica
- Favorece a la biodiversidad
- Elimina la necesidad de fertilizantes e insumos químicos
- Mejora la producción agrícola sostenible y mitiga el cambio climático

8.2.17 Implementación de chacras agroforestales

Las chacras agroforestales buscan imitar el comportamiento del bosque natural, de forma que combina la presencia de especies vegetales forestales y medicinales, añadiendo los beneficios de las cosechas para sus ocupantes (Vargas Delgado, 2023). Los aspectos más importantes a tomar en cuenta para su implementación son:

1. **Selección del sitio:** Debe contener condiciones de buen suelo y disponibilidad de agua en ciertos casos se utilizan áreas ya intervenidas para evitar la deforestación de áreas vírgenes.
2. **Diseño del sistema:** En la planificación de las especies a implantar es importante tomar en cuenta la altura y tamaño de cada planta, para que todas tengan acceso a luz, así como cada requerimiento de cada cultivo, temporadas de producción, compatibilidad entre especies, etc. (Rodríguez Condori et al., 2025).
3. **Selección de especies:** en la mayoría de los casos, se combinan cultivos principales (arbóreos), frutales, forestales y medicinales, así, se reducen los riesgos económicos y ecológicos, además de que la producción se maximiza.
4. **Establecimiento:** Dentro de este parámetro se plantan primero las especies de rápido crecimiento, luego cultivos permanentes y finalmente los árboles.
5. **Manejo y mantenimiento:** La poda y el control manual de malezas protagonizan el mantenimiento del ecosistema, a la par que es importante generar un monitoreo de plagas mediante practicas ecológicas.

Beneficios de las chacras agroforestales

- Reduce la erosión
- No reduce la fertilidad del suelo
- Mitiga el cambio climático al encapsular el carbono
- Genera multi productos para el productor
- Disminuye el consumo de abonos y pesticidas sintéticos
- Existe disponibilidad de alimentos durante todo el año.

8.2.18 Cercas vivas

Las cercas vivas son una técnica agroforestal que consiste en sembrar hileras de árboles, arbustos u otras especies leñosas alrededor o dentro de una finca, con el fin de delimitar

los terrenos, proteger los cultivos y sustituir las cercas convencionales de madera muerta, combinados con alambre de púas, a comparación de estas últimas, las cercas vivas se integran a un sistema vivo y dinámico, en el que la vegetación cumple funciones activas de protección ambiental y conservación de los recursos naturales, generando así beneficios que van mucho más allá de la simple delimitación de espacios.

Dentro de la agroforestería sucesional, las cercas vivas cumplen un rol fundamental, pues facilitan la recuperación y el sostenimiento de los procesos ecológicos propios del ecosistema, adicional a esto su sistema radicular contribuye a frenar la erosión del suelo, mejora la infiltración de agua y ayuda a conservar su fertilidad. Al mismo tiempo, su follaje y estructura ofrecen refugio y alimento a aves, insectos polinizadores y otras especies, lo que favorece el incremento de la biodiversidad y el equilibrio del entorno.

Otro de los beneficios latentes de las cercas vivas es que también genera beneficios productivos adicionales para los agricultores, como leña, madera, frutos, forraje y plantas medicinales, es así como esta doble función se considera una herramienta clave dentro de los sistemas agroforestales, capaz de armonizar la producción agrícola con la conservación de los recursos naturales y de fortalecer la resiliencia de los ecosistemas rurales (Morantes-Tolosa et al., 2018).

Tipos de cercas vivas

Las cercas vivas se pueden diferenciar en 5 tipos principales

- **Cercas vivas simples:** Están conformadas por una única especie de árbol o arbusto y se siembra en una sola línea, son empleadas principalmente para delimitar terrenos y servir de soporte a los alambres destinados al manejo del ganado, en base a su sencillez, son de fácil establecimiento y demandan un mantenimiento mínimo.
- **Cercas vivas multiestrato o diversificadas:** Combinan varias especies vegetales de distintas alturas. Además de cumplir la función de delimitación, contribuyen significativamente a incrementar la biodiversidad, mejorar la fertilidad del suelo y ofrecer una variedad de productos, como frutos y leña.

- **Cercas vivas forrajeras:** Se establecen con especies de alta producción de follaje destinadas a la alimentación animal, dentro de sus beneficios se tiene complementar la dieta del ganado, lo que se traduce en una reducción de los costos de alimentación.
- **Cercas vivas rompevientos:** Se conforman con especies de crecimiento denso, diseñadas para reducir la velocidad del viento en áreas altoandinas, al mismo tiempo que cumplen un papel protector frente a los daños mecánicos en los cultivos, disminuyen la erosión del suelo y favorecen la conservación de la humedad.
- **Cercas vivas de conservación o corredores biológicos:** Están orientadas principalmente a conectar fragmentos de vegetación y ofrecer refugio a la fauna silvestre, facilitando la dispersión de semillas, el desplazamiento de polinizadores y la conservación general de la biodiversidad dentro de los sistemas agroforestales (Morantes-Tolosa et al., 2018).

8.2.19 Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración son excavaciones de poca profundidad, trazadas generalmente siguiendo las curvas de nivel del terreno, la finalidad principal de estas zanjas es captar el agua de lluvia y retenerla temporalmente para favorecer su infiltración en el suelo, así mismo estas estructuras se emplean en la agricultura, la reforestación y los sistemas agroforestales como una estrategia eficaz de conservación de agua y suelo, particularmente en zonas de pendiente pronunciada o con problemas de escorrentía superficial.

Entre sus principales beneficios se destaca la disminución de la erosión del suelo y del riesgo de inundaciones, el incremento de la humedad disponible para los cultivos y el aporte a la recarga de los acuíferos subterráneos, al mismo tiempo que favorecen el desarrollo de la vegetación, mejoran la fertilidad del suelo y contribuyen a la recuperación y conservación (Cevallos Castro & León Aguilar, 2021).

8.3 Marco Legal.

8.3.1 Constitución de la república del Ecuador (2008)

La Constitución de la república del Ecuador reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la conservación de los ecosistemas y el uso sostenible de los recursos naturales. Además, establece que el Estado proveerá políticas orientadas a la protección ambiental y la preservación de la biodiversidad.

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 observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

Art. 406.- El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

8.3.2 Código Orgánico del Ambiente (2017)

El Código Orgánico del Ambiente establece las normas para la conservación, protección, restauración y uso sostenible del patrimonio natural del Ecuador. Asimismo, promueve acciones destinadas a revertir la degradación ambiental y fomentar prácticas que constituyan al manejo sostenible de los recursos naturales (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Artículo 4.- Disposiciones comunes. Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependientes, progresivos y no se excluyen entre sí (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Artículo 6.- Derechos de la naturaleza. Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

Artículo 9.- Principios ambientales. En concordancia con lo establecido en la Constitución y en los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los principios ambientales que contiene este Código constituyen los fundamentos conceptuales para todas las decisiones y actividades públicas o privadas de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en relación con la conservación, uso y manejo sostenible del ambiente (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

8.3.3 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua

Art. 12.- Protección, recuperación y conservación de fuentes. El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua y del manejo de páramos, así como la participación en el uso y administración de las fuentes de aguas que se hallen en sus tierras, sin perjuicio de las competencias generales de la Autoridad Única

del Agua de acuerdo con lo previsto en la Constitución y en esta Ley (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua, 2014 art,12).

Art. 63.- Almacenamiento de agua lluvia. Cualquier persona podrá almacenar agua lluvia en aljibes, cisternas, albarradas o en pequeños embalses, para fines domésticos y de riego para soberanía alimentaria, siempre que no perjudique a terceros y afecte a la cantidad y calidad que circule por los cauces públicos. La Autoridad Única del Agua establecerá los parámetros técnicos para definir el volumen de agua que puede almacenarse sin necesidad de autorización (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua, 2014, art. 63).

Art. 64.- Conservación del agua. La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;

b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;

c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;

d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación;

e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua, 2014, art. 64)

8.3.4 Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria

Art. 1.- Finalidad. - Esta Ley tiene por objeto establecer los mecanismos mediante los cuales el Estado cumpla con su obligación y objetivo estratégico de garantizar a las personas, comunidades y pueblos la autosuficiencia de alimentos sanos, nutritivos y culturalmente apropiados de forma permanente (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2009, art. 1).

Art. 6.- Acceso a la tierra. - El uso y acceso a la tierra deberá cumplir con la función social y ambiental. La función social de la tierra implica la generación de empleo, la redistribución equitativa de ingresos, la utilización productiva y sustentable de la tierra. La función ambiental de la tierra implica que ésta procure la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas; que permita la conservación y manejo integral de cuencas hidrográficas, áreas forestales, bosques, ecosistemas frágiles como humedales, páramos y manglares, que respete los derechos de la naturaleza y del buen vivir; y que contribuya al mantenimiento del entorno y del paisaje (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2009, art. 6).

Art. 9.- Investigación y extensión para la soberanía alimentaria. - El Estado asegurará y desarrollará la investigación científica y tecnológica en materia agroalimentaria, que tendrá por objeto mejorar la calidad nutricional de los alimentos, la productividad, la sanidad alimentaria, así como proteger y enriquecer la agrobiodiversidad (Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, 2009, art. 9).

8.3.5 Ley orgánica de ordenamiento territorial, uso y gestión del suelo

Art. 3.- Fines. – Orientar las políticas públicas relativas al ordenamiento territorial, desarrollo urbano, a la vivienda adecuada y digna; promover un uso eficiente, equitativo, racional y equilibrado del suelo urbano y rural a través de la definición de principios, directrices y lineamientos, y generar un hábitat seguro y saludable en todo el territorio. (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión Del Suelo, n.d.)

Art. 5. – Principios rectores. – Principio de sustentabilidad. La gestión de las competencias de ordenamiento territorial, gestión y uso del suelo promoverá el desarrollo sustentable, el manejo eficiente y racional de los recursos, y la calidad de vida de las futuras generaciones. (Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión Del Suelo, n.d.)

Art. 19.- Suelo rural. - El suelo rural es el destinado principalmente a actividades agro-productivas, extractivas o forestales, o el que por sus especiales características biofísicas o geográficas debe ser protegido o reservado para futuros usos urbanos.(Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión Del Suelo, n.d.)

Art. 27.- Plan de uso y gestión de suelo.- Además de lo establecido en el Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas, los planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos contendrán un plan de uso y gestión de suelo que incorporará los componentes estructurante y urbanístico.

Art. 28.- Componente estructurante del plan de uso y gestión de suelo.- Estará constituido por los contenidos de largo plazo que respondan a los objetivos de desarrollo y al modelo territorial deseado según lo establecido en el plan de desarrollo y ordenamiento territorial municipal o metropolitano, y las disposiciones correspondientes a otras escalas del ordenamiento territorial, asegurando la mejor utilización de las potencialidades del territorio en función de un desarrollo armónico, sustentable y sostenible, a partir de la determinación de la estructura urbano-rural y de la clasificación del suelo.

9. PREGUNTA CIENTÍFICA

¿La implementación de sistemas de agroforestería sucesional en Zumbahua y Chugchilán serán una alternativa para la reestructuración y mejora en la actividad productiva del suelo?

10. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se realizó en dos lugares de la provincia de Cotopaxi. La parroquia Zumbahua perteneciente al cantón Pujilí la cual se encuentra a una altitud que oscila entre los

3.508 y los 3.900 msnm (Zumbahua, s. f.) y la comunidad de Guayama de la parroquia Chugchilán, cantón Sigchos la cual se encuentra a una altitud de 3.226 a 3.327 msnm.

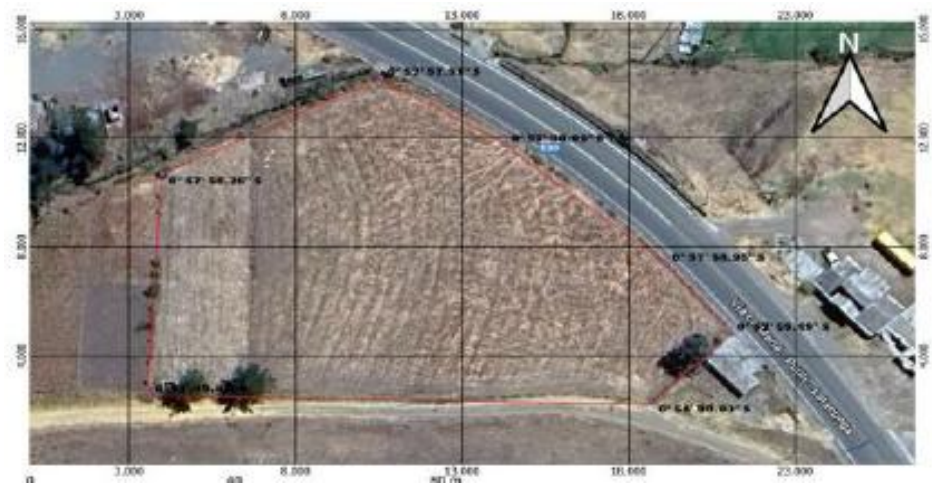
Por lo expuesto en la parroquia Zumbahua, corresponde;

Tabla 3.
Coordenadas UTM de la parroquia Zumbahua, provincia de Cotopaxi.

Coordenadas UTM de la parroquia Zumbahua, provincia de Cotopaxi	
X	Y
733745.00E	9893081.00N

Fuente: (Cofre Pilaguano, 2026).

Figura 3
Ubicación del área de estudio en la parroquia Zumbahua



Nota: Mapa de Ubicación de la Parroquia Zumbahua

Fuente: (Cofre Pilaguano, 2026).

La parroquia de Zumbahua, perteneciente al cantón Pujilí en la provincia de Cotopaxi, se ha convertido en un destino turístico muy visitado gracias a su mercado. Ahí se puede encontrar textiles, artesanías en lana hechas a mano y una gran variedad de productos agrícolas. El clima es frío, propio del páramo altoandino, con temperaturas que van entre los 8 y 16 °C dependiendo de la época del año. Cuando llega la temporada húmeda llueve bastante y la nubosidad es tan densa que se forma una neblina constante en el sector.

Los suelos son profundos, de origen volcánico y ricos en materia orgánica, pero al estar ubicados en terrenos con pendiente son bastante propensos a la erosión. A pesar de esto, en ellos se cultivan tubérculos, leguminosas, hortalizas y frutales andinos, además de plantas medicinales, y también se práctica el pastoreo, aunque de forma moderada(Cofre Pilaguano, 2026).

Mientras que para la parroquia Chuchilán:

Tabla 4
Coordenadas de mapa de ubicación de la comunidad de Guayama perteneciente a la parroquia Chugchilán

Coordenadas de mapa de ubicación de la comunidad de Guayama	
X	Y
731982.03E	9909315.335N

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4
Ubicación del área de estudio de la parroquia Chugchilán.



Nota: Ubicación del área de estudio de la parroquia Chugchilán.

Fuente: Elaboración propia.

Es así que, el sector denominado Guayama es una comunidad perteneciente a la parroquia Chugchilán del cantón Sigchos, esta presenta un clima frío a templado característico de la alta montaña, consecuencia directa de su altitud que varía entre los a 3.226 a 3.327 msnm. Por lo que, las temperaturas promedian entre los 8 y los 17 °C, dependiendo de la época del

año, y las precipitaciones anuales oscilan entre los 500 y los 1.200 mm, concentrándose mayoritariamente en la temporada húmeda, adicionalmente es importante mencionar que existe nubosidad alta y vientos de intensidad moderada(Cofre Pilaguano, 2026).

La zona está compuesta por suelos volcánicos que los vuelve sumamente fértiles, y al mismo tiempo frágiles debido a las pendientes del terreno natural. Se destinan sobre todo a la agricultura altoandina y, en menor medida, a la ganadería, tanto de bovinos como de ovinos, siendo estos últimos los de mayor presencia. Los cultivos de la zona, se destacan por su resistencia a las heladas y por su calidad orgánica que los caracteriza.

11. METODOLOGÍA DEL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuali-cuantitativo, en base a que la implementación de sistemas de agroforestería sucesional en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán requiere, por un lado, el análisis de datos numéricos y medibles, y por otro, la comprensión de aspectos contextuales que solo pueden abordarse desde una perspectiva cualitativa.

Desde el componente cuantitativo, se recogieron y analizaron datos relacionados con las variables del crecimiento, la supervivencia de las especies vegetales introducidas y los rendimientos productivos obtenidos. Es así como la información permitió establecer relaciones causales, al mismo tiempo que tiende a comparar resultados entre las dos zonas de estudio y validar, con base en evidencia numérica y finalmente, la efectividad del sistema agroforestal implementado.

Por otro lado, el enfoque cualitativo facilitó comprender el contexto socioambiental en el que se desarrolló la investigación, particularmente en lo referente a las prácticas agrícolas tradicionales de las comunidades investigadas, así mismo, aplicar y comparar el conocimiento que se ha manejado durante generaciones vinculado al manejo del suelo y los cultivos, también conocer la percepción de los productores frente a la incorporación de nuevas técnicas agroforestales.

Es así como la integración de ambos enfoques resulta pertinente, ya que las condiciones agroecológicas de Zumbahua y Chugchilán se diferencian por su altitud, clima y tipo de suelo. De esta manera no solo exigen mediciones precisas sobre el comportamiento de los sistemas agroforestales, sino también una lectura del entorno humano y cultural en el que estos se insertan, garantizando así resultados más completos y aplicables a la realidad de cada comunidad donde se vaya a replicar el estudio.

11.1. Tipos de Investigación

11.1.1. Investigación Descriptiva

El método descriptivo consistió en caracterizar las condiciones agroecológicas de las dos zonas de estudio, la parroquia Zumbahua y Chugchilán, como base para la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional. Al mismo tiempo, se compararon aspectos como la altitud, el clima frío de alta montaña y el régimen de precipitaciones concentrado en la temporada húmeda, así como indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, en las diferentes parcelas.

A esto se suma la descripción de los suelos, fértiles pero susceptibles a la erosión debido a sus pendientes prominentes, así mismo, en investigaciones previas se explicó que actualmente los territorios están destinados a cultivos tradicionales como tubérculos, leguminosas, hortalizas y frutales andinos, simultáneamente con una actividad ganadera moderada, es importante mencionar que este análisis de la zona de influencia constituye un aspecto clave para el diseño experimental, pues las diferencias climáticas y altitudinales entre Zumbahua y Chugchilán condicionan directamente la selección de especies y las técnicas de manejo del sistema agroforestal.

11.1.2. Investigación de campo

La investigación de campo permitió conocer las condiciones biofísicas de los lotes seleccionados, para realizar la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional y efectuar el monitoreo periódico de los indicadores de salud del suelo tales como su estructura, la compactación, el pH, la temperatura, la capacidad de retención de humedad, profundidad efectiva, el contenido de materia orgánica y la presencia de macrofauna, así como evidencias

de procesos de erosión. Mediante esto la información obtenida permitió evaluar los cambios en los indicadores de salud antes y después de la implementación de sistemas de agroforestería sucesional en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.

11.1.3. Investigación bibliográfica

La revisión bibliográfica aportó a recopilar, analizar y organizar información científica relacionada con los sistemas de agroforestería sucesional, la salud del suelo, características de los páramos, sus servicios ecosistémicos y factores que afectan al suelo como la degradación. Esto mediante información obtenida de artículos científicos, libros, tesis, documentos técnicos, información proveniente de organismos tanto nacionales como internacionales, lo que sirvió como base para la construcción del marco teórico, formulación del problema, el diseño metodológico y finalmente la interpretación de los resultados obtenidos.

11.2. Métodos de la Investigación

En el desarrollo de la investigación se empleó tanto el método deductivo como el inductivo, los cuales se complementan a lo largo del proceso investigativo y permiten abordar el problema de estudio desde una lógica que va de lo general a lo particular, y viceversa.

11.2.1. Método Inductivo

El método inductivo se aplicó durante la recolección y el análisis de la información obtenida directamente en campo, a través de la observación y el monitoreo periódico de los indicadores de salud del suelo antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional, así como el registro de datos sobre crecimiento, supervivencia y rendimiento de las especies vegetales.

11.2.2. Método Deductivo

El método deductivo se aplicó en la fase inicial durante la revisión de los fundamentos teóricos ya establecidos sobre la agroforestería sucesional, la salud del suelo, la restauración de ecosistemas, las asociaciones de especies vegetales y su comportamiento en condiciones de páramo y alta montaña. Es así como a partir de estos conocimientos previos, se definieron

criterios para la implementación de las chacras agroforestales, la selección de las especies e indicadores de salud del suelo.

11.2.3. Método Observación

El método de observación se aplicó durante las diferentes etapas del trabajo de campo, mediante los recorridos periódicos realizados por las zonas de estudio, con el propósito de realizar un reconocimiento directo del terreno y dar seguimiento al desarrollo de las especies forestales, frutales, medicinales y agrícolas establecidas dentro del sistema agroforestal sucesional al igual que el monitoreo de los diferentes indicadores de salud del suelo, verificando así cambios y contribuciones para la recuperación de la salud del suelo.

11.2.4. Método analítico

Se aplicó para la interpretación de la información recolectada en campo, referente a los indicadores de salud del suelo registrados tanto antes como después de la implementación de sistemas de agroforestería sucesional, para posteriormente realizar la comparación e interpretación de los resultados obtenidos y determinar de qué manera los sistemas de agroforestería sucesional contribuyeron a la recuperación de la salud del suelo en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.

11.3. Técnicas de monitoreo de los Indicadores de salud del suelo

11.3.1. Textura del suelo (Método Sedimentación)

Para la realización de este método se utilizó una técnica bastante conocida y fácil de realizar, se recogió muestras de suelo en dos puntos diferentes de la parcela, en la zona alta y otro en la zona baja, lo que permitió reconocer a simple vista la textura del suelo tras los siguientes pasos:

- a) Tomar una muestra de suelo de 0-20 cm de profundidad libre de piedras grandes o raíces.
- b) En un valde o botella transparente agregar 1/3 de la muestra de suelo.
- c) Agregar 2/3 de agua a la muestra.

- d) Agitar durante 1 a 2 minutos y dejar sedimentar por 24h.
- e) Medir las capas sedimentadas con una regla o cinta métrica.
- f) Compararlo con el triángulo de texturas del suelo.

11.3.2. Compactación del suelo

Esta técnica se realizó en diferentes puntos de las zonas, con ayuda de un machete el cual permitió identificar de forma practica el grado de resistencia del suelo con los siguientes pasos:

Seleccionar puntos representativos en cada parcela, insertar un cuchillo o machete de forma vertical sin ejercer mucha fuerza, luego de ello medir con una cinta métrica la profundidad alcanzada, posterior a ello registrar los datos y realizar su interpretación, si entra fácil sin requerir mucha fuerza los primeros 20 cm (un suelo no compactado), si requiere de fuerza (un suelo compactado).

11.3.3. Estructura del suelo (Test de estabilidad de Agregados)

Esta técnica nos permitió evaluar la resistencia de los agregados del suelo frente a la acción del agua, como un indicador del estado estructural del suelo. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

El investigador tomó una muestra de 70 gr de suelo seco al aire, romper terrones suavemente manteniendo agregados naturales, luego de ello tamizar la muestra seca con tamiz de 2 mm (malla #10). Descartar lo que pasa y quedarse con agregados de 2-8 mm y colocarlo en el tamiz de 250 µm (micrones) y sumergir en agua durante 5 minutos, realizar movimientos del tamiz verticalmente en el agua aproximadamente por 2 minutos, luego extraer el material que queda en tamiz y secarlo en horno o al sol.

El porcentaje de agregados se determinó mediante la siguiente formula:

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

Este indicador se evaluó antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional, con el fin de determinar los cambios en la estabilidad estructural del suelo y su influencia sobre la salud del suelo.

11.3.4 Retención de Humedad (método gravimétrico)

La retención de humedad del suelo se determinó a través del método gravimétrico, el cual nos permitió evaluar los cambios en la capacidad del suelo para retener humedad (Bejar et al., 2020).

Para lo cual el investigador tomo una muestra de suelo fresco (recién excavado) en recipiente hermético, la cual fue pesada húmeda inmediatamente (anotar peso), posteriormente esta se secó al sol en una bandeja durante 48-72 horas, removerlo diariamente, para en estado seco volver a pesarla y así calcular el % de humedad.

El porcentaje de humedad se calculó mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

- **Peso húmedo:** Peso de la muestra de suelo recién tomada.
- **Peso Seco:** Peso seco de la misma muestra recogida inicialmente, completamente seca.
- **Multiplcado por 100:** Convertir el valor en porcentaje para su comparación e interpretación.

Esta fórmula permite calcular el contenido de humedad del suelo expresado en el porcentaje representando la cantidad de agua presente en la masa del suelo.

11.3.5 Profundidad efectiva

Corresponde al espesor del suelo que en su mayoría, puede ser aprovechado por las raíces de las plantas antes de toparse con un límite físico ya sean rocas, suelo más compactados o una capa endurecida (Zhang et al., 2021).

Por ello, se seleccionó 5 puntos representativos en la parcela, donde con ayuda de una barreta se penetra de forma vertical en el suelo húmedo hasta encontrar resistencia, después de ello se procedió a medir la profundidad alcanzada en la barreta, y posterior a ello la información obtenida se calculó el promedio de todos los puntos.

Esta técnica permitió identificar los cambios en la profundidad del suelo antes y después de la implantación.

11.3.6 Temperatura y pH del suelo

La temperatura y el pH del suelo son parámetros edáficos fundamentales ya que influyen considerablemente en las actividades biológicas de los cultivos (opcion19, 2024).

- Hacer perforación de 10 cm con barreta o palo
- Introducir termómetro digital hasta 10 cm de profundidad
- Esperar 2-3 minutos para que se estabilice temperatura
- Leer y registrar la temperatura y pH

Esta técnica nos ayudó a evaluar los cambios ocurridos antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.

11.3.7 Materia orgánica (Método Agua Oxigenada)

Esta técnica se realizó mediante el siguiente procedimiento:

- Tomar 10 g de suelo seco tamizado (2mm) en vaso plástico
- Añadir 10 ml de agua oxigenada (H₂O₂) al 3% o 10 volúmenes

- Observar reacción: efervescencia indica presencia de materia orgánica

Tabla 5*Materia Orgánica (Método Agua oxigenada)*

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

Nota: La siguiente tabla muestra la interpretación de materia orgánica por el método de agua oxigenada.

Fuente: Elaboración propia.

11.3.8 Macrofauna del suelo

La macrofauna del suelo se evaluó mediante la observación directa en el campo, mediante los siguientes pasos:

- Marcar área cuadrada de 25 x 25 cm con banderas o estacas
- 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 familias.

Tabla 6*Macrofauna en el suelo*

Presencia de macrofauna	Interpretación
Alta	Alta actividad biológica y buena salud del suelo.
Media	Actividad biológica moderada y condiciones favorables para el funcionamiento del suelo.
Baja	Baja actividad biológica, asociada a procesos de degradación o escaso contenido de materia orgánica.

Nota: La siguiente tabla muestra la interpretación de la macrofauna del suelo.

Fuente: Elaboración propia.

11.4. Instrumentos

Para evaluar las propiedades físicas del suelo se usaron herramientas manuales como barreta, machete o cuchillo, cinta métrica, tamices metálicos de distintos diámetros, balanza digital portátil, botellas de plástico, fundas plásticas, con los cuales se determinó la compactación, la profundidad efectiva, estabilidad de agregados y macrofauna.

Para el componente químico se emplearon termómetros digitales de suelo, medidores portátiles de pH y reactivos básicos como el peróxido de hidrogeno al 3%, con el fin de estimar de forma semicuantitativa el contenido de materia orgánica.

Además, se usaron fichas técnicas de registro, cuadernos de campo y formatos de observación estructural para sistematizar toda la información recolectada durante las salidas de campo. Estos instrumentos resultaron ser fundamentales para la recolección de los datos.

11.5. Caracterización de las especies vegetales implementadas en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán

Las especies que constan en la siguiente tabla, son especies previamente definidas en el proyecto “FINCAS FARO”: Implementación Participativa de Sistemas Agroecológicos Regenerativos para la Conservación de Suelo y Agua en los Cantones Sigchos y Pujilí, Provincia de Cotopaxi, que tiene la Fundación Maquita Cushunchic, en base a compromisos internacionales de financiamiento, por lo que se planteó la siguiente propuesta, pese a que el investigador no comparte la cantidad, tipo y número de especies citados en el proyecto.

Sin embargo, al existir un compromiso nacional e internacional para la implementación de barreras con estas especies, Maquita se ve en la obligación de cumplir con las mismas y su implementación. donde el investigador considero todas las especies citadas a pesar de que no cumplan con características técnicas ni adaptables al entorno debido a sus condiciones taxonómicas, fenológicas de varias especies en relación a los pisos altitudinales en los cuales se implementaron las actividades y corresponden a ecosistemas propios del callejón interandino.

Dentro de la tabla, se muestran los aspectos principales como las especies vegetales que se sembraron, en conjunto con su fenología, método de siembra, metales que absorbe durante la vida de la planta y finalmente los beneficios que aporta cada una de ellas.

Tabla 7.
Caracterización de las especies vegetales sembradas

Especies Arbóreas				
Planta	Fenología	Método de siembra	Metales que absorbe	Beneficios que aporta al Ambiente
Pumamaki (<i>Oreopanax ecuadorensis</i>)	Árbol perenne; florece entre primavera y verano.	- Reproducción sexual: Semillas Con semillas maduras, se siembran en un sustrato húmedo y bien drenado a 1 a 2cm de profundidad, esta siembra debe ser superficial. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Plomo (Pb), Cadmio (Cd)	- Protección contra la erosión - Favorece la infiltración - Restauración de bosques andinos
Aliso (<i>Alnus acuminata</i>)	Caducifolio; florece y fructifica anualmente.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar superficialmente, 0.5 a 1cm, en sustrato húmedo y bien drenado, al germinar se trasplanta al sitio final donde se desarrollará la planta. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Cadmio (Cd), Zinc (Zn), Plomo (Pb)	- Fijación de nitrógeno - Mejoramiento de fertilidad del suelo - Estabilización de taludes
Acasia (<i>Acacia Mela-nuccilim.</i>)	Perenne; floración estacional.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Trasplante de plántulas	Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn)	- Control de erosión - Producción de biomasa - Mejoramiento de la salud del suelo
Azahar (<i>Murraya paniculata</i>)	Perenne de crecimiento rápido.	- Reproducción asexual: Esquejes Sembrar cada esqueje a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado con una medida de 1,30 m entre planta.	absorbe dióxido de carbono	- Mejora del suelo: Sus raíces profundas evitan la erosión y ayudan a retener la humedad - . Aporte de materia orgánica

			(CO ₂) de la atmósfera.	
Arrayán (<i>Myrcianthes hallii</i>)	Perenne; floración anual.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizarte y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Plomo (Pb), Zinc (Zn)	- Conservación de biodiversidad - Protección de fuentes de agua
Cucardas (<i>Hibiscus rosasinensis</i>)	Floración casi permanente en climas cálidos.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizarte y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Níquel (Ni).	- Encapsulamiento de contaminantes - Atracción de polinizadores
Cholan (<i>Tecoma stans</i>)	Perenne; florece varias veces al año.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizarte y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn)	- Capacidad de reforestación - Recuperación de suelos contaminados
Especies Florales				
Planta	Fenología	Método de siembra	Metales absorbidos	Beneficios
Geranios (<i>Pelargonium spp.</i>)	Planta perenne, con floración abundante durante gran parte	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Reproducción asexual: Esquejes	Plomo (Pb), Cadmio	- Atracción de polinizadores - Ayuda a la fitorremediación de suelos contaminados

	del año en climas templados y cálidos.	Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Reproducción por división de plantas Separar una planta adulta en varios grupos con raíces y replantarlos directamente en el suelo	(Cd), Zinc (Zn)	
Ojos de poeta (<i>Thunbergia alata</i>)	Planta trepadora perenne o anual según el clima; florece gran parte del año.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 0,5–1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni)	- Incrementa la cobertura vegetal - Control de erosión - Absorción de contaminantes del suelo
Retama (<i>Spartium junceum</i> o <i>Retama sphaerocarpa</i>)	Arbusto perenne con floración abundante en primavera y verano.	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en sustrato húmedo y bien drenado. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn)	- Fijación de nitrógeno - Mejoramiento de fertilidad del suelo - Control de erosión - Promoción de recuperación de áreas degradadas

Especies Medicinales

Planta	Fenología	Método de siembra	Metales absorbidos	Beneficios
Toronjil (<i>Melissa officinalis</i>)	Planta perenne; florece en primavera y verano	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 0,5–1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta. - Reproducción asexual: Esquejes	Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn)	- Mejora la digestión - Propiedades calmantes - Recuperación de suelos contaminados

		Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Reproducción por división de plantas Separar una planta adulta en varios grupos con raíces y replantarlos directamente en el suelo		
Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Planta perenne; florece en verano y principios de otoño	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 0,5–1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Reproducción por división de plantas Separar una planta adulta en varios grupos con raíces y replantarlos directamente en el suelo	Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn)	- Uso culinario - Propiedades antioxidantes - Estabilización del suelo
Tomillo (<i>Thymus vulgaris</i>)	Arbusto perenne de floración primaveral y estival	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 0,5–1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Níquel (Ni)	- Propiedades antisépticas y expectorantes - Favorece la biodiversidad - Atrae insectos polinizadores
Menta (<i>Mentha spp.</i>)	Planta perenne de crecimiento rápido; florece en verano	- Reproducción por estolones Separar un tallo rastrero con raíces y sembrarlo superficialmente en un sustrato húmedo. Reproducción asexual: Esquejes	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu)	- Mejora la calidad digestiva - Recupera la cobertura vegetal - Control de erosión

		Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizarte y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Reproducción por división de plantas Separar una planta adulta en varios grupos con raíces y replantarlos directamente en el suelo		
Hierba buena <i>(Mentha spicata)</i>	Planta perenne; florece durante el verano y otoño	- Reproducción por estolones Separar un tallo rastrero con raíces y sembrarlo superficialmente en un sustrato húmedo. - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizarte y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Reproducción por división de plantas Separar una planta adulta en varios grupos con raíces y replantarlos directamente en el suelo	Plomo (Pb), Zinc (Zn), Cobre (Cu)	- Mejora la calidad digestiva - Funciones antiinflamatorias - Mejora la cobertura del suelo - Atracción de polinizadores
Especies de hortalizas				
Planta	Fenología	Método de siembra	Metales absorbidos	Beneficios
Guagraba <i>(Cyclanthera pedata)</i>	Planta anual de crecimiento rápido; florece y fructifica entre primavera y verano	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 2 a 3 cm de profundidad en suelo húmedo y bien drenado, manteniendo riego constante hasta la germinación.	Plomo (Pb), Cadmio (Cd)	- Alimentación - Mejora la cobertura vegetal - Recuperación de suelos degradados
Acelga (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>cicla</i>)	Planta bienal cultivada como anual; cosecha entre 60 y 90 días después de la siembra.	Reproducción sexual: Semillas. Sembrar a 1–2 cm de profundidad; también puede trasplantarse cuando presenta de 4 a 6 hojas.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn)	- Alimentación. - Cobertura del suelo. - Disminuye la erosión superficial. - Favorece la conservación de la humedad.

Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	Planta anual; florece a finales del ciclo vege- tativo y pro- duce tubérculos	- Reproducción sexual: Semillas o tubérculos Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en suelo suelto y húmedo.	Cadmio (Cd), Zinc (Zn)	- Alimentación - Conservación de la biodiversidad
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Planta anual; florece entre 60 y 90 días des- pués de la siem- bra	- Reproducción sexual: Tubérculos Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en suelo suelto y húmedo.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Ar- sénico (As)	- Alimento - Mejora la cobertura del suelo
Cebolla Morada (<i>Allium cepa</i>)	Planta bienal cultivada como anual; florece al final de su ciclo	- Reproducción sexual: Semillas o bulbillos Sembrar las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en suelo suelto y húmedo, manteniendo riego frecuente hasta la germinación, posteriormente trasplantar al si- tio de emplazamiento.	Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Co- bre (Cu)	- Alimentación - Contribución a la diversificación del suelo
Chocho (Lupinus mutabilis)	Planta anual; ciclo de 6 a 8 meses. Legumi- nosa andina fi- jadora de nitró- geno.	Reproducción sexual: Semillas. Sembrar directa- mente a 3–5 cm de profundidad en suelo húmedo.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Ar- sénico (As)	- Alimentación. - Fijación biológica de nitrógeno. - Mejora la fertilidad del suelo. - Incrementa el contenido de mate- ria orgánica.
Col (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i>)	Planta bienal cultivada como anual; florece al final del ciclo	- Reproducción sexual: Semillas Siembra las semillas a 1 a 2 cm de profundidad en suelo suelto y húmedo, manteniendo riego frecuente hasta la germinación - Trasplante de plántulas Implantar la planta con todo su sustrato cuando al- cance 3 a 4cm o tenga de 4 a 6 hojas, colocando las raíces cubiertas con tierra y realizando un riego poste- rior para favorecer su adaptación	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Ní- quel (Ni)	- Alimentación - Cobertura del suelo
Especies frutales				

Planta	Fenología	Método de siembra	Metales absorbidos	Beneficios
Mora (<i>Rubus glaucus</i>)	Arbusto perenne; florece y fructifica varias veces al año, dependiendo del clima	- Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Trasplante de plántulas La mora debe trasplantarse cuando la planta tenga 20 a 30 cm de altura y un sistema radicular bien formado, posterior realizar un riego.	Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn)	- Alimentación - Control de erosión - Conservación del suelo
Uvilla (<i>Physalis peruviana</i>)	Planta perenne de vida corta; florece y fructifica durante gran parte del año	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 0,5 a 1 cm de profundidad, y regar constantemente - Trasplante de plántulas Sembrar las semillas a 0,5 a 1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Cobre (Cu)	- Alimentación - Diversificación agrícola - Contribución a la cobertura vegetal
Tomate de árbol (<i>Solanum beta-ceum</i>)	Arbusto perenne; inicia la producción entre 1 y 2 años después de la siembra y fructifica varias veces al año	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar las semillas a 1 a 2cm de profundidad, y regar constantemente - Reproducción asexual: Esquejes Cortar una rama semi leñosa de 15 a 20cm, retirar las hojas inferiores, aplicar enraizante y colocar en el suelo húmedo y bien drenado - Injertos	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn)	- Alimentación - Protección del suelo - Protección de biodiversidad
Frutilla (<i>Fragaria × ananassa</i>)	Planta herbácea perenne; inicia producción entre 4 y 6 meses	- Reproducción vegetativa: Estolones o plántulas provenientes de vivero. Se trasplantan en suelo húmedo con buen contenido de materia orgánica.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb)	- Producción de fruta. - Cobertura vegetal permanente. - Disminuye la pérdida de suelo por erosión.

	después del trasplante.			- Favorece la conservación de la humedad del suelo.
Claudia (<i>Prunus domestica</i>)	Árbol frutal caducifolio; inicia producción entre 3 y 5 años después de la siembra.	Reproducción vegetativa: Injerto o plantas de vivero. Se recomienda trasplantar plántulas con cepellón a hoyos previamente preparados.	Cadmio (Cd), Plomo (Pb)	- Producción de fruta. - Incrementa la cobertura arbórea. - Reduce la erosión del suelo. - Favorece el almacenamiento de carbono.
Aguacate guatemalteco (<i>Persea americana</i> var. <i>guatemalensis</i>)	Árbol perenne; florece anualmente y produce frutos una vez al año	- Reproducción sexual: Semillas Sembrar la semilla de aguacate a 2 a 3 cm de profundidad en suelo o sustrato húmedo, manteniendo riego moderado hasta su germinación - Trasplante de plántulas Sembrar las semillas a 0,5 a 1 cm de profundidad en un sustrato húmedo y bien drenado hasta su germinación, posteriormente se trasplanta al suelo donde se desarrollará la planta. - Injertos Sembrar las semillas a 0,5 a 1 cm de profundidad, y regar constantemente	Plomo (Pb), Cobre (Cu), Zinc (Zn)	- Producción de alimento. - Incrementa la cobertura arbórea. - Contribuye al almacenamiento de carbono. - Favorece la conservación del suelo y la reducción de la erosión. - Mejora el microclima y la biodiversidad del sistema agroforestal.

Nota: la tabla muestra la descripción de la planta, fenología, métodos de siembra, metales que absorbe la planta y los principales beneficios que ofrece cada especie vegetal.

Fuentes: (Guerrero Rosero & Prado Beltrán, 2023), (Sanchez Palacios et al., 2024), (Castro Calderón, 2024).

Para el establecimiento de las especies vegetales consideradas en el proyecto, se optó en su gran mayoría, por el trasplante de plántulas previamente desarrolladas, con el fin de garantizar un mayor porcentaje de supervivencia y adaptarse al tiempo de duración de esta fase experimental, de forma tal que esta estrategia permitió reducir los riesgos asociados a la germinación directa en campo y asegurar un establecimiento más rápido y uniforme de las especies, en consecuencia, las únicas especies sembradas directamente mediante semilla fueron papa, haba, chocho y mashua, dado que su forma de propagación tradicional y su ciclo de desarrollo permiten una siembra directa efectiva dentro del período establecido para el proyecto, todos estos factores tomados en cuenta también con los conversatorios mantenidos con habitantes de los sectores de implementación.

En cuanto a las especies arbóreas, estas se sembraron a una distancia de 4 m y 1.30 metros entre sí, de manera intercalada, bajo la finalidad de dejar el espacio suficiente para el desarrollo de las especies de menor porte, garantizando así que estas dispongan de espacio físico adecuado y de una mayor exposición a la luz solar, lo que resulta esencial para su correcto crecimiento y desarrollo, es importante tomar en cuenta que las plantas restantes se sembraron de forma tradicional, asegurando que todas tengan su espacio de desarrollo intacto.

11.6. Distribución de las especies implementadas en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán.

Con la finalidad de ayudar al recuperar la salud del suelo y fortalecer la diversidad vegetal de las dos parroquias, se realizó la implementación de sistemas de agroforestería sucesional, en donde en un mismo espacio se combinó especies forestales, frutales, medicinales y agrícolas que se adaptan bien a las condiciones de cada localidad. Para la distribución de las especies se tomó en cuenta su forma de crecimiento, la función que cumple dentro del ecosistema y que tan compatibles resultan entre sí, procurando así aprovechar al máximo el espacio, cubrir bien el suelo, promover procesos ecológicos como el reciclaje de nutrientes, reducción de los procesos de degradación del suelo y lograr una buena interacción entre los distintos niveles de vegetación.

En las figuras 5 y 6 se puede observar cómo quedaron distribuidas las especies en cada parroquia.

Figura 5

Distribución de las especies implementadas en la parroquia de Zumbahua



Nota: La siguiente figura muestra la distribución de las especies implementadas en la parroquia de Zumbahua.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Distribución de las especies implementadas en la parroquia Chugchilán comunidad de Guayama



Nota: La siguiente figura muestra la distribución de las especies implementadas en la parroquia de Chugchilán en la comunidad de Guayama.

Fuente: Elaboración propia.

12. RESPUESTA A LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿La implementación de sistemas de agroforestería sucesional en Zumbahua y Chugchilán serán una alternativa para la reestructuración y mejora en la actividad productiva del suelo?

Con base en los resultados obtenidos, de la implementación de sistemas de agroforestería sucesional realizados en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán se puede afirmar que estos sistemas constituyen una alternativa viable para favorecer la reestructuración del suelo y mejorar progresivamente su actividad productiva. Esto se evidenció mediante la evaluación comparativa de los indicadores físicos, químicos y biológicos antes y después del establecimiento de las chacras agroforestales, los cuales permitieron identificar cambios en las propiedades del suelo asociados a la implementación de estos sistemas.

Los indicadores físicos fueron los que mostraron respuestas más favorables, especialmente en Zumbahua, donde la compactación disminuyó, lo cual se reflejó en un aumento de la profundidad de penetración de 13,84 cm a 20,72 cm en la zona alta y de 10,62 cm a 19,40 cm en la zona baja. De igual forma, la estabilidad de agregados subió de 10,23 % a 14,08 % en la zona alta y de 8,11 % a 16,04 % en la zona baja, lo que indica una mayor estabilidad estructural del suelo. A esto se suma que la retención de humedad tuvo un comportamiento positivo, sobre todo en la zona baja, donde pasó de 2,54 % a 6,14 %, mientras que la profundidad efectiva llegó hasta 34,75 cm, favoreciendo así mejores condiciones para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de los cultivos.

En la parroquia de Guayama (Chugchilán), en cambio, los resultados fueron distintos. Si bien algunos indicadores físicos no siguieron la misma tendencia que en Zumbahua, la retención de humedad sí aumentó, pasando de 9,52 % a 14,60 % en la zona alta y de 4,31 % a 8,23 % en la zona baja, lo que demuestra que la cobertura vegetal empezó a contribuir con el almacenamiento de agua en el suelo. Sin embargo, indicadores como la compactación, la materia orgánica y la macrofauna presentaron cambios menos favorables, algo que puede explicarse por las características propias del suelo, las condiciones del páramo y el poco tiempo transcurrido entre la implementación y la evaluación final. En cuanto a las propiedades químicas, el pH se mantuvo dentro de rangos adecuados para el desarrollo de los cultivos en la mayoría de las áreas evaluadas, lo cual favoreció la disponibilidad de nutrientes. La textura del

suelo, por su parte, permitió notar condiciones diferentes entre ambas parroquias: en Zumbahua predominaron los suelos limosos y en Guayama los francos arenosos, características que influyeron directamente en la retención de humedad, la aireación y el comportamiento del resto de los indicadores. En lo que respecta a los indicadores biológicos, tanto la materia orgánica como la macrofauna mostraron apenas respuestas iniciales, lo que deja ver que los procesos biológicos necesitan más tiempo para consolidarse y reflejar cambios realmente significativos.

En conjunto, estos resultados demuestran que los sistemas de agroforestería sucesional comenzaron a mejorar las condiciones del suelo, sobre todo en sus propiedades físicas, favoreciendo una estructura más estable, una mayor capacidad de retener agua y mejores condiciones para la actividad agrícola. Por todo esto, implementar sistemas de agroforestería sucesional representa una alternativa técnicamente viable para contribuir a la reestructuración del suelo y al mejoramiento de la actividad productiva en los ecosistemas de páramo, ya que promueve un manejo más sostenible del suelo, fortalece sus funciones ecológicas y genera condiciones favorables para desarrollar sistemas productivos con menor impacto ambiental.

13. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De los resultados obtenidos, se ha considerado para una adecuada discusión distribuirla en:

13.1. Implementación de chacras agroforestales

De acuerdo con el primer objetivo específico con base en una línea base biofísica se realizó la implementación de las chacras agroforestales sucesionales en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán tomando en cuenta la información obtenida, con la cual se seleccionaron las especies vegetales y su distribución en cada una de las dos zonas. Por lo que, el establecimiento del sistema, se integró especies forestales, frutales, medicinales y agrícolas, destinadas a formar cercas vivas, barreras vegetales y producción de alimentos. Estas fueron pensadas para favorecer a la producción agrícola de los moradores y la conservación del suelo.

Mas aun cuando muchas aportan significativamente al mejoramiento de la calidad del suelo como lo establece las relaciones de sinergismo y antagonismo entre los nutrientes del Diagrama de Mulder, cómo un elemento que facilita o frena la absorción de otro en las plantas.

Lo cual tiene vigencia y se fortalece en su aplicación dentro de Zumbahua y Cugchilán, cuando estos sectores son influenciados directamente por volcanes y sus suelos tienen características propias de cenizas provenientes de erupciones del Quilotoa y Cotopaxi.

Gracias a este tipo de interpretaciones, podemos averiguar relaciones entre iones como la del calcio magnesio, magnesio potasio, potasio calcio, potasio magnesio, etc, en el suelo. Por lo cual estas relaciones se estabilizan por la capacidad de aporte de nutrientes a través de su biomasa y la absorción de elementos que generan sinergismos y antagonismos que inciden en el desarrollo de especies vegetales y forestales presentes en el proyecto.

Es así que, la distribución de las especies se realizó en estricto cumplimiento de los acuerdos de financiamiento internacional del proyecto, como su adaptación, el espaciamiento entre plantas, el desarrollo radicular y la función ecológica que cumple dentro del sistema, promoviendo así el aprovechamiento de los recursos disponibles tales como la protección del suelo, el reciclaje de nutrientes, la regulación de la humedad y la diversificación de la producción.

Este enfoque coincide con lo señalado por (Kandel et al., 2025) quienes indican que la distribución adecuada de las especies permite mejorar la estructura del sistema productivo, incrementar la biodiversidad y así optimizar el uso de los recursos mejorando la sostenibilidad de agroecosistemas a largo plazo. De igual manera, (Vinodhini S. M et al., 2023) indica que la selección y organización adecuada de las especies con diferentes funciones ecológicas mejoran la estabilidad del agroecosistema y fortalecen los procesos de conservación del suelo y la resiliencia frente a condiciones ambientales adversas con sinergismos y antagonismos antes explicados.

13.2. Monitoreo de los indicadores de salud del suelo

Según lo planteado en el objetivo específico 2, orientado al monitoreo periódico de los indicadores de salud del suelo, se evaluaron las propiedades físicas, químicas y biológicas de las chacras establecidas en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán. Para ello se monitorea-ron indicadores como la compactación, textura del suelo, estabilidad de agregados, retención de humedad, profundidad efectiva, temperatura, pH, materia orgánica y macrofauna del suelo.

La evaluación de estos indicadores permitió obtener información sobre las condiciones del suelo antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional, proporcionando una base técnica para el seguimiento de su comportamiento y posterior análisis de los cambios generados durante el periodo de estudio.

Esto concuerda con lo dicho por (Bunemann et al., 2018), evaluar estos indicadores en conjunto permite entender mejor la dinámica del suelo y facilita la toma de decisiones para mejorar su manejo y conservación. Por su parte, la FAO (2021) señala que darle seguimiento periódico a los indicadores edáficos resulta indispensable para saber que tan efectivas son las prácticas de manejo sostenible en ecosistemas frágiles.

13.3. Comparación de los indicadores de la salud del suelo antes y después de la implementación.

13.3.1. Indicadores físicos del suelo

Tabla 8

Resultados obtenidos de la compactación del suelo antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.

Parroquias / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	13,84 cm	20,72 cm	+6.88 cm (↓ compactación)
	Baja	10,62 cm	19,40 cm	+8.78 cm (↓ compactación)
Guayama (chugchilán)	Alta	27,04 cm	11,40 cm	-15.64 cm (↑ compactación aparente)
	Baja	21,38 cm	13,40 cm	-7.98 cm (↑ compactación aparente)

Nota: La tabla muestra los cambios obtenidos de la compactación del suelo tanto en la parroquia de Zumbahua y Chugchilan tras la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados en la tabla 9 muestran las diferencias de compactación del suelo entre las parroquias de Zumbahua y Chugchilán antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional.

En la parroquia Zumbahua, la zona alta registro un incremento de la profundidad de penetración de 13,84 cm a 20,72 cm, con una diferencia de 6,88 cm. En cambio, en la zona baja el valor aumento de 10,62 cm a 19, 40 cm, presentando un incremento de 8,78 cm. Estos resultados evidencian una disminución de la compactación del suelo, favoreciendo una mayor porosidad, mejorando la infiltración del agua y generando condiciones más adecuadas para el crecimiento del sistema radicular.

A diferencia de Zumbahua, en la comunidad de Guayama (Chugchilán) la profundidad de penetración disminuyo de 27,04 cm a 11,40 cm en la zona alta, registrando una diferencia de -15,64 cm de reducción, en cambio en la zona baja pasó de 21,38 cm a 13, 40 cm, con una disminución de -7,98 cm. Estos resultados muestran una mayor resistencia mecánica del suelo durante la evaluación final, dando paso a un incremento de la compactación esto puede ser debido a antecedentes por pisoteo de ganado y tránsito.

Estos resultados demuestran que la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional genero respuestas diferentes en la compactación del suelo entre las dos parroquias. Por lo que la disminución de la compactación observada en Zumbahua concuerda con lo señalado por (Rodríguez Condori et al., 2025), quienes indican que estos sistemas favorecen a la recuperación gradual de las propiedades físicas del suelo mediante el establecimiento de diferentes estratos vegetales, el desarrollo del sistema radicular y el incremento de biomasa.

En contraste con Guayama en la cual se registró un incremento en la resistencia mecánica del suelo después de la implementación, lo que puede estar relacionado con las condiciones edáficas del sitio, así como el corto periodo transcurrido entre la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional y el segundo monitoreo. En este sentido (Blanco-Canqui, 2022) menciona que los cambios en las propiedades físicas del suelo bajo sistemas agroforestales suelen evidenciarse de manera progresiva conforme aumenta el desarrollo radicular, la cobertura vegetal y el aporte de materia orgánica.

Tabla 9

Resultados de la evaluación de la textura del suelo método de sedimentación.

Parroquia / Comunidad	Clase tex- tural	Interpretación	Productividad
----------------------------------	-----------------------------	-----------------------	----------------------

Zumbahua	Suelo limoso	Según el triángulo textural, el suelo predomina el limo con un 80%, por lo cual retiene muy bien la humedad y es fértil para producción agrícola.	Buena facilidad de laboreo y desarrollo radicular.
Guayama (Chugchilán)	Suelo arenoso franco	Según el triángulo textural, el suelo predomina entre un 80% de arena, un 5% de arcilla y un 20% de limo.	Es adecuado para la siembra de diferentes productos agrícolas. Presenta buena aireación y drenaje rápido.

Nota: Textura del suelo de las parroquias de Zumbahua y Chugchilán según el triángulo de texturas del suelo, realizado por el método de sedimentación.

Fuente: Elaboración propia.

En Zumbahua se identificó una textura de suelo limosa, la cual se caracteriza por tener un alto predominio de partículas de limo en un 80%, que favorecen a la capacidad de retención de humedad. Estas características proporcionan condiciones adecuadas para el desarrollo de los cultivos establecidas en las chacras agroforestales, además facilita las labores de manejo y el crecimiento radicular. En Guayama, en cambio, se encontró una textura franco arenosa, con una composición aproximada de 80% arena, un 20% limo y 5 % de arcilla, según el método de sedimentación y su ubicación en el triángulo textural, lo que hace que este suelo sea más propenso a la reducción de retención de agua y nutrientes, pero por otra parte favorece a la aireación y drenaje del suelo. Estas diferencias en la textura dejan ver que ambas localidades tienen condiciones físicas distintas, algo que puede influir tanto en el comportamiento del agua y la disponibilidad de nutrientes como en el establecimiento de las especies dentro de los sistemas de agroforestería sucesional.

En Zumbahua predominó una textura limosa, lo cual favorece una mayor capacidad para retener humedad y disponer de nutrientes, características que terminan beneficiando el establecimiento de los sistemas agroforestales. Esto coincide con lo que reportan (Buriticá et al., 2025), quienes señalan que los suelos con mayor proporción de limo presentan mejores condiciones hidráulicas y favorecen el desarrollo de los cultivos bajo este tipo de sistemas.

A diferencia de Guayama en donde predominó una textura franco arenosa, que se caracteriza por una mayor aireación y un drenaje más rápido. Si bien este tipo de suelo retiene

menos agua, puede favorecer igualmente el desarrollo radicular cuando se implementan prácticas de manejo adecuadas. En esa línea, (Santos et al., 2023) concluyen que los sistemas agroforestales ayudan a mejorar poco a poco la calidad física del suelo gracias al aporte de materia orgánica y a la cobertura vegetal, mientras que (Ngaba et al., 2024) resaltan que estos sistemas incrementan la estabilidad estructural del suelo y favorecen su regulación hídrica en distintas condiciones agroecológicas.

Tabla 10
Resultados obtenidos de la estabilidad de agregados del suelo

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	10,23 %	14,08 %	Incremento de agregados estables
	Baja	8,11 %	16,04 %	Incremento de agregados estables
Guayama (Chugchilán)	Alta	17,62 %	20,08 %	Incremento de agregados estables
	Baja	14,47 %	9,08 %	Disminución de agregados estables

Nota: Los valores corresponden al porcentaje de agregados estables determinado mediante el test de agregados. Un mayor porcentaje indica una mejor estabilidad estructural del suelo y una mayor resistencia a la desintegración causada por el agua.

Fuente: Elaboración propia.

En la parroquia de Zumbahua, la zona alta muestra un incremento en la estabilidad de agregados con un 10,23% a 14,08 % de agregados. De igual manera en la zona baja paso de 8,11 % a 16,04 %, registrando un incremento del 97,8%. Estos resultados indican una promi- nente mejora en la estabilidad estructural del suelo, lo que favorece a una mayor resistencia de los agregados frente a la acción del agua y el riesgo de desintegración superficial.

En cambio, en la comunidad de Guayama parroquia Chugchilán, la zona alta presentó un incremento de 17,62 % a 20,08 %, demostrando una ligera mejora en la estabilidad de los agregados, sin embargo, en la zona baja el porcentaje disminuyo de 14,47 % a 9,08 %, lo que indica una menor resistencia estructural del suelo frente a la acción del agua. Estas diferencias evidencian que la respuesta estructural del suelo estuvo influenciada por las condiciones par- ticulares de cada sitio.

Es así que el incremento de la estabilidad de agregados que se observó en Zumbahua y en la zona alta de Guayama coincide con lo dicho por (Ngaba et al., 2024) quienes señalan que los sistemas agroforestales favorecen la formación y estabilidad de los agregados del suelo gracias al aporte de materia orgánica, la actividad de las raíces y la protección que brinda la cobertura vegetal. En contraste, la disminución que se registró en la zona baja de Guayama podría estar relacionada con las condiciones propias del terreno y con el poco tiempo que transcurrió entre la implementación y la evaluación. Al respecto, (Santos et al., 2023) mencionan que la recuperación de la estructura del suelo a través de sistemas agroforestales es un proceso gradual, cuya magnitud depende tanto de las características del suelo como del tiempo que lleva establecida la vegetación.

Tabla 11
Resultados obtenidos de la retención de humedad del suelo

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	13,25 %	13,55 %	Ligero incremento en la retención de humedad.
	Baja	2,54 %	6,14 %	Incremento en la retención de humedad.
Guayama (Chugchilán)	Alta	9,52 %	14,60 %	Incremento en la retención de humedad.
	Baja	4,31 %	8,23 %	Incremento en la retención de humedad.

Nota: La tabla presenta los porcentajes del contenido de humedad del suelo obtenidos antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional, determinados por el método gravimétrico.

Fuente: Elaboración propia.

En Zumbahua, la zona alta pasó de 13,25 % a 13,55 % presentando un ligero incremento del 2,3 %, por el contrario, en la zona baja el contenido de humedad aumento de un 2,54 % a un 6,14 %, reportando un cambio representativo en esta zona. En la comunidad de Guayama también se observaron incrementos. La zona alta pasó de 9,52 % a 14,60 %, mientras que la zona baja aumentó de 4,31 % a 8,23 %. Estos resultados reflejan una mayor capacidad del suelo para conservar agua después del establecimiento de las chacras agroforestales. La presencia de cobertura vegetal y la protección de la superficie del suelo favorecen la disminución de las pérdidas de humedad por evaporación y contribuyen a mantener condiciones más adecuadas para el desarrollo de las especies establecidas.

El incremento en la retención de humedad coincide con lo que reportan (Buriticá et al., 2025), quienes indican que los sistemas agroforestales mejoran las propiedades hidráulicas del suelo a través del desarrollo radicular, la cobertura vegetal y el aporte constante de materia orgánica, lo que favorece una mayor disponibilidad de agua para los cultivos.

De forma similar, (Ngaba et al., 2024) señalan que incorporar árboles dentro de los sistemas agroforestales incrementa la capacidad del suelo para almacenar agua y mejora su funcionamiento hidrológico. Estos resultados respaldan lo observado en ambas parroquias, donde la implementación del sistema agroforestal empezó a favorecer la retención de humedad, aspecto que resulta fundamental tanto para conservar la calidad del suelo como para el establecimiento de las especies vegetales.

Tabla 12
Resultados obtenidos de la profundidad efectiva del suelo

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	22,04 cm	34,75 cm	Incremento de la profundidad efectiva.
	Baja	18,68 cm	29,10 cm	Incremento de la profundidad efectiva.
Guayama (Chugchilán)	Alta	44,46 cm	35,78 cm	Disminución de la profundidad efectiva.
	Baja	43,28 cm	35,76 cm	Disminución de la profundidad efectiva.

Nota: Resultados de la evaluación de la profundidad efectiva del suelo antes y después de la implementación. Una mayor profundidad efectiva representa un mayor volumen de suelo disponible para el desarrollo radicular y el aprovechamiento de agua y nutrientes.

Fuente: Elaboración propia.

La profundidad efectiva presentó comportamientos diferentes en ambas parroquias.

En Zumbahua, la zona alta aumentó de 22,04 cm a 34,75 cm. En la zona baja, la profundidad pasó de 18,68 cm a 29,10 cm. Estos datos evidencian una mayor capacidad del suelo para el desarrollo radicular. Lo cual es coherente con la des compactación observada y sugiere que las raíces de las especies pioneras ya están rompiendo capas duras superficiales lo es señal de una mejora más clara de toda la parcela. En Chugchilán ocurrió un comportamiento distinto. La zona alta disminuyó de 44,46 cm a 35,78 cm, con una reducción de 8,68 cm, mientras que la zona baja pasó de 43,28 cm a 35,76 cm, equivalente a una disminución de 7,52 cm. Aunque

estos valores descendieron de la categoría buena a moderada siguen manteniendo una profundidad suficiente para el establecimiento y desarrollo de las especies implementadas.

Según (Rolo et al., 2023) señalan que los sistemas agroforestales ayudan a aprovechar mejor el perfil del suelo, ya que favorecen el desarrollo de sistemas radiculares más profundos y complementarios entre sí, lo cual mejora la exploración de los recursos del suelo y hace que el sistema sea más resistente frente al estrés hídrico.

Las diferencias que se registraron entre Zumbahua y Guayama pueden deberse a las condiciones propias del terreno y a la resistencia que se fue encontrando durante la medición. (Bai et al., 2023) indican que la profundidad del suelo y la presencia de limitantes físicas condicionan el crecimiento de las raíces y el establecimiento de las especies arbóreas, por lo que es de esperarse que este indicador varíe entre sitios con características de suelo diferentes.

Tabla 13
Resultados obtenidos de la temperatura del suelo

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	22,8 °C	21,4 °C	Disminución de la temperatura del suelo, favoreciendo una mayor estabilidad térmica.
	Baja	23,0 °C	24,6 °C	Incremento de la temperatura del suelo, asociado a una mayor exposición superficial.
Guayama (Chugchilán)	Alta	19,8 °C	20,0 °C	Temperatura del suelo estable, con variación mínima entre evaluaciones.
	Baja	18,6 °C	22,0 °C	Incremento de la temperatura del suelo durante la segunda evaluación.

Nota: La tabla presenta los valores de temperatura del suelo antes y después de la implementación de los sistemas agroforestales en las parroquias Zumbahua y Chugchilán.

Fuente: Elaboración propia.

La temperatura del suelo presentó variaciones entre las zonas evaluadas, manteniéndose dentro de rangos adecuados para el desarrollo de las especies establecidas en las chacras agroforestales.

En Zumbahua en la zona alta la temperatura disminuyó de 22,8 °C a 21,4 °C, en cambio en la zona baja aumento de 23,0 °C a 24,6 °C, probablemente asociada a diferencias estacionales u horarias de muestreo. En cambio, en Guayama la zona alta mostro un ligero incremento

de 19,8 °C a 20,0 °C, mientras que la zona baja aumento de 18,6 °C a 22,0 °C, posiblemente por menor cobertura de sombra en fase temprana de establecimiento forestal o variabilidad estacional.

La temperatura del suelo cumple un papel clave en los procesos biológicos y fisicoquímicos que ocurren en él, ya que afecta la actividad microbiana, la descomposición de materia orgánica y el crecimiento de las raíces; al respecto, (Kostis & Kafka, 2023) señalan que la presencia de cobertura vegetal de los sistemas agroforestales ayudan a regular la temperatura y reducir la incidencia directa del sol conservando la humedad.

13.3.2. Indicadores químicos del suelo

Tabla 14
Resultados obtenidos de la evaluación del pH del suelo

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Alta	7,08	7,04	pH neutro, sin variaciones significativas.
	Baja	6,70	6,75	pH ligeramente ácido, con tendencia a la neutralidad.
Guayama (Chugchilán)	Alta	6,40	8,15	Cambio de pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino.
	Baja	6,58	7,10	Cambio de pH ligeramente ácido a neutro.

Nota: El pH en ambas parroquias se encuentran bajo rangos adecuados para manejos agrícolas.
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del pH muestran una variación entre ambas parroquias.

En Zumbahua, la zona alta presentó una ligera disminución de 7,08 a 7,04, y en la zona baja se observó un ligero aumento de 6,70 a 6,75, un comportamiento esperado dado que el pH presenta cambios representativos después de varios años. Por el contrario, en la comunidad de Guayama los cambios fueron más notorios, donde la zona alta paso de 6,40 a 8,15, mostrando una condición ligeramente acida a moderadamente alcalina y la zona baja paso de 6,58 a 7,10 alcanzando un valor próximo a la neutralidad, las posibles causas de estos cambios pueden ser la aplicación de cenizas u otros materiales alcalinos durante el cuidado de la chacra por parte de la familia productora.

Es por esto que Zhang et al.(2021) señalan que los sistemas agroforestales pueden contribuir a estabilizar el pH del suelo mediante el aporte de residuos vegetales y el reciclaje de nutrientes, favoreciendo condiciones más adecuadas para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana del suelo.

Tabla 15

Resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas de la materia orgánica (Método de Agua Oxigenada)

Parroquia / Comunidad	Zona	Antes	Después	Interpretación funcional
Zumbahua	Alta	Muy fuerte	Fuerte	Se mantuvo un contenido alto de materia orgánica, evidenciado por una ligera disminución en la intensidad de la reacción y tonalidades oscuras asociadas a la Tabla de Colores de Munsell.
	Baja	Muy fuerte	Moderada	Disminución en la intensidad de la reacción, correspondiente a un contenido moderado de materia orgánica, conservando colores característicos de suelos con aporte orgánico.
Guayama (Chugchilán)	Alta	Fuerte	Débil	La menor intensidad de la reacción sugiere una reducción cualitativa de la materia orgánica, reflejada en tonalidades más claras según la Tabla de Munsell.
	Baja	Fuerte	Débil	Menor intensidad de la reacción, indicando un contenido relativamente inferior de materia orgánica respecto a la evaluación inicial.

Nota: La tabla presenta la evaluación cualitativa de la materia orgánica mediante la reacción con agua oxigenada (H₂O₂) realizada antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional. La interpretación se complementó con la observación del color del suelo utilizando la Tabla de Colores de Munsell, considerando que tonalidades oscuras se asocian con mayor contenido de materia orgánica y tonalidades claras con menor contenido.

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación cualitativa de la materia orgánica evidenció variaciones en la intensidad de la reacción con agua oxigenada entre los dos períodos de monitoreo. Como complemento de este análisis, se empleó la Tabla de Colores de Munsell para interpretar el color del suelo, considerando que este constituye un indicador indirecto del contenido de materia orgánica,

donde las tonalidades más oscuras se asocian con un mayor contenido y las más claras con una menor concentración.

En la parroquia de Zumbahua, la zona alta pasó de una reacción muy fuerte a fuerte, mientras que la zona baja cambió de muy fuerte a moderada. De acuerdo con la Tabla de Colores de Munsell, estas condiciones corresponden a suelos que mantienen tonalidades oscuras, características de un contenido relativamente alto de materia orgánica, aunque con una ligera reducción respecto a la evaluación inicial.

En Guayama (Chugchilán), ambas zonas registraron un cambio de fuerte a débil, observándose una menor intensidad de efervescencia y tonalidades relativamente más claras según la Tabla de Munsell, lo que indica una disminución cualitativa de la materia orgánica durante el período de evaluación.

Conforme al Diagrama de Mulder, un adecuado contenido de materia orgánica favorece la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, mejorando el equilibrio nutricional del suelo. Por otra parte, la Tabla de Colores de Munsell permitió complementar esta evaluación cualitativa, debido a que los suelos con mayor contenido de materia orgánica presentan tonalidades más oscuras, mientras que una disminución de este componente suele reflejarse en colores más claros. En este sentido, los resultados obtenidos indican que las variaciones observadas corresponden a una etapa inicial de establecimiento de los sistemas agroforestales. Lehmann et al. (2020) señalan que el incremento de la materia orgánica en sistemas agroforestales depende de la acumulación progresiva de hojarasca, residuos vegetales y biomasa radicular, procesos que generalmente requieren varios meses o incluso años para generar cambios detectables en el suelo.

13.3.3. Indicadores Biológicos del suelo

Tabla 16

Resultados obtenidos de la evaluación de Macrofauna del suelo

Parroquia / Comunidad	Antes	Después	Interpretación
Zumbahua	Baja	Baja (ligero incremento de organismos que en la nuestra inicial)	Se evidenció una ligera mejora en la actividad biológica del suelo, aunque continúa siendo limitada.
Guayama (Chugchilán)	Media	Baja	Se registró una disminución de la macrofauna durante la segunda evaluación, indicando una menor actividad biológica del suelo.

Nota: La tabla presenta la evaluación de macrofauna del suelo observados antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional en ambas parroquias.

Fuente: Elaboración propia.

En la parroquia de Zumbahua, la abundancia de macrofauna fue baja, sin embargo, durante la evaluación final se observó un ligero incremento de los organismos biológicos, aunque sigue siendo limitada da inicio a una recuperación prolongada del suelo. Por el contrario, en Guayama, la abundancia paso de una condición media a baja, reflejando una disminución de organismos. Este comportamiento puede verse atribuido por las actividades agrícolas realizadas antes de la implementación del sistema de agroforestería sucesional.

El ligero incremento observado en Zumbahua podría estar relacionado con el inicio del establecimiento de la cobertura vegetal y la incorporación de residuos orgánicos al suelo. Por el contrario, la disminución registrada en Guayama puede asociarse a la alteración temporal del hábitat ocasionada por las labores de preparación del terreno y trasplante de las especies. De acuerdo con (Fan et al., 2023), la biodiversidad del suelo responde rápidamente a las condiciones de manejo y a las perturbaciones, por lo que su recuperación depende del tiempo de establecimiento de la cobertura vegetal. También concuerda con lo establecido por (Lavelle et al., 2022), quienes afirman que la respuesta de estos organismos dependen del tiempo y de las condiciones propias del ecosistemas.

14. CONCLUSIONES

La implementación de los sistemas de agroforestería sucesional en las parroquias de Zumbahua y Chugchilán, se realizó considerando la línea base biofísica del área de estudio y la distribución de las especies establecidas en el proyecto Fincas Faro, integrando especies forestales, frutales, medicinales y agrícolas, contribuyendo a la diversificación productiva y a la recuperación progresiva del suelo.

El monitoreo periódico de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo antes y después de la implementación evidenciaron una respuesta variable entre dos parroquias. En varios de los sitios evaluados se observaron mejoras en indicadores como la compactación, la estabilidad de agregados y la retención de humedad, mientras que en indicadores como la temperatura, el pH, la profundidad efectiva y la macrofauna mostraron comportamientos más ligeros. Esto demuestra que la respuesta del suelo depende bastante de las condiciones específicas de cada sitio y el tiempo que lleva el desarrollo de la cobertura vegetal para obtener datos más precisos.

La comparación de los indicadores Físicos, químicos y biológicos del suelo antes y después de la implementación de los sistemas de agroforestería sucesional, presentó una respuesta variable entre dos parroquias. Los resultados evidenciaron que en Zumbahua la profundidad de penetración aumentó de 13,84 cm a 20,72 cm en la zona alta y de 10,62 cm a 19,40 cm en la zona baja, mientras que la estabilidad de agregados incrementó de 10,23 % a 14,08 % zona alta y de 8,11 % a 16,04 %, zona baja, la retención de humedad aumentó de 13,25 % a 13,55 % en la zona alta y de 2,54 % a 6,14 % en la zona baja; además, la profundidad efectiva alcanzó 34,75 cm y el pH se mantuvo cercano a la neutralidad entre 7,08–7,04. En Chugchilán se registró un incremento de la retención de humedad de 9,52 % a 14,60 %, mientras que los otros indicadores presentaron variaciones asociadas a las condiciones edáficas y al corto tiempo transcurrido entre la implementación y la evaluación final, manteniéndose dentro de los rangos establecidos. Esto demuestra que la respuesta del suelo depende bastante de las condiciones específicas de cada sitio y el tiempo que lleva el desarrollo de la cobertura vegetal para obtener datos más precisos.

15. RECOMENDACIONES

Se sugiere dar continuidad al monitoreo periódico de los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo durante periodos más prolongados, con el fin de evaluar la evolución de los sistemas de agroforestería sucesional que se vayan generando a mediano y largo plazo con el crecimiento de las diferentes especies implementadas.

Se recomienda que, en futuras implementaciones de sistemas agroforestales sucesionales, las instituciones ejecutoras de proyectos de restauración y conservación consideren aspectos taxonómicos, fenológicos y edáficos más precisos, lo que permitirá seleccionar de mejor manera técnica y especializada las especies que tengan mejor adaptabilidad ecológica al ecosistema del páramo, según el ecosistema, y piso altitudinal ecuatoriano, favoreciendo su establecimiento, supervivencia y aporte a la recuperación del suelo.

Se propone promover la implementación de sistemas de agroforestería sucesional en otras comunidades con condiciones biofísicas similares a las de Zumbahua y Chugchilán. A subes es importante complementar futuras investigaciones con análisis de laboratorio de los indicadores de salud del suelo y establecer periodos de monitoreo más prolongados, con el fin de evaluar de manera precisa los efectos de estos sistemas sobre la recuperación del suelo y los beneficios ambientales y productivos que aportan al manejo sostenible de los ecosistemas de páramo.

16. REFERENCIAS

- Alexander, L. A. S. (2024). Beneficios de los servicios ecosistémicos que brinda la producción de cacao nacional bajo sistemas agroforestales sucesionales SAF'S. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/62483>
- Antón, R., Ruiz-Sagasetta, A., Orcaray, L., Arricibita, F. J., Enrique, A., Soto, I. de, & Virto, I. (2021). Soil Water Retention and Soil Compaction Assessment in a Regional-Scale Strategy to Improve Climate Change Adaptation of Agriculture in Navarre, Spain. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 607, 11(3), 607. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11030607>
- Añazco Romero, M. J., & Fernández Gómez, N. V. (2026). Fijación de carbono en sistemas agroforestales gestionados por pequeños productores de los Andes del Ecuador [Article, Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/19577>
- Arias Muñoz, P., Saz Sánchez, M. Á., & Escolano Utrilla, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: Cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/19262>
- Bai, S. H., Muqaddas, B., Trueman, S. J., Wilson, R., Keller, A., Shapcott, A., Hannet, G., Farrar, M. B., Komolong, B., & Wallace, H. M. (2023). Root architecture, root biomass and nutrient cycling in a mixed-species agroforestry system. *Land Degradation & Development*, 34(16), 5096-5108. <https://doi.org/10.1002/ldr.4832>
- Bejar, S. J., Silva, I. C., Díaz, M. I. Y., & Robles, E. O. L. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59). <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>

- Blanco-Canqui, H. (2022). Cover crops and soil ecosystem engineers. *Agronomy Journal*, 114(6), 3096-3117. <https://doi.org/10.1002/agj2.21160>
- Bonilla, C. H. (2024). Medidas para la conservación y restauración de suelos en paisajes altoandinos. *Siembra*, 11(3). <https://www.redalyc.org/journal/6538/653877177007/html/>
- Bunemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z. G., Creamer, R., Deyn, G. B. de, Goede, R. G. M. de, Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W. M., Mäder, P., Pulleman, M. M., Sukkel, W., Groenigen, J. W. van, & Brussaard, L. (2018). Soil Quality—A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- 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>
- Buriticá, F., Vanegas, J. I., & Suárez, J. C. (2025). Influence of Soil Physical and Hydraulic Properties on Cacao Productivity Under Agroforestry Systems in the Amazonian Piedmont. *Agriculture*, 15(18), 1973. <https://doi.org/10.3390/agriculture15181973>
- Caicedo-Rosero, L. C., Méndez-Ávila, F. de J., Gutiérrez-Zeferino, E., & Flores-Cuautle, J. de J. A. (2021). Medición de humedad en suelos, revisión de métodos y características. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(17), 1-8. <https://doi.org/10.29057/ICBI.V9I17.7035>
- Calispa, M., Paredes, F. J. V., Freire, S. D. S., & Eguiguren, P. S. (2023). Los suelos de los páramos del Ecuador. En *USFQ PRESS*. <https://doi.org/10.18272/usfqpress.71.c258>
- Camacho, M. (2014). Los páramos ecuatorianos: Caracterización y consideraciones para su conservación y aprovechamiento sostenible. *Revista Anales*, 1(372), 77-92. <https://doi.org/10.29166/anales.v1i372.1241>

- Carrasco J., J., Squella N., F., Riquelme S., J., Hirzel C., J., & Uribe C., H. (2012). Técnicas de conservación de suelos, agua, y vegetación en territorios degradados. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/8593>
- Castañeda-Martín, A. E., & Montes-Pulido, C. R. (2017). Carbono almacenado en páramo andino. *Entramado*, 13(1), 210-221. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25112>
- Castro Calderón, S. E. (2024). Efecto de los métodos de siembra a chorro continuo y trasplante, con diferentes densidades de siembra sobre parámetros de crecimiento y rendimiento en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones controladas, en el sector La Argelia,... <https://dspace.unl.edu.ec/handle/123456789/29226>
- Cevallos Castro, J. O., & León Aguilar, R. (2021). Las zanjas de infiltración en el aprovechamiento de agua en el sector rural de Manabí. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 2281-2303.
- Chasi Vizuite, W. P. (2025). Evaluación de indicadores de salud del suelo en cuatro sistemas productivos en tres localidades, 2024. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/14504>
- Cherlinka, V. (2026). Conservación Del Suelo En La Agricultura: Técnicas Y Manejo. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/#metodos>
- Código Orgánico del Ambiente, COA (2017). <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/CODIGO-ORGANICO-DEL-AMBIENTE.pdf>
- Cofre Pilaguano, D. M. (2026). Diseño de estrategias para la conservación del recurso suelo en las parroquias Zumbahua y Chugchilán pertenecientes a la provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/15701>
- Condori, V. H. R., Huamán, M. H. J., & Pinto, M. A. B. (2018). Sistemas agroforestales sucesionales para la restauración de áreas degradadas en la comunidad de San Pedro del

- Zapallar, Municipio Monteagudo: Agroforestry systems for the restoration of degraded areas in the community of San Pedro del Zapallar, Monteagudo Municipality. *AGRO - ECOLÓGICA*, 2(1), 274-284. <https://doi.org/10.56469/rae.v2i1.110>
- Contitución de la Republica del Ecuador. (2008). Contitución de la Republica del Ecuador. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- Cortés-Delgadillo, D. L., Camacho Tamayo, J. H., & Giraldo, R. (2024). Analysis and spatial prediction of water retention curves in two types of soil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28(3). <https://doi.org/10.1590/1807-1929/AGRIAMBI.V28N3E277718>
- De-La-Ossa-Puello, L. F., Barrera-Violeth, J. L., Combatt-Caballero, E. M., De-La-Ossa-Puello, L. F., Barrera-Violeth, J. L., & Combatt-Caballero, E. M. (2024). Evaluación de indicadores de sostenibilidad del suelo y de salud del cultivo en sistemas convencionales y orgánicos de yuca. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 27(2). <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V27.N2.2024.2402>
- Dewangan, S. K. (2023). Using the Soil Texture Triangle to Evaluate the Effect of Soil Texture on Water Flow: A Review. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11, 389-393. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.53635>
- Eiso. (2022, agosto 5). Cómo el calentamiento global afecta los páramos. *Comunidad Planeta Azul*. <https://comunidadplanetaazul.com/como-el-calentamiento-global-afecta-los-paramos/>
- Fan, K., Chu, H., Eldridge, D. J., Gaitan, J. J., Liu, Y.-R., Sokoya, B., Wang, J.-T., Hu, H.-W., He, J.-Z., Sun, W., Cui, H., Alfaro, F. D., Abades, S., Bastida, F., Díaz-López, M., Bamigboye, A. R., Berdugo, M., Blanco-Pastor, J. L., Grebenc, T., ... Delgado-Baque-rizo, M. (2023). Soil biodiversity supports the delivery of multiple ecosystem functions

- in urban greenspaces. *Nature Ecology & Evolution*, 7(1), 113-126.
<https://doi.org/10.1038/s41559-022-01935-4>
- FAO. (2021). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021. Lograr que los sistemas agroalimentarios sean más resistentes a las perturbaciones y tensiones. FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb4476es>
- Galindo Araque, D. S., Vargas Sarmiento, M. C., & Corredor, J. P. (2017). Caracterización de Temperatura y Humedad de Suelos Agrícolas. *Letras ConCiencia Tecnológica*, ISSN-e 2665-2544, N°. 16, 2017 (Ejemplar dedicado a: No 16 September 2017), págs. 24-31, (16), 24-31.
- González, P. H., Medina, J. A. S., Romero, M. M., & Sinoga, J. D. R. (2024). Estrategias de recuperación de cubierta vegetal y mejora de la calidad edáfica en ambientes mediterráneos degradados. *Geographicalia*, ISSN-e 2386-3021, ISSN 0210-8380, N° 76, 2024, págs. 171-176, (76), 171-176.
- Guerrero Rosero, X. A., & Prado Beltrán, J. K. (2023). Evaluación del método de siembra en la producción de semilla básica de papa (*Solanum Tuberosum* L.) variedad Superchola, en la parroquia Chitan de Navarrete, Montúfar-Carchi.
- Hernández, R. M., & Sánchez-de-Prager, M. (2021). Indicadores biológicos de la salud del suelo. *Vivificar el suelo: conocimientos y prácticas agroecológicas*, 2020, ISBN 978-84-09-25001-1, págs. 177-206, 177-206.
- Hetz, E., Reina-Castro, L., Reyna-Bowen, J. L., Hetz, E., Reina-Castro, L., & Reyna-Bowen, J. L. (2025). Efectos y Prevenciones de la Compactación del Suelo en Labranza Convencional: Desafíos y Soluciones. *Terra Latinoamericana*, 43.
<https://doi.org/10.28940/TERRA.V43I.2257>
- Jones, J. D., Miller, R. O., Spargo, J. T., Sikora, F. J., Rakkar, M. K., Slaton, N. A., & Osmond, D. L. (2025). Assessment of soil pH and lime requirement methods and recommended

- lime rates for six reference soils across US land grant institutions. *Soil Science Society of America Journal*, 89(5). <https://doi.org/10.1002/SAJ2.70116>;ISSUE:ISSUE:DOI
- Kandel, G. P., Ullah, A., Upadhyay, N., Manikas, I., & Bavorova, M. (2025). Agroforestry as a Nature-Based Solution: Building Resilience and Ensuring Food Security in Nepal (SSRN Scholarly Paper No. 5405354). Social Science Research Network. <https://doi.org/10.2139/ssrn.5405354>
- Kostis, P. C., & Kafka, K. I. (2023). Examining the Interplay of Climate Change, Cultural Dynamics, and Sustainable Development: A Global Perspective. *Sustainability*, 15(18), 13652. <https://doi.org/10.3390/su151813652>
- Lavelle, P., Mathieu, J., Spain, A., Brown, G., Fragoso, C., Lapied, E., De Aquino, A., Barois, I., Barrios, E., Barros, M. E., Bedano, J. C., Blanchart, E., Caulfield, M., Chagueza, Y., Dai, J., Decaëns, T., Dominguez, A., Dominguez, Y., Feijoo, A., ... Zhang, C. (2022). Soil macroinvertebrate communities: A world-wide assessment. *Global Ecology and Biogeography*, 31(7), 1261-1276. <https://doi.org/10.1111/geb.13492>
- Lazo, P. X., Mosquera, G. M., McDonnell, J. J., & Crespo, P. (2019). The role of vegetation, soils, and precipitation on water storage and hydrological services in Andean Páramo catchments. *Journal of Hydrology*, 572, 805-819. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.050>
- Lehmann, J., Hansel, C. M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J. P., Torn, M. S., Wieder, W. R., & Koegel-Knabner, I. (2020). Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience*, 13(8), 529-534. <https://doi.org/10.1038/s41561-020-0612-3>
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento de Agua, Legislation No. Registro Oficial Suplemento N.º 305, Ley 0 (2014). <https://www.regulacionagua.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf

Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria, Legislation No. Registro Oficial Suplemento N.º 583, LORSA (2009). [https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-04/LEY%20ORG%C3%81NICA%20DEL%20R%C3%89GI-MEN%20DE%20LA%20SOBERAN%C3%8DA%20ALIMENTARIA%20-%20LORSA.pdf](https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-04/LEY%20ORG%C3%81NICA%20DEL%20R%C3%89GIMEN%20DE%20LA%20SOBERAN%C3%8DA%20ALIMENTARIA%20-%20LORSA.pdf)

Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial Uso y Gestión Del Suelo. Retrieved August 9, 2026, from https://www.sot.gob.ec/wpfd_file/8-ley-organica-de-ordenamiento-territorial-uso-y-gestion-del-suelo/

López, E. A. E. (2019). Uso de Algoritmo de Inteligencia Artificial para Desarrollar una Metodología para Medir la Textura de los Suelos [bachelorThesis, Universidad Nacional de Chimborazo, 2019]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/5710>

Luters, A., & Salazar Lea Plaza, J. C. (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Instituto de Suelos CRN – CNIA – INTA. <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>

MAATE, & Torres-Celi, J. (2023). Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos 2023—2030. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11529.76645>

Mena-Vásconez, P., Hofstede, R., Robalino, E. S., Calispa, M., Paredes, F. J. V., Freire, S. D. S., Eguiguren, P. S., Mosquera, G. M., Ochoa-Sánchez, A. E., Vallejo, J. P. P., Sánchez, P. C., Alvear, R. C., Romoleroux, K., Mera, P. M., Sklenář, P., Ulloa, C. U., Ortiz, D. A. E., Romoleroux, C., Ríos, G. Z., ... Calispa, M. (2023). Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro. En USFQ PRESS. USFQ PRESS. <https://doi.org/10.18272/USFQPRESS.71>

- Morales Matute, O. P., Pinos Morocho, D. G., & Duran Lopez, M. E. (2021). Suelos de páramo: Análisis de percepciones de los servicios ecosistémicos y valoración económica del contenido de carbono en la sierra sureste del Ecuador. *Revista de Ciencias Ambientales*. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.8>
- Morán Merino, N. A. (2023). Sistemas agroforestales y restauración de paisajes andinos. <https://hdl.handle.net/20.500.14809/5499>
- Morantes-Toloza, J. L., Renjifo, L. M., Morantes-Toloza, J. L., & Renjifo, L. M. (2018). Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: Una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 739-753. <https://doi.org/10.15517/RBT.V66I2.33405>
- Morocho, C. C., & Chunchu, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71-83. (2005-). <https://doi.org/10.54753/blc>
- Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., Román-Dañobeytia, F., & Crespo, P. (2022). Progress in understanding the hydrology of high-elevation Andean grasslands under changing land use. *Science of The Total Environment*, 804, 150112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150112>
- Neuenkamp, L., García de León, D., Hamer, U., Hölzel, N., McGale, E., & Hannula, S. E. (2024). Comprehensive tools for ecological restoration of soils foster sustainable use and resilience of agricultural land. *Communications Biology*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/S42003-024-07275-2>
- Ngaba, M. J. Y., Mgelwa, A. S., Gurmesa, G. A., Uwiragiye, Y., Zhu, F., Qiu, Q., Fang, Y., Hu, B., & Rennenberg, H. (2024). Meta-analysis unveils differential effects of agroforestry on soil properties in different zonobiomes. *Plant and Soil*, 496(1), 589-607. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06385-w>

- 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/>
- Ortiz Bustamante, V. M., Acuña Velásquez, I. R., Bastidas Pacheco, H. P., & Morejón García, M. (2023, noviembre 22). Modelo de gestión para la restauración agroecológica de suelos. Estudio de Caso Agroecosistemas de Cotopaxi. III AGROECOLOGÍA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. SIMFOR. Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales. <https://eventos.upr.edu.cu/edition/4/paper/805>
- Rey, I. del. (2019, mayo 14). ▷ Diagrama de Muller—Relación entre nutrientes (Actualizado). Tiloom. <https://www.tiloom.com/relacion-entre-nutrientes-diagrama-de-mulder/>
- Rodríguez Condori, V. H., Jiménez Huamán, M. H., & Barrientos Pinto, M. A. (2025). Sistemas agroforestales sucesionales para la restauración de áreas degradadas en la comunidad de San Pedro del Zapallar, Municipio Monteagudo: Agroforestry systems for the restoration of degraded areas in the community of San Pedro del Zapallar, Monteagu.... AGRO - ECOLÓGICA, 2(1), 274-284. <https://doi.org/10.56469/RAE.V2I1.110>
- Rolo, V., Rivest, D., Maillard, É., & Moreno, G. (2023). Agroforestry potential for adaptation to climate change: A soil-based perspective. *Soil Use and Management*, 39(3), 1006-1032. <https://doi.org/10.1111/sum.12932>
- Rosales, M. I. P., Cuadra, M. E. D., Venero, G. M. S., Flores, J., & Garlobo, G. R. A. (2014). Sistema Agroforestal Para El Uso Racional Del Suelo En El Municipio San José De Las Lajas, Provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales*, 35(2), 14-20.
- Salto Cargua, E. E., & Simbaña Pupiales, M. A. (2024). Evaluación de prácticas de conservación de suelos aplicadas en sistemas agrícolas familiares del cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15645>

- Sánchez, C. I. M., & Enriquez, M. D. E. (2021). Degradación del suelo y desarrollo económico en la agricultura familiar de la parroquia Emilio María Terán, Píllaro. *Siembra*, 8(1), e1735-e1735. <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>
- Sanchez Palacios, L. E., Martinez Alcivar, F. R., Torres Sanchez, S. T., Lascano Montes, A. C., & Teran Guajala, G. N. (2024). Vista de Agricultura de Precisión en El Ecuador | *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. *Ciencia Latina*, 8(1). <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/9547/14138>
- Santos, M. A., Bonini, C. dos S. B., Barretto, V. C. de M., Souza, J. A. L. de, & Matos, A. M. S. (2023). Soil physical quality using an agroforestry system with an agroecological basis. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 19(1). <https://doi.org/10.17271/1980082719120233255>
- Sheard, R. W. (2019). Sand, silt and clay. *Sports Turf Newsletter*, 4(4), 8.
- Stringer, L. C. (2017). Land Degradation. En *International Encyclopedia of Geography* (pp. 1-6). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0159>
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). Los suelos y su fertilidad. *Reverte*.
- Vargas Delgado, M. (2023). Implementación de Sistemas Agroforestales y Manejo de Frutos Nativos Amazónicos en Bolivia—TCP/BOL/3607. *FAO*; <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca4903es>
- Vinodhini S. M, Sekar, M., Sivakumar, S., & Govindaraj, P. (2023). Agroforestry- Integrating trees into Agricultural systems (pp. 246-272).
- Young, K. J. (2017). Mimicking Nature: A Review of Successional Agroforestry Systems as an Analogue to Natural Regeneration of Secondary Forest Stands. En F. Montagnini (Ed.), *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (pp. 179-209). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_8

- Zapata Guzmán, A. M. (2021). Páramos andinos: Ecología, biodiversidad y contribuciones al bienestar humano [Master thesis]. <https://repositorio.ual.es/handle/10835/13819>
- 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, 63. <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00718-8>
- Zumbahua. (s. f.). GoRaymi. Recuperado 1 de agosto de 2026, de <https://www.goraymi.com/es-ec/cotopaxi/pujili/rurales/zumbahua-adrifaa9y>

