UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Tesis

La reforestación y su impacto en la recuperación de los suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo – Cusco, en el año 2024

Asesor:

Mg. Ing. Choquevilca Lira, Walter Florencio

Autores:

Carpio Vasquez, Gonzalo

Paniura Asto, Yovana

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero(a) Ambiental

Cusco – Cusco- Perú

2025

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

" Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

Acta N°: 008

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Cusco, a los 22 días del mes de agosto del año 2025, siendo las 10:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 123-2025-UTEA-FI-EPIARN-SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería

Presidente	:	Mg. Pozo Gonzales José Salustio
Dictaminante	:	Mg. Cáceres Vizarreta Ana Irina
Replicante	:	Blga. Ing. Allende Ramos Gladys

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

☒ Tesis ☐ Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

La reforestación y su impacto en la recuperación de los suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo – Cusco, en el año 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Bach: Paniura Asto, Yovana

Bach. Carpio Vasquez, Gonzalo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero (a) Ambiental

Concluido el acto de Sustentación, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Bach: Paniura Asto, Yovana	Aprobado
Bach. Carpio Vasquez, Gonzalo	Aprobado

Siendo las 11:50 am horas concluyó el Acto Académico, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Pozo Gonzales José Salustio

Dictaminante: Mg. Cáceres Vizarreta Ana Irina

Replicante: Blga. Ing. Allende Ramos Gladys

(*): **Mayoría:** Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; **Unanimidad:** Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art.18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

10%	Fuentes de Internet
1%	Publicaciones
7%	Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

turnitin Página 2 de 159 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::3117:524619864

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Carpio Vasquez, Gonzalo
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	76692933
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0006-8043-9188
Apellidos y nombres	:	Paniura Asto,Yovana
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	74583048
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0001-8244-1672
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg.Choquevilca Lira, Walter Florencio
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Numero de Documento de Identidad	:	23829600
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0002-2144-5781
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	:	Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Julio 2024 –agosto de 2025
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	11%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Mi gratitud eterna a Dios, por darme la vida, sabiduría y la fortaleza para no rendirme en los momentos más difíciles.

Con profundo cariño, dedico este logró a mi madrecita Isabel Asto Gutiérrez, por ser ejemplo de esfuerzo, gracias por creer en mí y por acompañarme en esta etapa.

Reconozco también el valioso aporte de mis compañeros de trabajo, en especial al “Equipo de Tecnologías de la información y centro de control” (TICC) por compartir sus conocimientos y experiencias.

Yovana Paniura Asto

Dedico esta tesis con profundo amor y gratitud a mis padres, quienes me enseñaron con el ejemplo el valor del esfuerzo y la perseverancia, a mis hermanas por su constante apoyo.

Gonzalo Carpio Vasquez

Agradecimientos

Agradecemos en primer lugar a Dios, por habernos dado la vida, la salud, la sabiduría y la fuerza necesarias para culminar esta etapa tan importante. Sin su guía y compañía, este logro no habría sido posible.

A nuestros familiares, por su afecto incondicional, su paciencia y su constante apoyo emocional. Gracias por confiar en nosotros, incluso en los momentos en que dudamos. Cada palabra de aliento y cada gesto de cariño nos impulsaron a seguir adelante.

A nuestros profesores y asesores, por compartir su conocimiento y brindarnos la orientación a lo largo de este proceso. Su dedicación y compromiso fueron fundamentales en la formación académica y personal.

A nuestros amigos y compañeros de estudio, por su apoyo, por las largas jornadas compartidas y por los momentos de motivación y aprendizaje conjunto.

Finalmente, expresamos nuestro sincero agradecimiento a la Universidad Tecnológica de los Andes por habernos brindado la oportunidad y el respaldo necesario para desarrollar nuestra formación profesional.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo establecer los impactos ambientales de la reforestación en la recuperación de suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024. Se empleó un tipo de metodología básico, de enfoque cuantitativo, con un diseño de investigación no experimental y un nivel de investigación descriptivo, comparando áreas reforestadas y no reforestadas. La recolección de datos incluyó el análisis de propiedades físico-químicas del suelo, como la textura, la humedad, la acidez (pH), la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), además con la percepción de aquellos líderes que participaron de acciones de reforestación en la zona mediante la aplicación de una entrevista. Los resultados evidencian claramente que la reforestación en la cuenca Apu Ankhara generó un impacto efecto positivo en la recuperación de los suelos degradados ya que al comparar los suelos reforestados con aquellos que no recibieron intervención se evidenció, un incremento significativo en sus características físico-químicas y biológicas destacando especialmente el incremento de la materia orgánica. Se llegó a la conclusión que, los suelos intervenidos mostraron un notable incremento en el índice de recuperación al pasar de un valor negativo de -0.322 en su estado no reforestado a un valor positivo de 0.322, mientras que, el índice de propiedades físico-químicas también reflejó una mejora importante pasando de -0.294 a 0.294 lo que demuestra que no solo se restauraron las propiedades del suelo sino que también se mejoró su funcionalidad ecológica cumpliéndose así con el objetivo principal del estudio.

Palabras Clave: Reforestación, suelos degradados, recuperación de suelos, cuenca, sostenibilidad ambiental, impacto

Abstract

This study aimed to establish the environmental impacts of reforestation on the recovery of degraded soils in the Apu Ankhara watershed in 2024. A basic, quantitative methodology was employed, with a non-experimental research design and a descriptive level of investigation, comparing reforested and non-reforested areas. Data collection included the analysis of soil physicochemical properties, such as texture, moisture, acidity (pH), organic matter, and cation exchange capacity (CEC), as well as the perceptions of leaders who participated in reforestation efforts in the area, gathered through interviews.

The results clearly demonstrate that reforestation in the Apu Ankhara watershed had a positive impact on the recovery of degraded soils. A comparison of reforested soils with those that did not receive intervention revealed a significant increase in their physicochemical and biological characteristics, particularly the increase in organic matter. It was concluded that the intervened soils showed a notable increase in the recovery index, going from a negative value of -0.322 in their non-reforested state to a positive value of 0.322, while the index of physical-chemical properties also reflected a significant improvement, going from -0.294 to 0.294, which demonstrates that not only were the soil properties restored but its ecological functionality was also improved, thus fulfilling the main objective of the study

Keywords: Reforestation, degraded soils, soil recovery, soil fertility, environmental sustainability

Índice

Portada i

Acta de sustentación ii

Reporte de similitud iii

Metadatos iv

Dedicatoria v

Agradecimientos vi

Resumen vii

Abstract viii

Índice ix

Índice de tablas xi

Índice de figuras xiii

Índice de anexos xv

I. Introducción 16

II. Planteamiento del Problema 18

2.1. Descripción y formulación del problema 18

2.2. Objetivos 21

2.2.1. Objetivo General 21

2.2.2. Objetivos Específicos 21

2.3. Justificación e Importancia 21

2.4. Hipótesis 23

2.5. Variables 23

III. Marco teórico 26

3.1. Antecedentes 26

3.2. Bases teóricas 34

3.3. Definición de términos 60

IV. Metodología 66

4.1. Tipo y Nivel de investigación 66

4.2. Ámbito temporal y espacial 67
4.3. Población y muestra 69
4.4. Instrumentos y muestra..... 71
4.5. Procedimiento..... 72
4.6. Análisis de datos..... 72
4.7. Consideraciones Éticas..... 72
V. Resultados y discusión 74
VI. Conclusiones..... 127
VII. Recomendaciones..... 129
VIII. Referencias..... 130
IX. Anexos 140

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de las variables 24

Tabla 2 Tipos de estructuras, con datos de suelos según: Rucks et. al (2004). 42

Tabla 3 Rangos interpretativos para el pH indicado por Vásquez (2019) 46

Tabla 4 Rangos interpretativos para el nitrógeno total 47

Tabla 5 Intervalos de materia orgánica en el suelo 47

Tabla 6 Ubicación geográfica de la investigación 68

Tabla 7 Resumen de los resultados de análisis fisicoquímico de los suelos 75

Tabla 8 *Porcentaje de humedad según la condición del suelo*……76

Tabla 9 T de Welch del porcentaje de humedad según la condición del suelo 77

Tabla 10 T de Welch del pH según la condición del suelo……79

Tabla 11 Conductividad eléctrica según la condición del suelo 80

Tabla 12 T de Welch de la conductividad eléctrica según la condición del suelo 81

Tabla 13 Medidas resumen de la capacidad de intercambio catiónico según la condición del suelo 82

Tabla 14 T de Welch de la CIC según la condición del suelo 83

Tabla 15 Porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo 84

Tabla 16 T de Welch del porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo 85

Tabla 17 Porcentaje de humedad a equilibrio según la condición del suelo 86

Tabla 18 T de Welch del porcentaje de humedad a equilibrio de campo según la condición del suelo 87

Tabla 19 Punto de marchitez permanente según la condición del suelo. 88

Tabla 20 T de Welch del porcentaje punto de marchitez según la condición del suelo ... 89

Tabla 21 Densidad aparente según la condición del suelo 90

Tabla 22 T de Welch de la densidad aparente según la condición del suelo 91

Tabla 23 Densidad relativa según la condición del suelo 92

Tabla 24 T de Welch de la densidad relativa según la condición del suelo 93

Tabla 25 Porcentaje de arena, limo y arcilla en los suelos 94

Tabla 26 Porcentaje de arena, limo y arcilla, según la condición del suelo 94

Tabla 27 Profundidad de excavación según la condición del suelo 95

Tabla 28 Porcentaje de nitrógeno según la condición del suelo 96

Tabla 29 T de Welch del porcentaje de nitrógeno según la condición del suelo 97

Tabla 30 Porcentaje de fosforo según la condición del suelo 98

Tabla 31 T de Welch del porcentaje de fosforo según la condición del suelo 99

Tabla 32 Porcentaje de potasio según la condición del suelo 100

Tabla 33 T de Welch del porcentaje de fosforo según la condición del suelo 101

Tabla 34 Índice de propiedades físicas químicas del suelo 102

Tabla 35 Índice de propiedades físico químico según la condición del suelo 103

Tabla 36 Porcentaje de materia orgánica según la condición del suelo 104

Tabla 37 T de Welch del % de materia orgánica según la condición del suelo 106

Tabla 38 Índice de recuperación de suelo 107

Tabla 39 Medidas resumen del índice de recuperación según la condición del suelo ... 108

Tabla 40 Tabla de frecuencia para: ¿Usted participo en la reforestación de la Cuenca Apu Ankhara? 114

Tabla 41 Tabla de frecuencia para: ¿Por qué hicieron las plantaciones? 115

Tabla 42 Tabla de frecuencia para: ¿Qué especies de árboles plantaron? 116

Tabla 43 Tabla de frecuencia para:¿Qué otros trabajos complementarios hicieron? 117

Tabla 44 Tabla de frecuencia para: ¿Qué acuerdos comunales se tomaron? 118

Tabla 45 Tabla de frecuencia para: ¿Cómo eran los suelos en Apu Ankhara antes de los trabajos de reforestación? 119

Tabla 46 Tabla de frecuencia para: ¿Qué cambios notables ha evidenciado usted en los suelos reforestados? 120

Índice de figuras

Figura 1 Triangulo de Texturas 40

Figura 2 Ubicación del área de estudio 68

Figura 3 Ubicación del proyecto de investigación..... 69

Figura 4 Histograma del porcentaje de humedad según la condición del suelo..... 76

Figura 5 Histograma del potencial de hidrogeno según la condición del suelo…….. 78

Figura 6 Histograma de la conductividad eléctrica según la condición del suel 80

Figura 7 Histograma de la capacidad de intercambio catiónico según la condición del suelo 82

Figura 8 Histograma del porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo 84

Figura 9 Histograma del porcentaje de humedad a equilibrio según la condición del suelo 86

Figura 10 Histograma del porcentaje de punto de marchitez permanente según la condición del suelo 88

Figura 11 Histograma de la densidad aparente según la condición del suelo..... 90

Figura 12 Histograma de la densidad relativa según la condición del suelo 92

Figura 13 Histograma de la profundidad de excavación según la condición del suelo... 95

Figura 14 Histograma del porcentaje de nitrógeno según la condición del suelo..... 96

Figura 15 Histograma del porcentaje de fosforo según la condición del suelo 98

Figura 16 Histograma del porcentaje de potasio según la condición del suelo 100

Figura 17 Histograma del índice de propiedades físico químicas del suelo 102

Figura 18 Histograma del índice físico químico según la condición del suelo..... 103

Figura 19 Histograma del porcentaje de materia orgánica según la condición del suelo..... 105

Figura 20 Histograma del índice de recuperación de suelos 107

Figura 21 Histograma del índice de recuperación según la condición del suelo 108

Figura 22 Distribución espacial de suelos reforestados y no reforestados 110

Figura 23 Distribución espacial de la altitud de los suelos..... 111

Figura 24 Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica en los suelos 112

Figura 25 Distribución espacial del índice físico químico de los suelos 113

Figura 26 Grafica de barras para: ¿Usted participo en la reforestación de la Cuenca Apu Ankhara? 114

Figura 27 Grafica de barras para: ¿Por qué hicieron las plantaciones? 115

Figura 28 Grafica de barras para: ¿qué especies de árboles plantaron? 116

Figura 29 Gráfico de barras para: ¿Qué otros trabajos complementarios hicieron? 117

Figura 30 Gráfico de barras para: ¿Qué acuerdos comunales se tomaron? 118

Figura 31 Gráfico de barras para: ¿Cómo eran los suelos en apu Ankhara antes de los trabajos de reforestación? 119

Figura 32 Grafica de barras para: ¿Qué cambios notables ha notado usted en los suelos reforestados?..... 121

Índice de anexos

Anexo 01 Matriz de consistencia 172

Anexo 02 Validación de instrumento 173

Anexo 03 Modelo de encuestas y encuesta llenado 174

Anexo 04 Encuestas completadas 177

Anexo 05 Base de datos Reporte de resultados de laboratorio 180

Anexo 06 Evidencias Fotograficas 184

I. Introducción

La degradación del suelo constituye un problema ambiental de creciente preocupación a nivel global, con implicaciones directas sobre la productividad agrícola, la biodiversidad y la capacidad de los ecosistemas para regular el ciclo hidrológico. En diversas regiones, la deforestación ha intensificado este fenómeno, generando suelos con baja fertilidad y reducida capacidad de retención hídrica, lo que compromete su funcionalidad ecológica. En este contexto, la reforestación se erige como una estrategia viable para la recuperación de suelos degradados, dado que contribuye a la mejora de su estructura y favorece la regeneración natural de los ecosistemas.

El presente estudio tiene como objeto de análisis, la cuenca del Apu Ankhara, una región que ha experimentado un acelerado proceso de degradación del suelo debido a la deforestación y el uso inadecuado de la tierra. A partir de un enfoque cuantitativo, se busca evaluar los efectos de la reforestación sobre las propiedades físico-químicas del suelo, con el propósito de determinar su incidencia en la restauración ecológica.

Para ello, se analizaron indicadores clave como la presencia de materia orgánica, la habilidad del suelo para conservar la humedad y su estructura física estable del suelo, a fin de proporcionar evidencia empírica sobre la relevancia de las prácticas de reforestación en la recuperación de suelos degradados. Los resultados de esta investigación no solo aportarán información valiosa para la gestión ambiental de la cuenca del Apu Ankhara, sino que también contribuirán al diseño e implementación de estrategias de conservación y uso sostenible del suelo en contextos análogos.

En el primer capítulo, se describe de manera precisa la realidad del contexto actual de la reforestación y su impacto en la recuperación de los suelos degradados. Asimismo, se formula el planteamiento del problema, donde se abordan las causas que nos conducen a realizar la investigación. De la misma manera, se plantean los objetivos que nos permitirán lograr el trabajo propuesto, así como la justificación del trabajo, la hipótesis y las variables, en las que se enmarcan los fundamentos teóricos del estudio.

En el capítulo segundo, en este capítulo se presenta los antecedentes donde se da a conocer los trabajos anteriores que han sido realizados en reforestación y su impacto en la recuperación de los suelos degradados las cuales constituye para el desarrollo del trabajo, bases teóricos que sustentan el trabajo de investigación.

En el capítulo tercero, se presenta la metodología del trabajo de investigación, en la que se exponen las técnicas y procedimientos para llevar a cabo el estudio con el objetivo de obtener resultados óptimos. También se especifican el tipo y nivel de la investigación, el ámbito temporal y espacial, así como la población que es el sector de Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo, provincia de Paruro, departamento del Cusco. Además, se describen la muestra y los instrumentos utilizados en la ejecución de la investigación, los procedimientos estadísticos de la investigación y las consideraciones éticas.

En el cuarto capítulo, se contemplan los resultados obtenidos de la investigación, los cuales se muestran en tablas, figuras y análisis. En la discusión de resultados se realiza la comparación con otras investigaciones previas, destacando las fortalezas y debilidades de la investigación. Asimismo, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y formulación del problema

La cuenca Apu Ankhara, ubicada en el distrito de Paccarectambo de la región Cusco, enfrenta una crítica realidad marcada por la degradación extensa del suelo debido a la causa principal de sobrepastoreo, la agricultura intensiva y la deforestación. Este deterioro compromete la capacidad de regeneración natural y exige intervenciones específicas de reforestación. Sin embargo, se identifican diversos desafíos que obstaculizan la efectividad de estas acciones.

La selección inapropiada de especies de árboles para reforestar podría conducir a la falta de adaptación al entorno local, la competencia con especies invasoras o la incapacidad para restaurar la estructura y biodiversidad del ecosistema original. Además, la cuenca enfrenta presiones externas como incendios forestales y eventos climáticos extremos, así como limitaciones logísticas y de recursos que dificultan la implementación de proyectos de reforestación a gran escala.

La evaluación inadecuada del éxito de la reforestación agrava la situación al dificultar la medición objetiva de los impactos en la calidad del suelo, la biodiversidad y la capacidad de adaptación al cambio climático. Estos desafíos requieren un enfoque integral que incluya la colaboración entre diferentes actores, la aplicación de prácticas de manejo forestal sostenible, el uso de tecnologías innovadoras para la restauración de suelos y el fortalecimiento de la participación de las comunidades locales en la toma de decisiones relacionadas con la gestión de los recursos naturales.

La falta de cobertura vegetal ha generado erosión del suelo, disminución de la fertilidad y afectado la productividad agrícola, así como la calidad del agua. La reforestación se vislumbra como una solución potencial para restaurar la cobertura vegetal, mejorar la calidad del suelo y mitigar los impactos negativos en la cuenca de Apu Ankhara. Esta investigación busca proporcionar una evaluación integral del impacto de la reforestación en la recuperación de suelos degradados, con el propósito de contribuir al conocimiento científico, informar prácticas de manejo del suelo y generar recomendaciones para promover la sostenibilidad ambiental y la resiliencia de la comunidad local.

A nivel internacional en Ecuador en un estudio realizado al establecimiento de una plantación de nueve especies forestales con fines de rehabilitación de suelos degradados la evaluación de sobrevivencia se realizó en base a la relación entre el número de plantas establecidas y el número de plantas vivas encontradas en la medición. Se midieron las variables como diámetro basal y altura total, se evaluó el incremento medio y corriente semestral de las dos variables dasométricas, y se realizó un análisis de varianza. La sobrevivencia promedio de la plantación fue de 95,69%; la especie con mayor incremento medio semestral en altura total fue Alnus acuminatacon 37,30 cm; en diámetro basal la especie con mayor incremento medio fue Erythrina eduliscon 7,89 mm: mediante el análisis de varianza se pudo comprobar que a los seis meses de plantación existió diferencias estadísticamente significativas en su crecimiento. (Jiménez & Palacios, 2023)

La problemática a nivel nacional en Perú en un estudio realizado por la revista Agro producción sustentable a la Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos hay estudios que han demostrado que la shaina aporta con importantes niveles de carbono orgánico en el suelo (111 g/kg) que puede ser debida a su baja respiración basal. Para obtener la cantidad de dióxido de carbono (CO_2), necesario para el servicio intercambiable en

los mercados de carbono se multiplicaría el valor del C almacenado por el factor de conversión 44/12. Respecto a la recuperación del suelo degradado, teniendo en cuenta sus indicadores biofísicos, destaca el estudio realizado en el marco del proyecto VLIR.UOS de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Alegre, 2008), en sistemas agroforestales multiestrato de tornillo y cobertura de centrosema instalados en Yurimaguas, Loreto. Este sistema aportó al suelo en promedio 150 kg N/ha×año. Asimismo, en un sistema silvopastoril en la misma zona a pesar del pastoreo se encontró un aporte de 40 kg P/ha×año. Las plantas de guaba instaladas en el SAF aportaran hasta unos 40 kg N/ha×año (Sánchez, 1987), todo ello adicionado a que los insumos orgánicos tienen un efecto positivo en la diversidad microbiana (Dilas & Mugruza, 2020)

A nivel local en la ciudad del Cusco las comunidades de Challabamba y Japu están librando una batalla importante contra la desertificación y la sequía. A través de proyectos de restauración liderados por Conservación Amazónica – ACCA con el apoyo de Acción Andina, más de 500 mil árboles han sido plantados, simbolizando no solo el renacimiento de la naturaleza, sino también el empoderamiento de las comunidades locales.

La lucha contra los incendios forestales ha sido una prioridad. La creación de brigadas comunitarias ha resultado en una disminución del 90% en los incendios forestales en los últimos dos años. «Antes, el fuego era una amenaza constante. Ahora, estamos mejor preparados y podemos controlar las quemas,» comenta Esteban Quispe, miembro de una de estas brigadas. (Amazonica, 2024)

2.1.1. Problema General

¿Cuáles son los impactos de la reforestación en la recuperación de suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024?

2.1.2. Problemas Específicos

1. ¿Qué acciones de reforestación asociadas a la recuperación de suelos se realizaron en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024?
2. ¿Cuáles son los cambios ocurridos en las propiedades físico-químicas del suelo como consecuencia de la reforestación de la cuenca Apu Ankhara en el año 2024?
3. ¿Cuáles son los cambios ocurridos en el contenido de materia orgánica del suelo como consecuencia de la reforestación en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Determinar los impactos de la reforestación en la recuperación de suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024.

2.2.2. Objetivos Específicos

1. Describir las acciones de reforestación, asociadas a la recuperación de los suelos degradados, que se realizaron en la cuenca Apu Ankhara en el año 2024.
2. Determinar los cambios ocurridos en las propiedades físico químicas del suelo como efecto de las acciones de reforestación efectuadas en suelos degradados de la cuenca del Apu Ankhara en el año 2024.
3. Determinar los cambios ocurridos en el contenido de materia orgánica del suelo como efecto de las acciones de reforestación efectuadas suelos degradados de la cuenca Apu Ankhara en el año 2024.

2.3. Justificación e Importancia

La investigación es pertinente debido a su potencial para influir en la toma de decisiones relacionadas con la reforestación, particularmente en el contexto actual

de cambio climático. La necesidad de tomar medidas efectivas para abordar este problema global es urgente, y los resultados de esta investigación puede proporcionar información crucial para desarrollar estrategias de reforestación más efectivas y sostenibles.

Desde una perspectiva de conveniencia, esta investigación es esencial, ya que ayudará a determinar la eficiencia de las acciones de reforestación en la restauración de las propiedades físicas y químicas del suelo. Esto es fundamental dada la creciente importancia de la reforestación como herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático.

En términos de relevancia social, los beneficios potenciales de esta investigación son significativos, especialmente para las comunidades que dependen de los recursos naturales en la cuenca del Apu Ankhara. La mejora de la forestación y reforestación no solo puede beneficiar económicamente a estas comunidades, aparte de ello puede tener un impacto positivo en su calidad de vida y en la resiliencia de sus ecosistemas locales.

Las implicaciones prácticas de esta investigación son notables, ya que los resultados podrían proporcionar orientación para futuros proyectos forestales en áreas rurales, especialmente en términos de recuperación de suelos degradados y gestión de recursos hídricos. Esto podría conducir a la implementación de prácticas más efectivas y sostenibles en el manejo de los recursos naturales.

En cuanto a su valor teórico, esta investigación tiene el potencial de llenar un vacío de conocimiento al evaluar específicamente los efectos de la reforestación en la recuperación de suelos degradados. Al abordar esta pregunta, la investigación contribuirá al avance del conocimiento en el ámbito de la restauración ecológica y la gestión de recursos naturales.

Finalmente, en términos de utilidad metodológica, esta investigación puede servir como un modelo para futuros estudios que busquen evaluar el impacto de las

actividades de reforestación en el medio ambiente. Los métodos y enfoques utilizados en esta investigación podrían inspirar el desarrollo de nuevos instrumentos y técnicas para la recolección y análisis de datos en este campo.

En resumen, esta investigación es fundamentalmente importante y oportuna, tanto desde una perspectiva práctica como teórica. Su contribución potencial a la ciencia y a la toma de decisiones en el ámbito de la gestión ambiental la convierte en un proyecto de investigación de gran relevancia y valor.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

Las acciones de reforestación de áreas degradadas tienen impactos positivos en la recuperación de los suelos de la cuenca Apu Ankhara.

2.4.2. Hipótesis Específicos

1. Las acciones de reforestación se asocian con la recuperación del suelo degradado en la cuenca del Apu Ankhara en el año 2024.
2. Las acciones de reforestación generan un cambio positivo respecto a las propiedades físicas-químicas del suelo degradado en la cuenca del Apu Ankhara en el año 2024.
3. Las acciones de reforestación incrementan la materia orgánica del suelo degradado en la cuenca del Apu Ankhara en el año 2024.

2.5. Variables

- **Variable dependiente:** Recuperación de suelos
- **Variable independiente:** Reforestación

Tabla 1

Operacionalización de las variables

Variable	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente: Reforestación	La reforestación, más que una acción, es un acto de restauración vital que revitaliza ecosistemas dañados. Sus impactos trascienden la tierra: revitaliza el agua, purifica el aire y restaura la fertilidad del suelo. Protege los hábitats ribereños, las fuentes de agua y promueve la biodiversidad, creando una red de vida resiliente. (Molina, 2019)	La reforestación se medirá mediante técnicas de observación no estructurada del conjunto de actividades o acciones efectuadas para establecer vegetación forestal en áreas previamente degradadas o deforestadas, con el propósito de restaurar la cobertura forestal y mejorar las funciones del ecosistema (SEMARNAT, 2010).	Especies forestales	Queuña
			Acciones de reforestación	Zanjas de infiltración Acuerdos comunales Clausura del área intervenida. Método de plantación (técnicas)
Variable Dependiente: Recuperación de suelos	El suelo es un recurso muy valioso para todos, ya que de él depende gran parte de nuestras actividades humanas, como la agricultura tal debe ser utilizado de forma consciente, a fin de evitar su degradación y minimizar los posibles impactos causados al ambiente en el desarrollo de las actividades, (da Silva, 2009) la disponibilidad hídrica va de la mano con la conservación y recuperación del suelo. El suelo es la capa compuesta de materiales orgánicos y minerales que cubren la superficie terrestre, siendo un medio de crecimiento para las plantas superiores con diversas propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales intervienen en la producción de plantas.	La recuperación del suelo se medirá mediante el análisis de las propiedades físicas, químicas y de contenido de materia orgánica como efecto de la reforestación. (Cabrera & Madejon, 2015)	Propiedades físicas y químicas del suelo	Estructura Contenido de humedad Textura Nitrógeno Fosforo Potasio PH Carbono orgánico en el suelo
			Materia orgánica del suelo	% de materia orgánica

2.6. Limitaciones presentadas en el desarrollo de la investigación

Las limitaciones de este estudio principalmente radican en la escasez de información bibliográfica sobre los impactos de la forestación y reforestación en el área de estudio. La falta de investigaciones previas en este campo resalta la importancia de esta investigación, ya que los impactos ambientales de la reforestación en entornos alto andinos no han sido ampliamente abordados hasta el momento. Es importante tener en cuenta que la especificidad de los resultados obtenidos en este estudio se debe a que se centra en el contexto único de la Cuenca Apu Ankhara en el distrito de Paccarectambo. Las características particulares de esta región, como el tipo de suelo, el clima, la topografía y la historia de la degradación del suelo, pueden influir significativamente en los efectos de la reforestación. Por lo tanto, aunque los hallazgos de este estudio proporcionan información valiosa sobre la efectividad de la reforestación en esta área específica, no se pueden extrapolar de manera directa a otras regiones con condiciones diferentes.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Suntasig et al. (2024) en el país de Ecuador llevaron acabo la investigacion titulada “Impacto de especies forestales en la restauración de suelos de minería: Revisión sistemática” la cual indica que el objetivo de este estudio era realizar una revisión sistemática de los efectos de las especies forestales en la rehabilitación de los suelos mineros. La metodología del presente estudio se basó en un enfoque cuantitativo. También fue necesaria un trabajo investigativo descriptivo. Cabe mencionar que la investigación también tuvo carácter documental-bibliográfico. Sin embargo, se realizó una revisión sistemática, que siguió una metodología y permitió ordenar los datos de cada artículo elegido. Según las conclusiones, la replantación de las explotaciones mineras dañadas mejora la estructura del suelo y es crucial para estabilizarlo y evitar el deterioro. En conclusión, la reforestación de suelos mineros con especies forestales es una estrategia integral que no solo restaura la salud del suelo y la biodiversidad, sino que también ayuda a reducir el cambio climático y mejorar el paisaje.

Ventura et al. (2017) llevaron a cabo un estudio que se titula “Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino. Una práctica en el centro de México”, el estudio consistió en evaluar si la reforestación con Pinus greggii es una estrategia efectiva para la rehabilitación de bosques de pino. Se seleccionaron tres campos reforestados de 5, 12 y 14 años, junto con un área de referencia y un sitio

degradado. Los resultados mostraron diferencias significativas en la estructura y biomasa aérea entre los campos reforestados, dependiendo de su edad. Específicamente, se observó que a los 14 años de establecida la reforestación, las variables estructurales como la altura del arbolado y la biomasa aérea difieren significativamente en comparación con el sitio de referencia. Los autores concluyeron que la reforestación con Pinus greggii puede lograr cierta recuperación de las variables estructurales y funcionales del bosque, especialmente a medida que aumenta la edad de las reforestaciones. Además, se observó que la presencia del arbolado modifica las características abióticas del suelo, lo que favorece el establecimiento de nuevas especies en el sotobosque. Este fenómeno se traduce en un aumento en la riqueza y diversidad de especies del sotobosque a medida que aumenta la edad de las reforestaciones.

Cubas (2018) llevó a cabo un estudio en el suroeste de la Amazonia brasileña titulado "Caracterización física y química del suelo con diferentes edades de reforestación". En esta investigación experimental, se establecieron áreas reforestadas de 6, 9 y 14 años, con el propósito principal de examinar los aspectos físicas y químicas del suelo en áreas con distintos períodos de plantación de árboles en comparación con un bosque primario. El estudio se realizó en la Plataforma de Operaciones Geólogo Pedro de Moura. La metodología incluyó análisis de diseño y parámetros de investigación, así como análisis estadísticos para definir los objetivos y llevar a cabo la investigación. Los resultados obtenidos proporcionaron información relevante sobre las características físicas y químicas del suelo en las áreas estudiadas, lo que contribuye al conocimiento científico sobre los efectos de la reforestación en la calidad del suelo en la región amazónica brasileña. La estimación de las propiedades físicas y químicas del suelo como

consecuencia de los efectos generados por la acción humana en los ecosistemas naturales, pueden constituir un recurso útil para contribuir en el monitoria miento de la conservación ambiental y estimas la disponibilidad de aceptar y acogerse a la mejora del suelo y sin dejar de lado el agua. El investigador entre sus conclusiones llegó a lo siguiente: Las diversas edades de reforestación tuvieron un impacto en todas las características físicas y químicas del suelo que fueron evaluadas en este estudio, con la excepción del fósforo. La eliminación del bosque primario y del horizonte superficial del suelo modificó las características físicas y químicas del suelo en las zonas de estudio, lo que indica que existe un impacto en la recuperación del suelo y en la disponibilidad de materia orgánica en las distintas etapas de la reforestación y de un bosque natural.

Martínez (2009) en su investigación titulada "Reforestación, Creación de Cinturones Verdes en el Suelo de Conservación Ecológica del Distrito Federal", tuvo como objetivo principal proponer un proyecto de reforestación en la delegación Tláhuac para proteger los ecosistemas periurbanos y contrarrestar los efectos negativos de la urbanización desmedida en la Ciudad de México. A través de un análisis de sostenibilidad, se pretende evaluar los impactos sociales, económicos y ambientales de esta iniciativa, con la finalidad de desarrollar cinturones verdes que mitiguen las consecuencias de la expansión urbana y promuevan el desarrollo sostenible en la región. Con este contexto en mente, se propone la reforestación del Suelo de Conservación en la delegación Tláhuac como una medida para garantizar la sustentabilidad en el ámbito local y el desarrollo de proyectos rentables en los ámbitos económico, ambiental, social y político. El enfoque de esta propuesta se basa en un diagnóstico de sostenibilidad que evalúa los impactos sociales, económicos y ambientales del proyecto, utilizando

métodos de investigación cualitativos y cuantitativos como la contextualización del área, el estudio del contenido, la perspectiva técnico-social, la evaluación ambiental local, los esquemas de valoración económica y el análisis FODA. Los resultados indican que el Suelo de Conservación de Tláhuac tiene un potencial natural para la conservación y la reforestación, lo que lo convierte en un lugar adecuado para la creación de cinturones verdes que mitiguen los impactos negativos de la urbanización en la Ciudad de México.

Ávila, et al. (2011) en su investigación titulada “Evaluación de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates”, tuvo como objetivo principal determinar el impacto de diferentes plantaciones de especies forestales en las propiedades edáficas y formación de los suelos a partir de tepetates rojos en Texcoco, Estado de México. La metodología que se utilizó en la investigación fue de tipo básica, de enfoque cualitativo y diseño no experimental. Las plantas cupresáceas y las casuarinas demostraron ser las especies forestales más beneficiosas para la restauración del medio ambiente a lo largo del periodo de 35 años de formación del suelo en la porción oriental del estado mexicano y en los aflorientos de tepetate rojo. A pesar de su adaptación a estas circunstancias, se cree que los pinos (montezumae y teocote) tienen poca influencia en la formación del suelo. Por último, los eucaliptos producen suelo, pero también lo acidifican y aceleran la lisis de las bases de los tepetates rojos. También favorecen la penetración del agua en el suelo. Grandes extensiones de nuestro país están reforestadas con eucaliptos, por lo que se aconseja evaluar sus efectos sobre la formación del suelo, ya que podrían no ser beneficiosos desde el punto de vista de la restauración medioambiental.

3.1.2. A nivel nacional

Hoyos & Coronel (2018), en la investigación titulada "Evaluación de la calidad de los bosques de ribera de la cuenca del río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, 2017", mediante el uso del índice QBR, evaluaron diversos aspectos como la cobertura vegetal, la organización de la cubierta vegetal y la geomorfología del canal fluvial. Los resultados revelaron una variabilidad significativa en la calidad de los bosques ribereños a lo largo de la cuenca, con áreas de conservación satisfactoria en la parte alta y niveles preocupantes de degradación en la cuenca baja. Esta heterogeneidad sugiere una posible influencia de factores locales en la salud de los ecosistemas ribereños, tales como la presión antropogénica y las prácticas de uso de la tierra. Además, se destacó la utilidad del índice QBR como una herramienta efectiva para evaluar la salud de estos ecosistemas y orientar estrategias de conservación y monitoreo en la región serranía esteparia. Sin embargo, se resaltó la importancia de realizar investigaciones adicionales para comprender mejor los procesos subyacentes que afectan la calidad de los bosques ribereños y su capacidad para brindar servicios ecológicos clave en paisajes de alta montaña como el estudiado.

Marca & Vaca (2021) en su proyecto de investigación titulado “Análisis del potencial ecológico del Guarango (Caesalpinia spinosa) en la comunidad Chingazo Alto, cantón Guano, como una estrategia de protección y recuperación de suelos en zonas de Bosque Andino Seco”, plantearon como objetivo examinar el potencial ecológico del Guarango (Caesalpinia Spinosa) como una estrategia para proteger y recuperar suelos en áreas de Bosque Andino Seco. Se llevó a cabo un análisis del cambio en el uso del suelo mediante el procesamiento de imágenes satelitales de los años 2012, 2016 y 2020, lo que reveló fluctuaciones significativas en la plantación de guarango

a lo largo de estos años, así como un incremento en la exposición del suelo correlacionado con cultivos de ciclo corto. Se realizaron evaluaciones fisicoquímicas y de macronutrientes en áreas con y sin presencia de guarango, mostrando diferencias en parámetros como pH, materia orgánica, nitrógeno y densidad aparente. Estos hallazgos resaltan el impacto positivo del guarango en la mejora de la calidad del suelo en los Bosques Andinos Secos, lo que lo convierte en una especie esencial a fin de combatir el deterioro y erosión del suelo en esta región.

Sarmiento (2019) en su investigación titulada “Evaluación de la calidad del suelo después de la implementación del proyecto instalación reforestación con fines de protección y agroforestal para la recuperación de suelos degradados, en la comunidad de Chapacara”, tuvo como objetivo principal evaluar la calidad de suelo después de la implementación del proyecto de Instalación, reforestación con fines de protección y agroforestal para la recuperación de suelos degradados. Su metodología fue de tipo de investigación fue cuasi experimental y descriptivo con un diseño correlacional; con una muestra de 13 predios tomados de forma aleatoria. Los resultados indican que, de los 13 predios estudiados, ninguno presentó una calidad de suelo satisfactoria en todas sus características. Los resultados se obtuvieron, en cuanto a la característica física, la mayoría mostró una textura adecuada, siendo el 53.8% (7 predios) franco arenoso, el 23.1% (4 predios) franco arcillo arenoso, y el 7.7% (1 predio) franco arcilloso. Sin embargo, en las características químicas, el 100% de los predios mostraron niveles bajos de nitrógeno, fósforo, potasio y capacidad de intercambio catiónico, y el 92.3% (12 predios) tuvieron niveles bajos de pH, mientras que solo el 7.7% (1 predio) mostró niveles adecuados. En cuanto a la característica biológica, todos los predios presentaron bajos niveles de materia orgánica. Estos resultados

indican una preocupante deficiencia en la calidad del suelo en todos los aspectos evaluados.

Chuquichaico (2016) en su investigación titulada “Impacto de la reforestación en la recuperación de los suelos degradados en la cuenca del río monzón - región Huánuco”, tuvo como objetivo principal determinar el impacto de la reforestación en la recuperación de los suelos degradados en la Cuenca del Río Monzón. La metodología optada para el desarrollo del presente estudio, fue mediante el uso de la investigación científica y aplicada, que sirvió para plantear los supuestos teóricos importantes de la tesis, a partir del planteamiento del problema, hasta la constatación de la hipótesis. Cabe señalar que la revisión y recopilación de información, se han realizado a través de las teorías vinculadas con el impacto de la reforestación en la recuperación de suelos degradados por el cultivo de coca ilícita del marco teórico, el aporte brindado por los especialistas relacionados con cada uno de las variables, el mismo que clarifica el tema en referencia. En resumen, los resultados han permitido determinar que la reforestación afecta positivamente a la capacidad de recuperación de los suelos deteriorados de la cuenca del río Monzón. En consecuencia, los objetivos del estudio se cumplieron de acuerdo a lo planeado, y los datos recabados en el estudio lo hicieron posible. Cabe mencionar también que el plan sugerido en cada capítulo hizo que la presentación de la investigación fuera didáctica para el avance de la misma.

Ramos (2017) en su investigación “Reforestación de un área de cinco hectáreas de terreno ubicadas en la parte alta de la micro cuenca de la quebrada blanca en el área circundante a la bocatoma del acueducto municipal ubicada en la vereda el Carmen del municipio de San Juanito meta”, tuvo como objetivo desarrollar un proyecto de Reforestación en la parte alta de la microcuenca de la Quebrada blanca, fuente abastecedora de agua para

el acueducto de la cabecera municipal y las veredas El centro y el Carmen en el municipio de San Juanito-Meta, para estabilizar los terrenos del área. Desarrollo una metodología de investigación correlacional. En la parte superior de la microcuenca de Quebrada Blanca, el proyecto restaurará la parte más importante de la zona deforestada. Se estabilizará la pendiente reforestando cinco hectáreas de terreno. Con la reforestación se protegerá las áreas circundantes al nacimiento del afluente. La estabilización de los cerros preservará el acueducto municipal. El proyecto es viable económica, social y ambientalmente; además, permite recuperar las fuentes hídricas del Municipio de San Juanito Meta, lo que mejora la sostenibilidad ambiental de la región y el nivel de vida de sus habitantes.

3.1.3. A nivel regional y local

Quispe (2021), en su investigación “Evaluación ex post a nivel de culminación del proyecto mejoramiento de los servicios ambientales mediante instalación forestal en la faja marginal de la red vial ENACO - Abra Ccorao del distrito de San Sebastián – Cusco, 2019”, tuvo como objetivo determinar de qué manera la ejecución del proyecto “Mejoramiento de los servicios ambientales mediante la instalación forestal en la faja marginal de la red vial ENACO – Abra Ccorao del distrito de San Sebastián” ha contribuido en la mejora de los servicios ambientales en la zona de ejecución del proyecto para el año 2019. Desarrollo una metodología de investigación correlacional y experimental. Según las conclusiones de la evaluación ex post realizada a la finalización del proyecto en 2015-2016, la principal contribución del proyecto a los servicios ambientales de la zona-01ª0 se concentró en el desarrollo de dos componentes relacionados con los servicios culturales de apoyo y estéticos de la zona. El primero se refiere al aumento en 2.000 (metros lineales) de la superficie forestal en la franja marginal de la carretera, lo que

contribuirá a mejorar el ciclo de nutrientes de los suelos y a proporcionar apoyo contra la erosión y degradación del suelo. Además, pretende mejorar la estética de la franja marginal provocada por la red viaria ENACO-Abra Ccorao. La mejora de los servicios educativos y espirituales prestados a la población beneficiaria, asociada a las comunidades campesinas de Ticapata y Puma marca, fue el foco del segundo componente relativo a la ampliación de la gestión ambiental adecuada. Para ello se crearon cuatro talleres que beneficiaron al 10,40% de la población y demostraron un cambio positivo en ambas situaciones.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Las plantaciones forestales

De Camino y Budowski (1998) manifiestan que las plantaciones bien planificadas y ejecutadas son aquellas que:

> Generalmente no causan problemas ambientales, mientras que las plantaciones mal gestionadas, con especies inapropiadas y sin medidas de protección, pueden tener impactos negativos significativos. Aunque es loable la política de fomentar la reforestación por parte de los gobiernos y otras instituciones, es necesario revisarla periódicamente a la luz de las lecciones aprendidas de los casos exitosos y fracasados. Es fundamental partir de la premisa de que todavía hay espacio para la actividad de reforestación, como se ha evidenciado en el pasado, y que el presente y el futuro ofrecen perspectivas alentadoras.

La forestación tiene efectos significativos en el crecimiento de las localidades rurales, especialmente en aquellas de tamaño pequeño o mediano. Este fenómeno sugiere que las actividades de reforestación son beneficiosas y atractivas tanto desde el punto de vista económico como

social. Esta tendencia resalta la importancia de las iniciativas de forestación y reforestación como impulsores del desarrollo rural sostenible, ya que no solo contribuyen a la conservación del medio ambiente, sino que también generan oportunidades económicas y mejoran la calidad de vida de las comunidades locales (Riella & Ramírez, 2008).

Algunas personas argumentan que plantar especies exóticas es un error y que se deben priorizar las especies nativas. Esta discusión, que lleva mucho tiempo, suele ser emotiva y carece a menudo de fundamentos científicos sólidos. Mientras que el cultivo de plantas exóticas o la cría de animales domésticos no suele generar objeciones, la plantación de árboles despierta fuertes sentimientos y, en ocasiones, una considerable falta de conocimiento. Sin importar si una especie es exótica o nativa, ambas proporcionan servicios y beneficios ecológicos que no son completamente comprendidos por ciertos sectores. (De Camino & Budowski, 1998).

De Camino & Budowski (1998) mencionan que:

> …en los últimos años, en el mundo forestal han surgido diversas críticas en torno a la reforestación. Y aún en relación con las críticas justificadas existen diferentes posibilidades de reducir considerablemente las desventajas encontradas o eliminar completamente las prácticas silviculturales y otras medidas apropiadas (p.128).

Las plantaciones forestales presentan una amplia gama de beneficios económicos, sociales y ambientales, aunque también hay casos en los que algunas plantaciones pueden tener consecuencias negativas en el medio ambiente y la sociedad. En general, las plantaciones pueden ser tanto beneficiosas como perjudiciales, dependiendo de cómo se manejen y desarrollen. (Chuquichaico, 2016)

El deterioro y la perdida de fertilidad del suelo en el Perú es una preocupación que ha ganado relevancia a nivel internacional. En 2015, las Naciones Unidas declararon dicho año como el Año Internacional de los Suelos, reconociendo la importancia crucial de este recurso para la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano. La desertificación del suelo representa una amenaza significativa para las generaciones futuras, ya que compromete la capacidad del suelo para satisfacer las necesidades de las próximas generaciones. Este fenómeno se ve exacerbado por varios factores, incluido el crecimiento urbano descontrolado, la deforestación, la mala gestión de la tierra, prácticas agrícolas inadecuadas, la afectación por sustancias contaminantes, sobreexplotación de pastizales y el fenómeno del cambio climático. Estos factores contribuyen a la degradación progresiva de los suelos, reduciendo su fertilidad y productividad, lo que a su vez puede tener impactos negativos en la seguridad alimentaria, la biodiversidad y el equilibrio ecológico. Es crucial abordar estos desafíos mediante estrategias integrales de gestión del suelo y medidas de conservación que promuevan la restauración de suelos degradados y la prevención de la desertificación, garantizando así la sostenibilidad de los ecosistemas terrestres y la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. (Agencia Efe, 2016)

3.2.2. Propiedades físicas del suelo

García et al. (2014) menciona acerca de las características físicas del suelo lo siguiente:

> “Los suelos para su uso sustentable, manejo y conservación requieren del entendimiento de procesos y propiedades que gobiernan su funcionalidad y del conocimiento del impacto de perturbaciones debida a causas naturales y antropogénicas.”

Según Rucks et al. (2004), El estado físico de un suelo influye en su rigidez y resistencia, la facilidad de penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Conocer las características físicas del suelo, qué factores afectan al desarrollo de las plantas y cómo la actividad humana puede alterar estos atributos y hacerlos improductivos se considera ventajoso para cualquiera que se dedique al uso de la tierra.

La capacidad de los suelos para soportar muchos de los usos a los que los somete el ser humano viene determinada en gran medida por sus características físicas. La rigidez y la resistencia, la facilidad de penetración de las raíces, la aireación, el drenaje y la capacidad de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes son factores todos ellos influidos por el estado físico de un suelo. Entender las características físicas del suelo, cómo afectan al crecimiento de las plantas, cómo puede alterarlas la actividad humana y la importancia de preservar las condiciones físicas ideales del suelo se considera esencial para quienes se dedican al uso de la tierra (Rucks y otros, 2004)

La ausencia de información respecto a las características físicas de un suelo suele dejarlo vulnerable al deterioro, lo que se traduce en la disminución de sus funciones esenciales ecológicas y de su potencial productivo. Esto expone a sus propietarios y a las comunidades dependientes de la agricultura al riesgo de licuefacción, corrimientos de tierras, inundaciones, sequías, escasez de alimentos y otros desastres que amenazan la vida humana y la propiedad. Destaca el hecho de que el suelo es un ecosistema dinámico que está inextricablemente ligado al aire, las rocas, el relieve, la vegetación, los animales, el agua y otros elementos climáticos. Entre otras muchas cosas, todo ello tiende a conferir a los suelos

ciertas cualidades, como la textura, la estructura, la densidad, la porosidad, la profundidad, la pedregosidad, el drenaje y el color. Lo que ahora denominaremos atributos físicos (Pereira y otros, 2011).

3.2.2.1. Textura del Suelo. - El porcentaje de cada uno de los elementos constitutivos del suelo -grueso, medio, fino, limo y arcilla- está representado por la textura. Cuando la proporción de los componentes constituyentes permite que el suelo sea un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de la planta y su nutrición, se considera que tiene una buena textura (Rucks y otros, 2004).

El porcentaje relativo de partículas de suelo de distintos tamaños, como arena, limo y arcilla, se denomina textura del suelo. La textura influye en la biodiversidad, la aireación del suelo, la estructura, la disponibilidad y retención de agua y la regulación del suministro de nutrientes. Uno de los elementos clave que influyen en el rendimiento de los cultivos es la capacidad general de retención de agua del suelo, que puede estimarse aproximadamente con un mejor conocimiento de la clase de textura del suelo (FAO, 2022).

Ejemplos de evaluación:

Textura gruesa. - La cohesión se ve dificultada por la percepción de partículas gruesas en el suelo. Normalmente, los suelos de textura gruesa son pobres en nutrientes, secos y drenan rápidamente.

Textura media. - El suelo presenta una composición balanceada de arena, limo y arcilla, sin que alguna de estas partículas predomine de manera significativa.

Textura fina. - El suelo es realmente liso y blando. Tiene buena absorción de nutrientes y fertilidad, aunque puede producir tapones impenetrables.

Pobre. - Para el suelo, la clase de textura es un elemento limitante. Puede ser demasiado fina y dificultar el trabajo, o puede ser demasiado gruesa y perder agua.

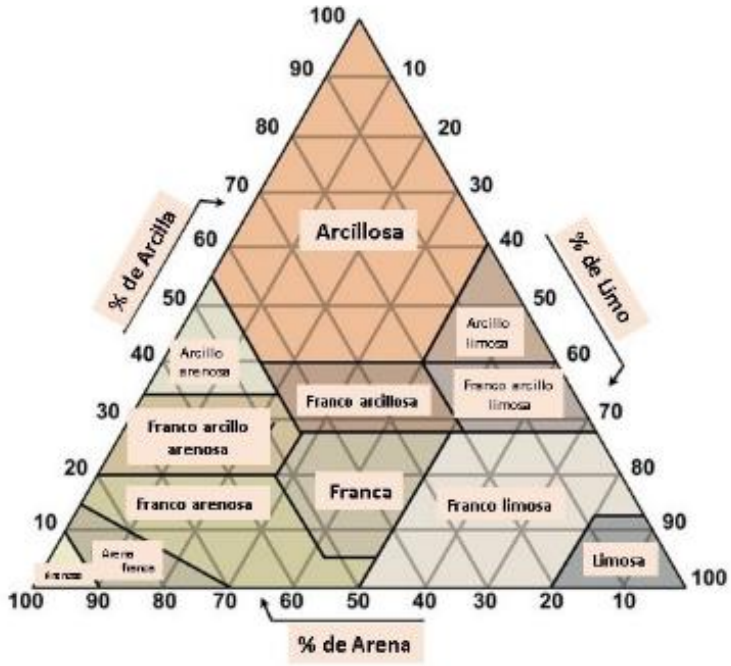
Moderado. - El movimiento del agua y el aire, así como la formación de raíces, no están restringidos por la clase de textura.

Bueno. - El suelo es rico en fertilidad y tiene una textura que facilita la absorción de nutrientes sin impedir el crecimiento de las raíces.

3.2.2.2. Clases de Textura. - Para determinar la textura, se recurre a varios métodos. Se utilizan cada vez más los diagramas triangulares, siendo el triángulo de referencia un triángulo rectángulo o un triángulo equilátero. Se usa actualmente, de un modo casi unánime, un triángulo equilátero. El triángulo de textura del suelo se utiliza para determinar el nombre de la textura del suelo. Este triángulo se utiliza para garantizar que frases como «arcilla» o «marga» tengan siempre el mismo significado, ya que existen doce tipos diferentes de textura del suelo. Cada textura representa un porcentaje concreto de arcilla, limo o arena. En general, un lado del triángulo simboliza la arcilla, el otro el limo, el tercero la arena y el tercero la arcilla. Cada uno de sus lados corresponde a un eje graduado de 10 en 10, de 0 a 100, sobre el que se transmite la cantidad del elemento que representa (America, 2022).

Figura 1

Triangulo de Textura



Nota. *USDA-NCRS.* (America, 2022)

Cuando se dispone del análisis granulométrico de un suelo, la cantidad de arcilla, limo y arena que contiene determina un punto dentro de una celda del triángulo. A continuación, este punto puede identificarse y recibir un nombre asimilándolo a la clase textural que representa esa celda, como arcilla arenosa, marga, etc. (America, 2022).

3.2.2.3. Porosidad del Suelo. - Respecto a la porosidad, Rucks et al. (2004) plantean que son “las propiedades del suelo que determinan el crecimiento radicular y la dinámica del aire y del agua. Estas propiedades del suelo están determinadas por las características cuantitativas y cualitativas del espacio del suelo no ocupado por sólidos, denominado espacio poroso” (p.10)

Según Rucks et al. (2004), Dentro del espacio poroso se puede distinguir entre macro poros y micro poros. Los primeros son la zona principal donde crecen las raíces y se encargan del drenaje y la aireación del suelo, ya que

son incapaces de retener el agua en contra de la gravedad. Los segundos son los que retienen el agua, parte de la cual pueden utilizar las plantas. La suma de los macro poros y micro poros del suelo es su porosidad total, o espacio poroso. La textura y la estructura del suelo determinan las propiedades del espacio poroso.

3.2.2.4. Estructura del suelo.

Rucks et al. (2004), Es el tipo o la forma en que se agregan las partículas de suelo. Según el tipo de estructura, los suelos pueden ser:

- Laminar
- Prismático
- En bloque
- Esferoidales

Según la FAO (2019), La forma en que las distintas partículas de arena, limo y arcilla se disponen juntas define la estructura del suelo. Los agregados están formados por partículas discretas que parecen más grandes cuando están agrupadas.

La estructura es determinada en el espacio entre sí mismas, que son predominantemente macro porosos para lo cual, según el nivel de observación, se puede hablar de macro estructura o microestructura. La macro estructura, es el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista. La microestructura es el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias; de ella depende en alto grado la macro estructura.

Tabla 2

Tipos de estructuras, con datos de suelos

Tipo de estructura	% mo	% arcilla	% Sat. Bases	% Sat en Ca	% Sat en Na	% Sat en Na	% Sat. en Al	Suelo
Granular	7	45	90	75	0.81	7.0	0.0	A
Bloques angulares	5	25	70	35	1.6	5.6	0.0	B
Grano simple	1.5	7	34	20	0.05	5.1	20.0	C
Laminar y grano simple	5	9	96.5	25	25	6.5	0.0	D
Columnar	1	35	100	20	45	8.5	0.0	C

Nota.*Rucks et. al (2004)*

3.2.2.5. Humedad. - La humedad del suelo se refiere a la cantidad de agua presente en el suelo en relación con su capacidad de retención de agua. Es un parámetro importante que influye en muchos procesos biológicos y físicos del suelo, así como en el crecimiento de las plantas, se mide típicamente como contenido de agua volumétrico, que expresa la proporción de volumen de agua respecto al volumen total del suelo. Esta medida se expresa generalmente como un porcentaje.

La humedad del suelo es una característica expresada en porcentaje que refleja la cantidad de agua presente en el mismo, la cual está determinada por: la textura, estructura, porosidad, profundidad, contenido de materia orgánica y actividad biológica. El suelo es un sistema natural que difícilmente se encuentra en equilibrio ya que continuamente sufre alteraciones en sus propiedades físicas, las cuales comúnmente se deben al contenido de humedad. Esta característica del suelo puede ser el factor ambiental más difícil de manipular, pues aún en un ambiente controlado (invernadero) es difícil de mantenerla en niveles adecuados. Esta situación se debe principalmente a que esta cualidad del suelo interactúa con varios factores y

procesos internos como: la temperatura del aire, la transpiración de la planta y evapotranspiración del suelo (Fertilab, 2019)

3.2.2.6. Densidad. - La densidad del suelo, también conocida como densidad aparente del suelo, es una medida que describe cuánta masa o peso de suelo se encuentra en un volumen determinado. En otras palabras, es la masa del suelo por unidad de volumen y se expresa típicamente en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3) o en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3).

El peso volumétrico del suelo es importante porque influye en diversas propiedades y procesos del suelo, incluyendo su capacidad para retener agua y nutrientes, la porosidad del suelo, la facilidad de la raíz de las plantas para penetrar en el suelo y la resistencia a la compactación.

La densidad aparente del suelo se define como la masa de una unidad de volumen de suelo seco (105°C). Este volumen incluye tanto sólidos como los poros, por lo que la densidad aparente refleja la porosidad total del suelo. Valores de densidad aparente bajos (generalmente por debajo de 1,3 kg dm-3) indican generalmente (FAO, 2009)

3.2.2.7. Propiedades químicas del suelo. - Estas propiedades del suelo influencian en la penetración y absorción de las raíces, es muy preponderante determinar los parámetros químicos del suelo, además del contenido de oxígeno, la penetración de las raíces en el suelo está influida por la densidad aparente del suelo. En suelos arenosos, con una densidad aparente de 1,75 g/cm3 y en suelos arcillosos con densidades aparentes entre 1,46 y 1,63 g/cm3 se restringe la penetración de las raíces. El valor del impedimento mecánico que detiene el desarrollo de la raíz es de 1,33 dg/cm2. (Owem, 2011)

Según Acevedo et al. (2005) Las propiedades que afectan a la conexión entre el suelo y las plantas, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y la disponibilidad de nutrientes y agua para los microorganismos y las plantas son ejemplos de indicadores de la calidad del suelo.

(Fertilab, 2019) Podemos enumerar las siguientes características del suelo que influyen en su composición química: pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de materia orgánica (MO).

3.2.2.8. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). - Capacidad de las cargas negativas del suelo para retener cationes. La cantidad y disponibilidad de nutrientes para la planta vienen determinadas por esta característica; los suelos arenosos con escasa materia orgánica tienen una CEC baja (Fertilab, 2019).

(Fertilab., 2015) , Esta característica química se refiere a la cantidad total de cargas negativas accesibles en la superficie de las partículas del suelo. También puede describirse como la cantidad total de carga negativa, o el número de cationes intercambiables que un determinado suelo puede o puede contener. Comprender la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de un suelo es esencial, ya que muestra la capacidad del suelo para retener e intercambiar nutrientes. Además, la CIC influye directamente en la frecuencia y cantidad de aplicación de fertilizantes. Las arcillas y la materia orgánica son los elementos que más influyen en la CIC. Con una capacidad de 200-400 cmol (+)/kg, la materia orgánica tiene una mayor CIC que la arcilla, que tiene una capacidad de 10-150 cmol(+)/kg, los cmol(+)/kg = meq/100g. Los aportes de materia orgánica además de provocar un incremento en la CIC, también mejora las propiedades físicas del suelo, incrementa la infiltración de agua,

mejora la estructura del suelo, provee de nutrimentos a la planta y disminuye las pérdidas por erosión. Por el contrario, los aniones y cationes del suelo actúan de forma algo diferente. Dado que los compuestos insolubles se desarrollan rápidamente, el fosfato se retiene con firmeza. La retención de sulfato es escasa. El cloruro y el nitrato no se retienen en el suelo, sino que fluyen libremente con el agua del suelo.

3.2.2.9. Conductividad Eléctrica (CE). - La cantidad de sales disueltas o ionizadas en la solución del suelo determina la capacidad de éste para conducir la electricidad; cuanto mayor sea la CE, mayor será el contenido de sales. Un nivel adecuado de CE en los sustratos es de 1 a 2 dS/m, y se aconseja un riego abundante con agua de baja salinidad para reducir la CE de un suelo con problemas de sales.

3.2.2.10. pH. - Dado que suele estar relacionado con otras cualidades, como el grado de saturación de bases, el pH del suelo –indicador del nivel de acidez o la alcalinidad- suele considerarse una característica muy esencial. Es posible evaluar la acidez o alcalinidad determinando la concentración de iones hidroxilo (OH-) e iones hidronio (H+). Una relación se considera ácida si la concentración de iones H+ es mayor, y alcalina si la concentración de iones OH- es mayor. (Vasquez, 2019).

Según Palomin (2015), indica que son necesarias grandes dosis de fertilizante fosforado para los suelos ácidos (pH<5), que suelen tener poco contenido de fósforo accesible para las plantas. Por lo tanto, es factible demostrar la causa de la escasa cantidad de fósforo accesible en cada uno de ellos considerando los valores de pH del suelo que se obtuvieron para cada sistema de uso, que se encuentran en el rango ácido.

Tabla 3

Rangos interpretativos para el pH

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4.5
Fuertemente ácido	4.6 – 5.4
Moderadamente ácido	5.5 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

***Nota**. Elaborado por Vásquez (2019)*

Los suelos minerales con valores de pH comprendidos entre 5,0 y 6,5 e inferiores a 5,0 son ideales para el crecimiento de bacterias y actinomicetos. Cuando el pH es inferior a 5,5, su actividad disminuye considerablemente. Por ejemplo, la amonificación disminuye considerablemente a pH más bajos, mientras que la nitrificación y la fijación del nitrógeno atmosférico sólo tienen lugar cuando el pH es superior a 5. Sin embargo, las plantas pueden prosperar en una amplia variedad de valores de pH, lo que hace difícil elegir la mejor respuesta. (Vasquez, 2019)

3.2.2.11.Nitrógeno disponible. - Como uno de los componentes primarios de sustancias químicas necesarias como aminoácidos, proteínas, enzimas, nucleoproteínas, ácidos nucleicos, paredes celulares, clorofila en las plantas y otras sustancias vegetales, el nitrógeno es el nutriente esencial más importante para el crecimiento de las plantas.

La cantidad de nitrógeno en el suelo, en un momento dado, es una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y esta velocidad va a depender de la temperatura,

humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH y otros factores (Vasquez, 2019).

Tabla 4

Rangos interpretativos para el nitrógeno total

Nivel	% N total
Bajo	N < 0.1
Medio	0.1 ≤ N < 0.2
Alto	N ≥ 0.2

Nota. *Elaborado por Vásquez (2019)*

3.2.3. Materia orgánica del suelo

Según (Vasquez, 2019), Tras la caída de los materiales al suelo y varias veces antes, las bacterias y los microbios inician un rápido proceso de transformación utilizando los residuos orgánicos como combustible. Los nutrientes de los restos orgánicos y el dióxido de carbono se liberan como parte del proceso de descomposición. El agua constituye entre el 75 y el 90 por ciento de los residuos orgánicos. Los carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, lípidos y otros componentes constituyen una porción menor de la materia orgánica del suelo, que en su mayor parte se compone de los llamados compuestos húmicos.

Tabla 5

Intervalos de materia orgánica en el suelo

Nivel	Rango (%)
Bajo	<2
Medio	2 a 4
Alto	>4

Nota*. Elaborado por Vásquez (2019)*

3.2.3.1. Factores que afectan las salidas de COS (carbono orgánico en el suelo). - Las pérdidas de carbono del suelo se producen como resultado de la descomposición y transformación del carbono presente en los residuos orgánicos del suelo en dióxido de carbono. Por lo tanto, los procesos que aceleran la descomposición contribuyen a un aumento en estas pérdidas. Es importante tener en cuenta que estos procesos de descomposición son parte natural del ciclo del carbono en el suelo, pero su aceleración puede tener consecuencias negativas, tales como la reducción de la materia orgánica y la baja de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, comprender los mecanismos que regulan la descomposición del carbono en el suelo es fundamental para gestionar de manera efectiva la salud y la calidad del suelo en diferentes sistemas agrícolas y ecosistemas naturales. (Docampo, 2012)

La tasa de perdida está compuesta por:

- Tipo de material vegetal y animal que penetra en el suelo.
- Las condiciones climáticas (temperatura, radiación, precipitación).
- Contenido de arcilla del suelo.

Existen diversas actividades que pueden tener un impacto significativo en la conservación del carbono del suelo y en su interacción con el medio ambiente. Estas actividades pueden incluir prácticas agrícolas, como la labranza excesiva, el uso intensivo de agroquímicos y la deforestación, así como factores como la erosión del suelo, el sobrepastoreo y la quema de biomasa. Estos procesos pueden alterar el ciclo del carbono en el suelo, afectando su capacidad para almacenar y retener carbono, lo que a su vez puede tener consecuencias importantes para la fertilidad del suelo, la calidad del agua y la estabilidad de los ecosistemas.

3.2.4. Acciones de reforestación

3.2.4.1. Zanjas de infiltración: Las zanjas de infiltración son prácticas de conservación de suelos y aguas que permiten captar y almacenar

temporalmente el agua de lluvia, facilitando su infiltración en el terreno, reduciendo la escorrentía superficial, la erosión y mejorando la recarga hídrica (FAO, 2015). Se implementa para la recargar acuíferos y aumentar la disponibilidad de agua en el subsuelo, reducir la erosión al disminuir la velocidad del escurrimiento, mejorar la humedad del suelo, favoreciendo cultivos y la regeneración de pastos o bosques, favorecer la reforestación, porque ayudan a que los árboles jóvenes tengan agua suficiente en etapas críticas. Tiene algunas características como el diseño de las dimensiones que son aplicados según el requerimiento de área intervenida, que puede variar por la pendiente, por la topografía, vegetación y otras características. Las zanjas de infiltración se trazan siguiendo las curvas de nivel que pueden ser 0.4m de profundidad. 0.6m de ancho y 3.0m de largo dejando un espacio de 0.50m.

3.2.4.2. Acuerdos comunales: dentro de los acuerdos comunales se encuentra la declaración de zona intangible, para cualquier tipo de actividad, ya sea agrícola, ganadera y/o otros. Los acuerdos comunales representan la capacidad y el compromiso que tienen con el medio ambiente.

3.2.4.3. Clausura del área: representa una forma de conservar la reforestación sin la intervención de animales tanto domésticos como salvajes, mejorando significativamente el desarrollo de las plantas.

3.2.5. Forestación y Reforestación

3.2.5.1. Forestación. - La modificación de la cobertura del suelo es un tema ampliamente discutido y estudiado en el ámbito ambiental, especialmente debido a la creciente preocupación de los gobiernos al respecto. Este fenómeno se atribuye al rápido crecimiento de los asentamientos humanos en las últimas décadas, lo que ha generado una mayor demanda de recursos naturales para satisfacer las necesidades de la población. Esta tendencia plantea desafíos significativos para la conservación del medio ambiente y

resalta la importancia de adoptar prácticas de desarrollo sostenible que minimicen el impacto negativo en la cobertura del suelo y en los ecosistemas en general. (Bautista & Alcaraz, 2011)

Chen & Yang (2008), afirma que el análisis de los cambios en la ocupación y el uso del suelo es una forma de determinar cómo se expresa este deterioro del desarrollo y sirve de guía útil para tomar decisiones sobre el suelo del territorio.

La Organización de las naciones unidas especializada en Agricultura y alimentación, conocida como la “FAO” (2006), certifico que, en los últimos diez años del siglo XX se perdieron anualmente 8,9 millones de hectáreas de bosques y selvas. Sin embargo, se preveía que este ritmo había aumentado a 13 millones de hectáreas anuales en 2010.

Por tanto, una estrategia comúnmente empleada frente al cambio climático, una acción importante es conservar y forestar las áreas afectadas por la degradación. No obstante, como señaló Jobbágy et al. (2006) , estas acciones pueden tener consecuencias negativas. Las plantaciones de árboles exóticos, en particular, tienen el potencial de inducir cambios significativos en la función de los ecosistemas, llegando incluso a afectar la provisión de servicios ecológicos esenciales como el suministro de agua y nutrientes.

3.2.5.2. Reforestación. - Según Ríos (2018), la reforestación implica el establecimiento y cuidado de vegetación forestal en áreas que no son naturalmente boscosas, con el propósito de conservar, restaurar o utilizar comercialmente los recursos forestales. Este proceso se lleva a cabo mediante la plantación y el cultivo de especies vegetales, tanto nativas como exóticas, con el fin de cumplir diversos objetivos ambientales, económicos y sociales. La reforestación juega un papel crucial en la protección de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático, la prevención de la erosión del suelo y la generación de ingresos a través de productos forestales

sostenibles. Es un elemento importante destinada a la rehabilitación de ambientes naturales afectados y la creación de hábitats adecuados para la vida silvestre, contribuyendo así al equilibrio ambiental y al bienestar humano. Según la comisión nacional forestal (2010), las pérdidas de carbono del suelo se producen como resultado de la descomposición y transformación del carbono presente en los residuos orgánicos del suelo en dióxido de carbono. Por lo tanto, los procesos que aceleran la descomposición contribuyen a una mayor liberación de carbono hacia la atmósfera.

La reforestación se ha convertido en una actividad forestal de gran relevancia y alto impacto, especialmente en vista de las elevadas tasas de deforestación registradas, como señalan Wightman & Cruz en (2003). En las últimas décadas, la pérdida de cobertura forestal ha aumentado de manera exponencial. Esta labor es crucial para preservar el equilibrio del medio ambiente y los recursos indispensables para la vida, como el agua, el aire y el suelo. Además, la reforestación desempeña un papel fundamental en la protección de otros elementos del ecosistema. Por lo tanto, resulta crucial implementarla en áreas cercanas a cuencas hidrográficas y en zonas protegidas, como los parques nacionales.

3.2.6. Guía de reforestación

Según Figueroa et al. (2019) nos ofrece una metodología de reforestación y caracteriza la replantación como una actividad forestal crucial para reparar y hacer productivas las regiones degradadas y deforestadas.

Planeación. - Cinco elementos esenciales determinan cómo se planifica un proyecto forestal.:

1. La selección correcta de especies en el sitio a reforestar.

2. El uso de germoplasma de la mejor calidad genética y fenotípica posible con un suministro oportuno y permanente.

3. Un buen sistema de producción de planta y transporte de ésta al sitio a reforestar.

4. Plantar en la época adecuada para asegurar el mayor porcentaje de sobrevivencia de la especie.

5. La aplicación de técnicas silvícolas apropiadas para favorecer el desarrollo de las plantas y un buen manejo del predio reforestado.

Selección del emplazamiento: Los lugares seleccionados para la reforestación deben reunir las cualidades medioambientales mínimas para garantizar la sostenibilidad del proyecto. Los esfuerzos de reforestación se realizan con frecuencia en zonas totalmente degradadas, normalmente como consecuencia del uso agrícola y de los daños causados por el pastoreo excesivo o la tala mal gestionada. Se aconsejan las visitas de campo para conocer y examinar a fondo las características biológicas y sociológicas del lugar, así como para identificar las condiciones medioambientales desfavorables que deben abordarse para lograr una reforestación satisfactoria.

Elección de las especies a reforestar. - La elección de especies dependerá del uso deseable del área a reforestar, “con fines de restauración, plantación comercial, uso de material vegetativo” para ello conviene elegir las especies de la región que mejor se adapten a las condiciones actuales del ecosistema en cuanto a suelo, clima, topografía, disponibilidad de agua, vegetación natural y los objetivos de la plantación, una inadecuada selección de especies conduce inevitablemente al fracaso de la reforestación

Suministro de la planta. - El suministro de una planta es un conjunto de elementos que garantizan que la planta será transportada al campo en las circunstancias ideales para su establecimiento.

Trabajos previos a la reforestación. - El objetivo de la preparación del terreno es mejorar las condiciones del suelo para garantizar una mayor supervivencia y facilitar el trabajo de plantación. Esta tarea debe completarse antes de la reforestación.

Diseño de la plantación. -En función de las distintas características topográficas del terreno, esta etapa del procedimiento determina dónde se plantarán los árboles. Dado que la plantación debe tener al menos el doble de densidad que en estado adulto, es fundamental tener en cuenta que el espacio entre plantas dependerá de la separación que la especie requiera en estado adulto.

Establecimiento de la plantación. - Con el fin de concentrar los recursos disponibles para favorecer el crecimiento inicial, la supervivencia y el posterior desarrollo de la planta, el establecimiento adecuado de una plantación toma en cuenta una serie de etapas o actividades encaminadas a modificar el sitio hacia una mejor condición del suelo y la mejora de sus factores limitantes (limpieza del terreno a plantar, fertilidad del suelo, preparación del sitio, entre otros).

Técnicas de plantación. - Dependiendo de los métodos, el tipo de planta, los recursos disponibles y el personal, la plantación puede realizarse utilizando diversos equipos.

Protección. - El objetivo de esta acción es evitar que posibles agentes bajo control humano destruyan o perjudiquen la replantación.

Evaluación y seguimiento. - La fase en la que debe realizarse la evaluación dependerá de la variable de interés. La evaluación de la capacidad de supervivencia debe realizarse después del período seco inicial si ése es el

objetivo. Durante la recogida de datos sobre el terreno, además de la supervivencia, pueden adquirirse diversas variables, como la salud y el vigor de la planta.

3.2.7. Clasificación de tierras de acuerdo a su capacidad de uso mayor

Ministerio de Agricultura. (2009). La clasificación de tierras según su Capacidad de Uso Mayor (CUM) es un sistema técnico utilizado en el Perú (regulado por el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, D.S. N.° 017-2009-AG), que ordena los suelos de acuerdo con su vocación natural de uso, considerando factores como pendiente, profundidad, fertilidad, drenaje, erosión y limitaciones climáticas.

- Tierras de uso agrícola (A): Aptas para cultivos en limpio y permanentes, presentan suelos profundos, fértiles, con poca pendiente y bajo riesgo de erosión, subclases: A1 (óptimas), A2 (limitaciones moderadas), A3 (limitaciones fuertes). (MINAGRI, 2015).
- Tierras de uso pecuario (P): No son aptas para agricultura intensiva, pero sí para pastos naturales o cultivados, subclases: P1 (pastos cultivados), P2 (pastos naturales), P3 (pastoreo extensivo), (MINAGRI, 2015).
- Tierras de uso forestal (F): adecuadas para producción forestal y protección, presentan pendientes fuertes, suelos poco profundos y riesgo de erosión, subclases: F1 (productivas), F2 (protección y producción restringida), F3 (protección estricta), (MINAGRI, 2015).
- Tierras de protección (X): no son aptas para agricultura, ganadería ni forestación productiva, se destinan a la protección de ecosistemas frágiles, fuentes de agua, cabeceras de cuenca y conservación de biodiversidad, (MINAGRI, 2015).

3.2.8. Protocolo de muestreo de suelos

"El muestreo de suelos debe realizarse en áreas homogéneas, tomando entre 10 y 20 sub muestras distribuidas en zigzag, mezcladas adecuadamente para conformar una muestra compuesta representativa. La profundidad de muestreo dependerá del tipo de cultivo y del objetivo del análisis" (MIDAGRI, 2023).

Preparación del muestreo

Definir claramente qué se va a medir (fertilidad, nutrientes, acidez, contaminación, textura) y para qué se hará el muestreo (decisión de fertilización, diagnóstico del suelo, mapeo de variabilidad).

Delimitación del área

- Identificar la parcela o la unidad de análisis: tamaño, cultivo, manejo, pendiente, tipo de suelo. Dividir la parcela en zonas homogéneas en cuanto a uso, cultivo, pendiente, textura o manejo agronómico (esto mejora la representatividad). hay variabilidad grande se recomienda más zonas homogéneas.

Determinar la profundidad del muestreo

Para análisis de fertilidad agrícola comúnmente se toma la capa entre 0-20 cm o 0-30 cm (dependiendo del cultivo). En pasturas, suelos altoandinos, o estudios específicos puede variar. Por ejemplo, el protocolo de INIA para pasturas indica profundidades particulares.

Selección del número de sub muestras

- Dentro de cada área homogénea se tomará un número de puntos (sub muestras). Ejemplo: 10 a 20 puntos dependiendo del tamaño de la parcela y la heterogeneidad. Las sub muestras luego se mezclan para formar una muestra compuesta que representa la zona.

Toma de muestras en campo

Herramientas y limpieza

- Asegúrate que las herramientas estén limpias para evitar contaminación cruzada (palas, barrenos, cuchillos, cajas de muestra). Registrar: nombre de parcela, zona, fecha, profundidad, cultivo, coordenadas si es posible.

Técnica de muestreo

- Evitar zonas que no sean representativas como orillas, accesos de maquinaria, zonas de caminos, áreas de vertido, si el objetivo es la parcela general. Las sub muestras se distribuyen en forma de zig-zag, o en una cuadrícula; la idea es cubrir la variabilidad espacial. Por ejemplo, moverse en forma de 'S', o tomar puntos al azar dentro del área homogénea. En cada punto extraer el suelo a la profundidad definida. Por ejemplo, de 0-20 cm, tomando una tajada de suelo de cierta anchura.

Extracción de sub muestras

- Retirar la capa de hojarasca o materia vegetal superficial si está presente. Extraer el suelo: por ejemplo, con una pala o barreno, hasta la profundidad indicada. Tomar la muestra asegurando que sea representativa (no solo la superficie, sino todo el perfil deseado).

Mezclado y muestra compuesta

- Colocar todas las sub muestras de la zona homogénea en un contenedor limpio y mezclar bien. Luego tomar de esa mezcla la cantidad requerida (por ejemplo 250 g) para enviar al laboratorio. Esto mejora la representatividad.

Etiquetado y transporte

- Etiquetar cada muestra con identificación clara: parcela, zona, profundidad, fecha, nombre del muestreador. Transporte: mantener muestras en bolsas limpias, protegidas de contaminación, humedad excesiva, y en lo posible con ambiente fresco. Si hay requisitos de laboratorio especiales (por ejemplo, para contaminantes volátiles) seguir los protocolos específicos. Por ejemplo, en muestreo para contaminación se indica cadena de custodia, herramientas especiales, perfiles de conservación.
- Envío al laboratorio y análisis: Asegurarse que el laboratorio tenga información de la muestra (campo, profundidad, características). Confirmar que los análisis solicitados (pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, textura, etc) sean adecuados para el objetivo. Al recibir resultados, registrar y vincularlos al campo muestreado.
- Interpretación y uso de resultados: Evaluar los parámetros resultantes conforme a tablas técnicas de fertilidad o calidad de suelo agrícola, o según recomendaciones de cultivo. Tomar decisiones agronómicas: fertilización, enmiendas, corrección de acidez o salinidad, rotación de cultivos.
- Manejo de las muestras: homogenización, conservación, rotulado y transporte hacia el laboratorio. Medidas de seguridad ocupacional: uso de equipos de protección personal y prevención de riesgos durante el trabajo de campo. Determinación de puntos de muestreo: selección estratégica de las coordenadas y profundidades para garantizar representatividad en los análisis.

3.2.9. Prácticas agronómicas y Practicas mecánica-estructurales de conservación del suelo

Las prácticas agronómicas son el conjunto de técnicas y procedimientos aplicados al manejo del suelo, agua, cultivos y recursos naturales, orientados a mejorar la productividad agrícola y garantizar la sostenibilidad de los agro ecosistemas. Incluyen la preparación del terreno, siembra, fertilización, manejo del riego, control de plagas, cosecha y conservación de suelos y agua, (FAO, 2013).

Principales prácticas agronómicas

1. Preparación del suelo: Labranza, subsolado, arado y rastreo, Labranza mínima o cero labranzas para conservar la estructura del suelo,

2.Siembra y establecimiento del cultivo: Elección de variedades mejoradas o nativas según condiciones locales, densidad y marco de siembra adecuados, uso de semilla certificada.

3. Manejo de la fertilidad: aplicación de abonos orgánicos (estiércol, compost, guano de isla), fertilización química balanceada, prácticas de rotación y asociación de cultivos que aportan nutrientes (ej. leguminosas fijadoras de nitrógeno).

4. Conservación de suelos y agua: terrazas, andenes, barreras vivas, zanjas de infiltración, acequias de riego, mulching (cobertura de residuos vegetales).

5. Manejo del agua: riego tecnificado (goteo, aspersión), canales de riego y drenaje, programación del riego según el ciclo fenológico.

6. Manejo fitosanitario: control integrado de plagas y enfermedades, uso racional de pesticidas, métodos biológicos y culturales (rotación, trampas, biocontroladores), (FAO, 2013).

7.Cosecha y pos cosecha: cosecha en el punto óptimo de madurez, técnicas de almacenamiento para evitar pérdidas, selección y clasificación del producto, (FAO, 2013).

*3.2.10. Plantaciones con Queuña (***Polylepis racemosa***):*

Conservación del suelo

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2018), las plantaciones de Polylepis contribuyen significativamente a la estabilidad del suelo y a la reducción de la erosión en zonas de ladera. Las raíces de la queuña fijan y estabilizan el suelo, reduciendo la erosión causada por lluvias y vientos fuertes en zonas altas. Su cobertura vegetal mejora la infiltración del agua y disminuye la escorrentía superficial, ayudando a recuperar suelos degradados.

- Regulación hídrica

Las especies de Polylepis actúan como reguladores naturales del ciclo hídrico, manteniendo la humedad del ecosistema altoandino (INIA, 2020).

Las queuñas ayudan a retener humedad en el suelo y en los ecosistemas de montaña. Favorecen la recarga de manantiales y bofedales, mejorando la disponibilidad de agua durante la estación seca. Su hojarasca incrementa la capacidad de retención de agua en el suelo.

- Captura de carbono y mitigación del cambio climático

La queuña tiene alta capacidad de fijar carbono en su biomasa y en el suelo. Ayuda a mitigar los efectos del cambio climático, al absorber dióxido de carbono (CO_2) atmosférico. De acuerdo con el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2019), las plantaciones con especies nativas como la queuña contribuyen a la mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono.

- Restauración de ecosistemas altoandinos

Es una especie nativa y adaptada a altitudes entre 3 500 y 4 800 m s. n. m. Su plantación facilita la recuperación de bosques andinos, que son hábitats para diversas especies endémicas de fauna (aves, insectos, mamíferos). Favorece la biodiversidad y el equilibrio ecológico. Los bosques de Polylepis son refugio de especies altoandinas endémicas y fundamentales para la conectividad ecológica de los Andes (MINAM, 2018).

- Beneficios socioeconómicos y culturales

Proveen leña, sombra, materia orgánica y protección para cultivos y ganados. Tienen valor cultural y espiritual para comunidades andinas, que los asocian con el equilibrio de la naturaleza. Su reforestación genera empleo local y fortalecimiento comunitario en proyectos de conservación. La recuperación de bosques de queuña promueve la participación comunitaria y mejora el bienestar local en zonas rurales altoandinas (SERFOR, 2019).

3.3. Definición de términos

- **Degradación de suelos:** El suelo tiene una composición compleja, en las cuales interactúan la biosfera, hidrosfera, atmosfera y litosfera, a consecuencia de esto, su génesis está en la parte superficial de la corteza terrestre. Debido al tiempo necesario para su formación, este recurso podría considerarse no renovable, ya que se trata de una estructura muy activo desde el punto de vista biológico que presenta actividades químicas, físicas y biológicas en la roca madre (Gracia, 2013).

  Loor & Zambrano (2016) indican que, la degradación del suelo se refiere a cambios significativos en las características del suelo debido a actividades humanas inadecuadas o procesos naturales. Estos cambios representan una amenaza para la capacidad del suelo para sostener la vida vegetal y animal, especialmente en entornos frágiles como los ambientes estériles y semiáridos. La degradación del suelo puede resultar en una disminución de su productividad,

lo que a su vez puede hacer que las tierras sean inutilizables para su aprovechamiento. Esto puede llevar al abandono de las tierras o a la despoblación de ciertas áreas.

- **Conservación de suelos:** La conservación se refiere a la gestión óptima de los recursos naturales y la protección del medio ambiente, con el objetivo de garantizar su uso sostenible.

  Las actividades agronómicas, de fertilidad, agroforestales y estructurales son todos componentes del sistema de conservación del suelo. Para que este enfoque sea eficaz en la protección del suelo y el aumento de la productividad, debe aplicarse de la forma más completa posible. Si se considera esta combinación, pueden alcanzarse simultáneamente los siguientes objetivos:

  - Impedir que la tierra sea arrastrada por la corriente es el método para controlar la erosión. Las prácticas de conservación del suelo pretenden reducir la velocidad a la que el agua pasa sobre el suelo (escorrentía). Esto se debe a la gran cantidad de suelo fértil que se pierde en cada temporada de lluvias y que la corriente se lleva al río o a otros depósitos. Esta pérdida erosiva hace que se pierda la capa productiva del suelo y se formen cárcavas.
  - Aprovechar mejor el agua: aumentar la infiltración del agua en el suelo. Toda el agua de escorrentía que no se filtra en el suelo se desperdicia; los cultivos no pueden utilizar esta agua. Los proyectos de gestión del agua y el suelo permiten almacenar y/o utilizar los recursos hídricos, proporcionando al suelo un uso sostenible.
  - Aumentar la fertilidad del suelo y evitar más eficazmente enfermedades y plagas. Además de considerar la creación de infraestructuras físicas para la gestión del suelo, la conservación del suelo también incluye la aplicación de prácticas que mejoren

la fertilidad del suelo para evitar pérdidas por erosión y aumentar rendimiento agrícola (República de Honduras Secretaría de Educación, 2014).

- **Degradación ambiental:** Es el proceso negativo que altera los recursos naturales, reduciendo su calidad o volviéndolos estériles, a menudo como resultado de un desequilibrio ecológico.

  Zurrita al et. (2015) menciona los siguientes conceptos como degradación ambiental:

  - Podemos destacar que la degradación medioambiental es el deterioro del medio ambiente causado por la pérdida de ecosistemas, la extinción de especies y el agotamiento de recursos como el suelo, el agua y el aire.
  - Se describe como cualquier modificación o cambio del entorno que se considera perjudicial o no deseado.
  - También puede describirse como el conjunto de mecanismos que degradan o prohíben el uso humano de un determinado recurso.
  - La forma en que una nación lleva a cabo su actividad económica y los métodos que emplea para utilizar sus recursos naturales están directamente relacionados con el deterioro del medio ambiente.

- **Impacto ambiental:** se refiere a los cambios en el medio ambiente provocados por sucesos naturales o causados por el hombre. Las evaluaciones de impacto ambiental se utilizan para intentar mitigar los efectos.

  Peña et al. (2023), se refiere a los cambios en el medio ambiente provocados por sucesos naturales o causados por el hombre. Las evaluaciones de impacto ambiental se utilizan para intentar mitigar los efectos.

  Algunas de las características del impacto ambiental son:

  - El nivel de impacto tiene.
  - Cuánto tiempo persiste el problema.

- La naturaleza de la superficie a la que afecta.
- La frecuencia de aparición.
- Estos rasgos nos permiten clasificar los impactos ambientales de las siguientes maneras:
- Positivo: cuando las acciones tienen un efecto positivo, mejoran el medio ambiente o ayudan a su recuperación. La reforestación, el reciclaje y la utilización de energías sostenibles son algunos ejemplos.
- Negativo: cuando las acciones repercuten negativamente en los ecosistemas, como cuando se reducen las áreas de distribución de las especies, se extinguen razas locales o especies enteras, se deterioran las masas de agua o se pierde biodiversidad. Entre otras cosas, incluyen la devastación de los ecosistemas naturales, el uso excesivo de los recursos naturales y la contaminación del aire y el agua.

A continuación, se presenta una clasificación de los impactos ambientales basada en sus efectos a lo largo del tiempo:

- Irreversibles: Es difícil devolver el entorno a su estado original debido a la magnitud del efecto.
- Reversibles: El medio ambiente es capaz de recuperarse a través del tiempo, a corto, mediano o largo plazo, pero no siempre a las condiciones iniciales.
- Persistentes: Las acciones sobre el medio ambiente son de influencia a largo plazo, y extensibles a través del tiempo.
- Temporales: El tamaño del impacto permite que el entorno vuelva temporalmente a su estado inicial.

- **Tipos de reforestación:**

- Reforestación urbana. - Es la que se establece dentro de las ciudades con diferentes fines u objetivos como Estética, Investigación, experimental y demostrativa, Moderadora de ruido, Control de sombras entre otras
- Reforestación rural. - Se sitúa donde antes había bosques, selvas o vegetación desértica y pretende conseguir cosas como:
- De conservación: Pretende ayudar a las tierras en reposo a alcanzar niveles de mayor producción.
- De protección y restauración: recupera, estabiliza y salvaguarda las zonas con una pérdida significativa de vegetación.
- Agroforestal: planea plantar árboles en lugares destinados a pastos o productos agrícolas en un esfuerzo por diversificar la producción.
- Productiva: Se realiza un cultivo intensivo con ayuda de maquinaria pesada y semillas de alta calidad para maximizar la producción de distintos productos para uso alimenticio, industrial, medicinal, ornamental, etc.

- **Recuperación de suelos degradados:** Acción destinada a restaurar los aspectos físicos, químicas y biológicas del suelo que han sido afectadas negativamente por actividades humanas u otros procesos naturales, como la erosión, la compactación o la contaminación.

  El objetivo de la rehabilitación de suelos contaminados es alcanzar niveles aceptables de salud y calidad del suelo, que se definen como la capacidad del suelo para mantener la salud de plantas y animales, así como las funciones de productividad y calidad medioambiental.

  Para que los técnicos y las administraciones públicas pongan en marcha los procedimientos adecuados para la recuperación de suelos y ecosistemas, los científicos deben construir el conocimiento científico y las bases para el desarrollo tecnológico. La contaminación de los suelos y su recuperación son

cuestiones que hay que resolver y poner en marcha. (Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, 2018)

- **Impacto:** los efectos de una modificación. Un impacto puede definirse como un cambio en un parámetro medioambiental que se produce dentro de un área definida y durante un periodo de tiempo determinado como resultado de una actividad específica, en contraposición a lo que habría ocurrido si no se hubiera llevado a cabo esa actividad. (inei, 1997)

IV. Metodología

4.1. Tipo y Nivel de investigación

El tipo de investigación es básica, el enfoque básico es apropiado ya que se centró en evaluar el impacto de, reforestación en la rehabilitación de suelos deteriorados en la cuenca Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo, Cusco, en el año 2024. Según Rivero et al. (2021) la investigación de tipo de básica se adentra en el marco teórico para desarrollar nuevas teorías o modificar las existentes, sin necesariamente contrastarlas con aspectos prácticos. En este caso, el estudio exploró conceptos y principios teóricos relacionados con la reforestación y la recuperación de suelos degradados, sin requerir una aplicación directa o práctica de los resultados en el campo.

El nivel de investigación es descriptivo, ya que se orienta a caracterizar detalladamente el proceso de reforestación y su impacto en la recuperación de suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo, Cusco, en el año 2024. De acuerdo con Hernández et al. (2014), el estudio descriptivo se centra en observar, registrar, analizar y presentar la naturaleza de una situación tal como se manifiesta, sin manipular variables. En este sentido, el enfoque descriptivo permitió identificar y detallar las características ambientales, biológicas y físicas del área de estudio, así como los métodos y condiciones en los que se desarrolla la reforestación y su relación con el estado actual de los suelos.

Según Hernádez et al. (2014), el enfoque cuantitativo de investigación se caracteriza por ser secuencial y probatorio, lo que significa que cada etapa del proceso sigue un orden riguroso y no se puede omitir ningún paso. Se inicia con una

idea que se va acotando y, una vez definida, se establecen los objetivos y las preguntas de investigación, se revisa la literatura existente y se construye un marco teórico hasta que finalmente, se extraen conclusiones basadas en los resultados obtenidos. Este proceso es riguroso, aunque se permite realizar ajustes en algunas etapas según sea necesario. En el presente estudio, se requirió recopilar datos cuantificables sobre variables como la reforestación, recuperación del suelo degradado, dentro de ellas datos como propiedades físicas, químicas, acciones en la reforestación, contenido de materia orgánica del suelo, para poder evaluar de manera objetiva y precisa el impacto de las acciones de reforestación en la recuperación de los suelos degradados.

En este estudio, se sigue un diseño no experimental debido a que no se manipularon deliberadamente variables. Según Rivero et al. (2021), la investigación no experimental se caracteriza por observar los fenómenos tal y como se presentan en su contexto natural, sin hacer variar intencionalmente las variables independientes. En el caso de la evaluación del impacto de la reforestación en la recuperación de suelos degradados en la cuenca Apu Ankhara, distrito de Paccarectambo, Cusco, en el año 2024, se buscó analizar la reforestación y la recuperación de suelos sin intervenir directamente en el proceso de reforestación o manipular otras variables relacionadas.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Espacial

La presente tesis tuvo como ámbito de influencia el departamento de Cusco (figura 2), provincia de Paruro y distrito de Paccarectambo, tal como se observa en la (figura 1).

El distrito de Paccarectambo, está ubicado a 60 kilómetros de la ciudad del Cusco, en la república del Perú. La investigación del área

reforestada es un gran aporte a la comunidad y se encuentra en la parte superior de la carretera Cusco – Chumbivilcas, en el km 52.

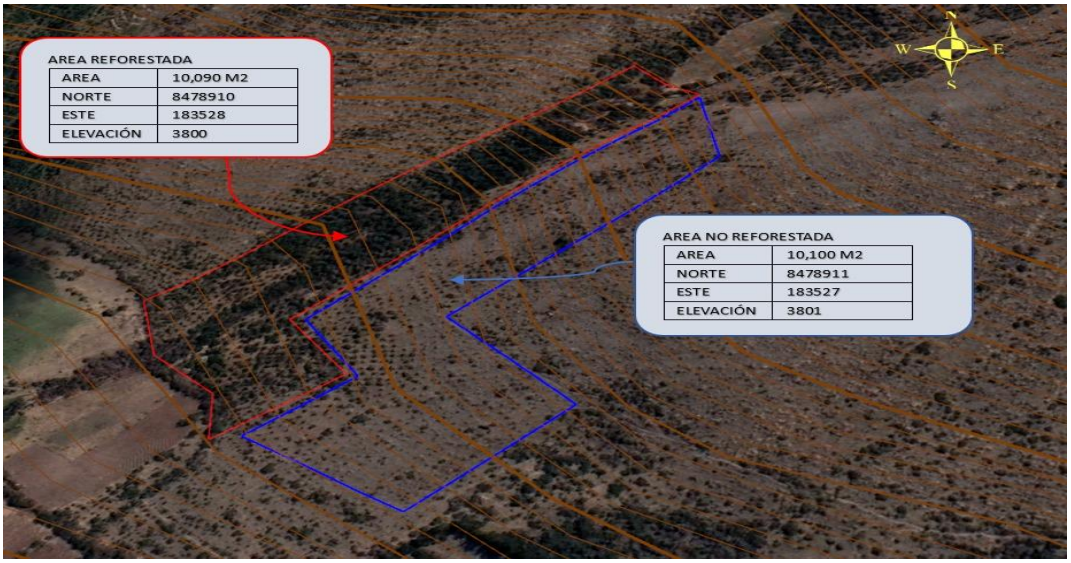
La topografía del área de estudio tanto en reforestado como no reforestado comparten características básicas como es la presencia de especies vegetales, arbustos y los niveles altitudinales ya que el punto más alto de muestreo es de 3849 msnm, mientras el punto de muestreo más bajo es de 3805 msnm, a una distancia de 150m, esto nos indica que la pendiente del área de estudio de un 29% tanto en suelos reforestado y suelos no reforestados, también comparten fisionomía y otras características propias de la zona.

Tabla 6

Ubicación geográfica de la investigación

	Ubicación geográfica
Este	183789.00
Norte	8478903.00
Elevación	3820.00 msnm
Zona	19L

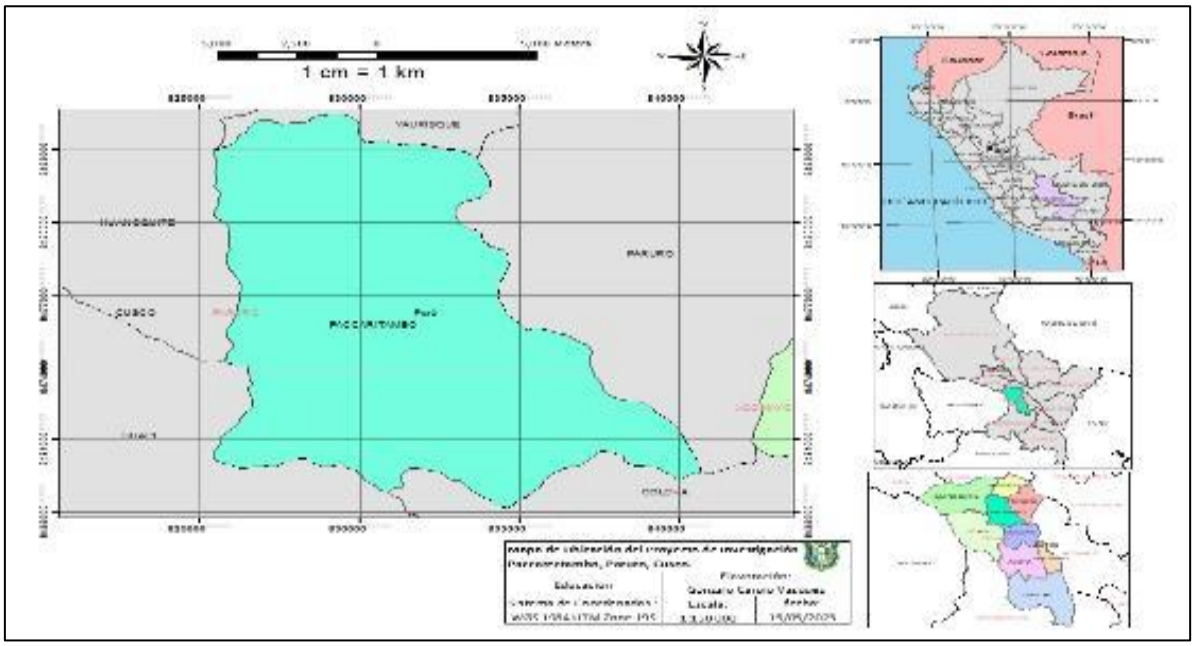
Figura 2
Ubicación del área de estudio



Nota.*Google Earth Pro.*

Figura 3

Ubicación del proyecto de investigación



4.2.2. Temporal

La investigación se realizó en el año 2024, mediante observaciones para recabar información sobre cómo han cambiado las características fisicoquímicas y el contenido de materia orgánica de los suelos degradados en los que se han llevado a cabo labores de reforestación. Los trabajos de campo se realizaron de acuerdo con los parámetros y normas vigentes.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población tomada en la presente investigación comprende dos hectáreas el sector de Apu Ankhara del distrito de Paccarectambo, provincia de Paruro, departamento del Cusco, donde se obtuvo la muestra del suelo, además La clasificación del suelo indica que estas tierras corresponden a aptitud forestal (símbolo F), lo que significa que poseen capacidad para una

producción continua y sostenible de bienes y servicios forestales, así como un alto potencial para actividades de forestación y reforestación.

En este contexto, la especie forestal seleccionada fue la queuña (***Polylepis racemosa***), la cual se empleó en la zona de estudio. Asimismo, se consideró la participación de los líderes locales que intervinieron en las acciones de reforestación realizadas en el área.

4.3.2. Muestra

Las muestras del estudio realizado en la cuenca Apu Ankhara ubicada en el distrito de Paccarectambo, provincia de Paruro, departamento del Cusco, se obtuvieron en el mes de octubre, mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se seleccionaron, 10 puntos accesibles tanto en la zona reforestada como en la zona no reforestada, por otro lado, se incluyó la participación de 5 de los líderes comunales que intervinieron directamente en los trabajos de reforestación, seleccionados de manera intencional por su experiencia en el proceso.

La reforestación se inició en el año 2008 con la especie nativa queuña (*Polylepis racemosa*), generando importantes beneficios ecológicos, entre ellos la recuperación de suelos degradados, el control de la erosión y la regulación hídrica. Esta especie contribuye significativamente al incremento de la materia orgánica en el suelo, mejora la infiltración de agua y, además, aporta beneficios sociales y culturales, particularmente en los ecosistemas alto andinos.

La cuenca Apu Ankhara se distingue por la presencia de una vegetación predominante de matorrales y pajonales alto andinos. En estas formaciones resaltan especies características como el ichu (*Stipa ichu*), el diente de león (*Taraxacum officinale*) y la tayanca (*Baccharis salicifolia*), las cuales se acompañan de otras especies vegetales propias de la zona.

4.4. Instrumentos y muestra

4.4.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica que se utilizó fue la observación y la entrevista. Según Rivero et al. (2021),es un proceso de captación de cualidades, características y propiedades que tienen los sujetos y objetos de la realidad, es intencional y se realiza a través de los sentidos o con la ayuda de un instrumento.

4.4.2. Instrumento *de recolección de datos*

Para esta investigación se utilizó el instrumento ficha de observación, los datos del laboratorio y la guía de entrevista con preguntas abiertas. Según Hernández et al. (2014), la recolección de datos obtiene información relevante para la investigación desde enfoques empíricos y teóricos. Se centra en respuestas observables y busca comprender conceptos subyacentes.

Según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, (MIDAGRI, 2023), el protocolo de muestreo de suelo debe incluir la delimitación del área homogénea, la determinación de la profundidad de muestreo, la selección de puntos en zigzag y la homogenización de sub muestras antes del envío al laboratorio. La técnica de muestreo para la recolección de muestras de suelo se efectuó utilizando herramientas como pala, pico, flexómetro y bolsas térmicas. Para ello, se realizaron calicatas con profundidades que oscilaron entre 18 y 23 cm, de donde se extrajeron aproximadamente 1 kg de tierra por muestra. Cada una fue empacada en bolsas térmicas debidamente etiquetadas con información correspondiente al número y tipo de muestra, fecha de recolección y coordenadas geográficas. En total se obtuvieron 20 muestras, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis

4.5. Procedimiento

Los datos recolectados fueron organizados en hojas de Excel y luego procesados en el software estadístico SPSS v.25, se empleó ambos programas únicamente para la elaboración de cuadros y figuras descriptivas, se aplicó la prueba de T de Welch para ver las diferencias significativas. Se hizo uso únicamente de la estadística descriptiva, ya que el propósito del tratamiento de los datos fue representar gráficamente y de forma tabular los resultados obtenidos, permitiendo una interpretación clara y directa de las tendencias observadas en las variables estudiadas. Este enfoque descriptivo respondió a la naturaleza de la investigación, centrada en mostrar patrones y comportamientos generales sin realizar comparaciones estadísticas entre grupos o establecer relaciones causales.

4.6. Análisis de datos

Las informaciones obtenidas mediante las fichas de recolección de datos fueron organizados y estandarizados en hojas Excel para luego ser trasladado al software SPSS v.25 en donde se examinaron con los procedimientos estadístico necesarios para alcanzar cada objetivo planteado y se aplicó la prueba de T de Welch en algunos parámetros para ver las diferencias significativas.

4.7. Consideraciones Éticas

• **Consentimiento informado:** Fue fundamental obtener el consentimiento informado de cualquier persona o comunidad local involucrada en el estudio antes de realizar cualquier actividad de recolección de datos en sus tierras.

• **Respeto a las comunidades locales:** Fue importante respetar las creencias, prácticas culturales y derechos de las comunidades locales que pudieron verse afectadas por el estudio. Se involucró a estas comunidades en el proceso de investigación y se consideraron sus preocupaciones y necesidades.

• **Protección del medio ambiente:** Se llevó a cabo el estudio de manera que se minimizara cualquier impacto negativo en el medio ambiente circundante. Esto

incluyó prácticas de recolección de muestras que no dañaron el ecosistema local y medidas para evitar la propagación de especies invasoras durante la reforestación.

• **Privacidad y confidencialidad:** Fue fundamental garantizar la privacidad y confidencialidad de los datos recopilados, especialmente cuando se involucró a individuos o comunidades en entrevistas o encuestas.

• **Beneficios y riesgos:** Se consideraron los posibles beneficios y riesgos tanto para los participantes del estudio como para el medio ambiente. Se aseguró que los beneficios potenciales justificaran cualquier riesgo involucrado y se tomaron medidas para minimizar cualquier daño posible.

• **Transparencia y honestidad:** Se fue transparente sobre los objetivos, métodos y resultados del estudio, y se presentó la información de manera clara y comprensible para todas las partes interesadas.

V. Resultados y discusión

Análisis descriptivo

En esta sección, se presenta el análisis descriptivo de las variables de estudio que es recuperación de suelos y acciones de reforestación junto a sus dimensiones e indicadores para identificar características principales que nos ayuden a comprender mejor las variables de estudio, se hizo a través de parámetros estadísticos que corresponda como la media, mediana, mínimo, máximo desviación estándar también se usarán gráficos tales como los histogramas y se aplicó la prueba de T de Welch para ver diferencias significativas.

Las acciones de reforestación que se implementaron en el proceso, se evidencian que fueron de gran importancia tanto como la reforestación con especie nativa, las zanjas de infiltración, la clausura del área con cerco perimétrico, los acuerdos comunales para declarar zona intangible, la disponibilidad de los pobladores para la implementación de lo mencionado, fortalecieron las capacidades y la recuperación del suelo.

Tabla 7

Resumen de los resultados de análisis fisicoquímico de los suelos

Indicadores	Suelos No reforestados (media ± DE)	Suelos reforestados (media ± DE)	t (Welch)	gl	p (2-col)	Diferencia α=0.05
% de humedad	18.61 ± 1.48	21.31 ± 3.2	-2.397	12.6	0.0328	Si
pH %	5.457 ± 0.089	5.543 ± 0.264	-0.976	11.02	0.3499	No
Conductividad eléctrica ds/m	0.083 ± 0.016	0.194 ± 0.060	-5.653	10.27	< 0.00019	Si
CIC meq/100	9.74 ± 0.99	10.878 ± 0.759	-2.885	16.86	0.0106	Si
Porcentaje de capacidad de campo	19.90 ± 2.57	28.32 ± 3.60	-6.595	16.07	< 0.0001	Si
Porcentaje de humedad a equilibrio	20.01 ± 3.32	30.88 ± 4.65	-6.156	15.34	< 0.00005	Si
Porcentaje de punto de máxima penetración	10.74 ± 1.39	15.29 ± 1.9	-5.041	15.58	0.0002	Si
Densidad aparente	1.627 ± 0.070	1.557 ± 0.059	4.048	17.49	0.00086	Si
Densidad relativa	2.245 ± 0.052	2.156 ± 0.07	2.081	15.13	0.054	No
Porcentaje de arena	74.7 ± 3.06	73.7 ± 4.16	0.63	16.16	0.5371	No
Porcentaje de limo	21.9 ± 2.77	25.2 ± 4.05	-2.052	16.75	0.055	No
Porcentaje de arcilla	3.0 ± 1.58	1.0 ± 0	3.175	9.09	0.0117	Si
Porcentaje de nitrógeno	0.184 ± 0.054	0.370 ± 0.0	-4.027	14.01	0.0013	Si
Porcentaje de fosforo	8.138 ± 2.35	17.167 ± 4.7	-6.038	15.94	0.00005	Si
porcentaje de potasio	15.36 ± 3.56	35.51 ± 21.3	-2.263	11.46	0.045	Si
Porcentaje de materia orgánica	4.002 ± 1.13	7.858 ± 1.73	-5.722	16.86	0.0000135	Si
Índice físico químico	-0.294 ± 0.143	0.294 ± 0.250	-6.456	14.32	0.0000135	Si

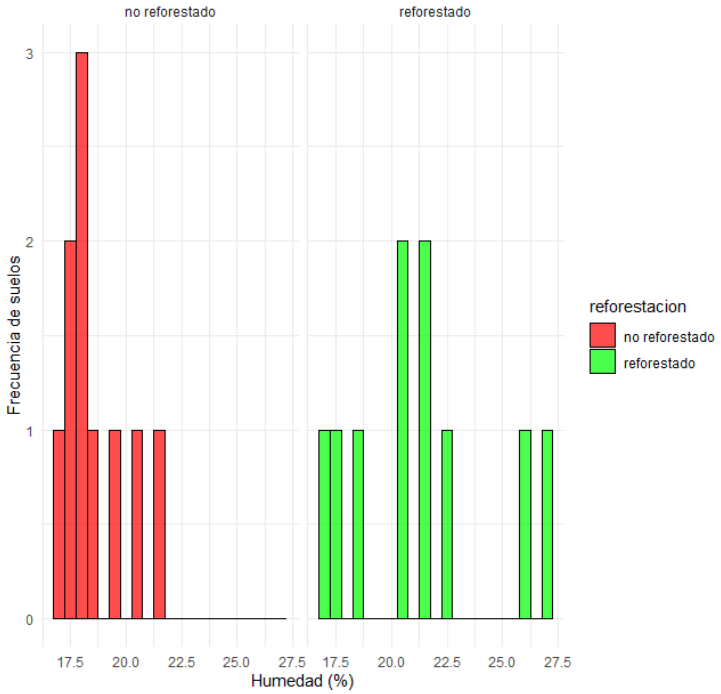
Tabla 8

Humedad según la condición del suelo

% de humedad	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
suelos no reforestados	16.82	21.5	18.61	18.17	1.48
suelos reforestados	17.2	26.86	21.31	21.01	3.24

Figura 4

Histograma del porcentaje de humedad según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 8 y la Figura 5 se presentan las medidas resumen y el histograma del porcentaje de humedad en los suelos de la cuenca del Apu Ankhara, según su condición. Para los suelos no reforestados, el porcentaje de humedad varía entre 16.82% y 21.5%, con una media de 18.61% y una mediana de 18.17%. Esto indica que la mayoría de los suelos no reforestados tienen un porcentaje de humedad inferior al promedio, lo que sugiere que estos suelos tienen una menor capacidad para retener agua en comparación con los suelos reforestados. La desviación estándar de 1.48% refleja que los valores de humedad en

estos suelos son relativamente consistentes, con poca variabilidad entre ellos. En cuanto a los suelos reforestados, el rango de humedad va de 17.2% a 26.86%, con una media de 21.31%. La mediana de 21.01% muestra que más de la mitad de los suelos reforestados tienen un porcentaje de humedad superior a este valor, lo que refleja una mayor capacidad de retención de agua en estos suelos. La desviación estándar de 3.24% indica que los suelos reforestados tienen una mayor variabilidad en su capacidad para retener agua, lo que sugiere que la retención de humedad en estos suelos no es uniforme. En resumen, los suelos reforestados presentan un porcentaje de humedad más alto en promedio y una mayor variabilidad, lo que podría estar relacionado con las diferencias en las condiciones de retención de agua derivadas de la reforestación en la cuenca del Apu Ankhara.

Tabla 9

T de Welch del porcentaje de humedad según la condición del suelo

% de humedad	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
Suelos no reforestados	-2.397	12.6	0.0328	Diferencia significativa
Suelos reforestados				Reforestados tienen humedad mayor

La tabla 9 presenta el análisis de la prueba T de Welch muestra un valor t = -2.397, con gl ≈ 12.6 y un nivel de significancia p = 0.0328 (<0.05), lo que confirma que existe una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de humedad del suelo según la condición. El valor negativo de t indica que los suelos no reforestados tienen menor humedad en comparación con los reforestados. Esto se explica porque la cobertura vegetal en los suelos reforestados reduce la evaporación, mejora la infiltración de agua y favorece la retención de humedad en el perfil edáfico, mientras que, en los suelos no reforestados, la ausencia de vegetación y materia orgánica genera mayor exposición a la radiación solar y pérdida de agua, disminuyendo su capacidad de retención hídrica.

medidas resumen y el histograma del potencial de hidrógeno (pH) en los suelos de la cuenca del Apu Ankhara. El pH varía entre un mínimo de 5.15 y un máximo de 5.96, con una media

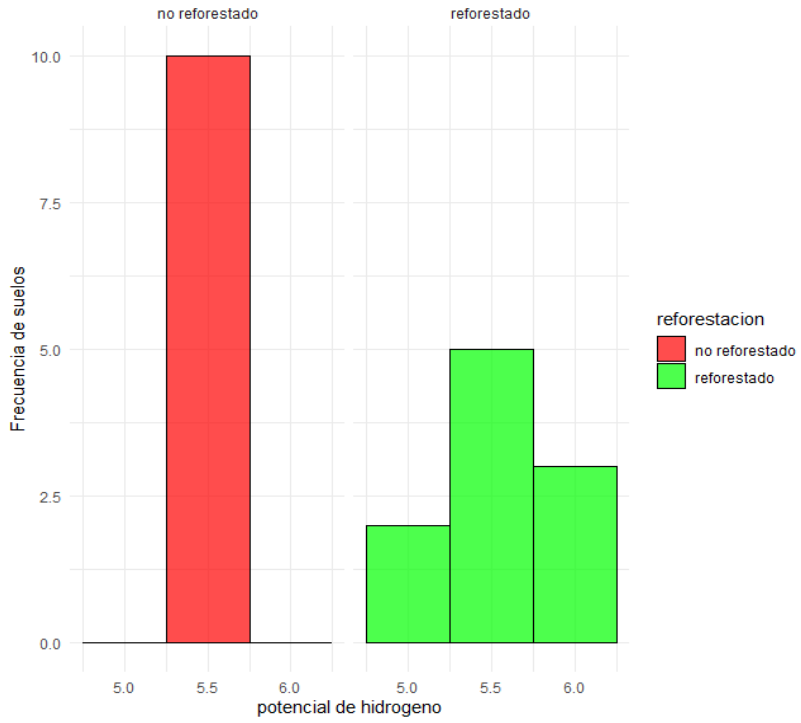
Tabla 10

Potencial de hidrogeno según la condición del suelo

Potencial de hidrogeno (pH)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	5.35	5.65	5.457	5.43	0.089
Suelos reforestados	5.15	5.96	5.543	5.51	0.264

Figura 5

Histograma del potencial de hidrogeno según la condición del suelo



Interpretación:

El histograma del potencial de hidrógeno (pH) y las lecturas resumidas por condición del suelo se muestran en la Tabla 10 y en la Figura 5. Para los suelos no reforestados, el pH varía entre 5.35 y 5.65, con una media de 5.457 y una mediana de 5.43. Esto indica que,

en promedio, los suelos no reforestados tienen un pH ligeramente acido, y la mayoría de estos suelos tienen un pH cercano a 5.43, lo que muestra poca variabilidad, reflejada en una desviación estándar baja de 0.089. Por otro lado, los suelos reforestados presentan un rango de pH entre 5.15 y 5.96, con una media de 5.543 y una mediana de 5.51. Esto sugiere que los suelos reforestados tienen un pH un poco más alto en comparación con los suelos no reforestados, pero la diferencia es pequeña. Además, los suelos reforestados presentan mayor variabilidad, con una desviación estándar de 0.264, lo que indica que el pH en estos suelos es menos uniforme en comparación con los suelos no reforestados. Estos resultados muestran que, aunque los suelos reforestados tienen un pH ligeramente más alto, su distribución es más dispersa, mientras que los suelos no reforestados presentan un pH más constante.

Tabla 10

T de Welch del pH según la condición del suelo

pH	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados	-0.976	11.02	0.35	Diferencia no significativa
suelos reforestados				pH similar entre grupos

La tabla 10 presenta la prueba T de Welch para el pH arrojó un valor de t = -0.976, con gl ≈ 11.02 y un nivel de significancia p = 0.350 (> 0.05), lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa en el pH entre suelos reforestados y no reforestados. Esto se debe a que el pH del suelo es una propiedad química relativamente estable en el corto y mediano plazo, influenciada más por factores como la composición mineralógica, el material parental y la acidez natural, que por la cobertura vegetal; por ello, ambos grupos de suelos presentan valores similares de pH independientemente de la reforestación.

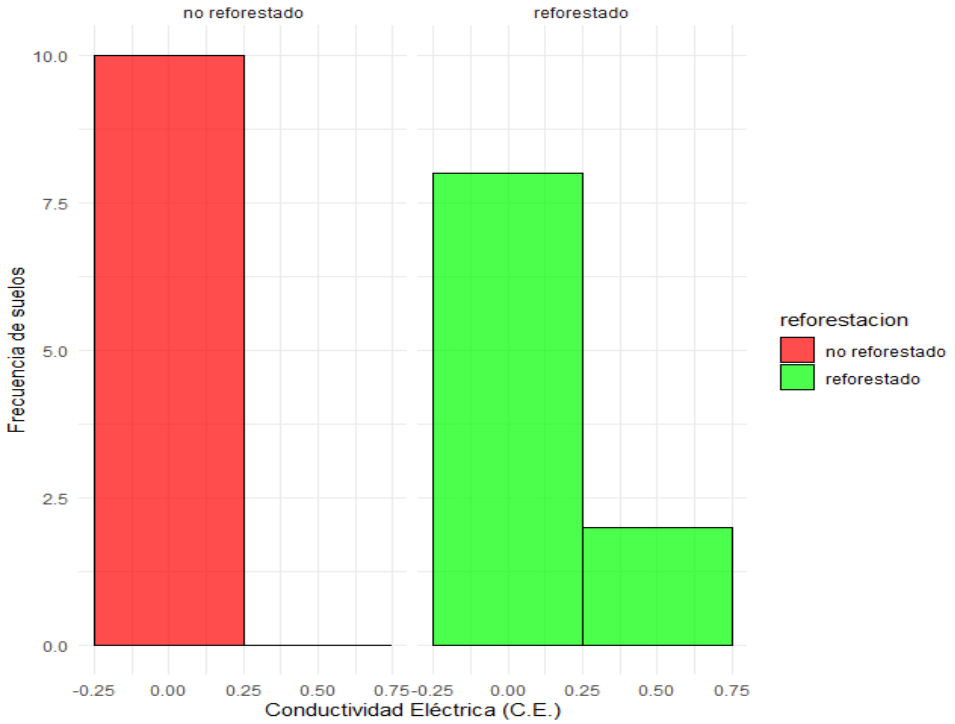
Tabla 11

Conductividad eléctrica según la condición del suelo

Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
suelos no reforestados	0.06	0.11	0.083	0.085	0.016
suelos reforestados	0.11	0.29	0.194	0.19	0.060

Figura 6

Histograma de la conductividad eléctrica según la condición del suelo.



Interpretación:

En la Tabla 11 y la Figura 6 se presentan las medidas resumen y el histograma de la conductividad eléctrica (C.E.) según la condición del suelo. Para los suelos no reforestados, la conductividad eléctrica varía entre 0.06 mmhos/cm y 0.11 mmhos/cm, con una media de 0.083 mmhos/cm y una mediana de 0.085 mmhos/cm, lo que indica que los suelos no reforestados tienen una baja concentración de sales solubles. La desviación

estándar de 0.016 mmhos/cm muestra poca variabilidad entre los suelos no reforestados, sugiriendo que la mayoría tienen valores similares en cuanto a su salinidad. En contraste, para los suelos reforestados, la conductividad eléctrica varía entre 0.11 mmhos/cm y 0.29 mmhos/cm, con una media de 0.194 mmhos/cm y una mediana de 0.19 mmhos/cm, lo que refleja una mayor concentración de sales solubles en comparación con los suelos no reforestados. La desviación estándar de 0.060 mmhos/cm indica una mayor variabilidad entre los suelos reforestados, lo que sugiere que existen diferentes condiciones de salinidad dentro de este grupo. En general, los suelos reforestados muestran una mayor conductividad eléctrica que los suelos no reforestados, lo que podría ser consecuencia de los cambios en el suelo durante el proceso de reforestación.

Tabla 12

T de Welch de la conductividad eléctrica según la condición del suelo

Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-5.653	10.27	0.00019	Reforestados muestran CE mayor

La tabla 12 presenta la prueba T de Welch para la conductividad eléctrica evidenció un valor t = -5.653, con gl ≈ 10.27 y una significancia de p = 0.00019 (< 0.01), lo que confirma una diferencia altamente significativa entre suelos reforestados y no reforestados. El valor negativo de t indica que los suelos no reforestados presentan menor conductividad eléctrica, mientras que los reforestados muestran valores mayores. Esto se explica porque la reforestación incrementa la acumulación de materia orgánica y el ciclo de nutrientes, lo que enriquece la solución del suelo con iones disponibles (sales solubles), generando una mayor conductividad eléctrica respecto a los suelos degradados sin cobertura vegetal.

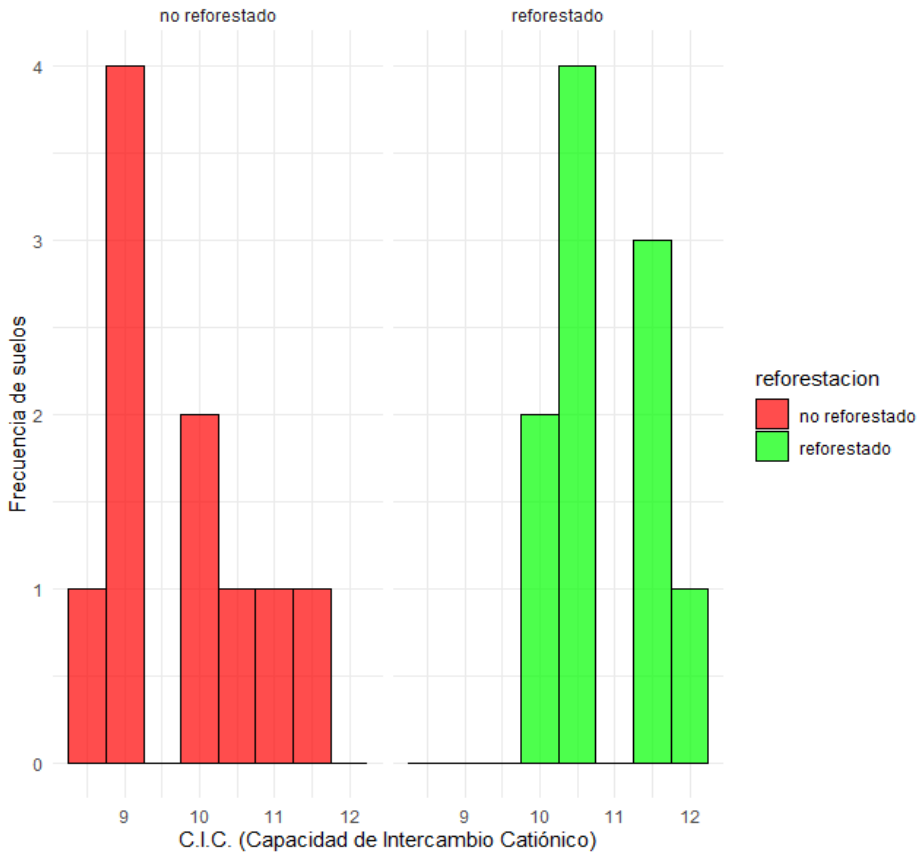
Tabla 13

Capacidad de intercambio catiónico según la condición del suelo

Capacidad de intercambio catiónico (CIC meq/100)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
suelos no reforestados	8.6	11.6	9.74	9.55	0.990
suelos reforestados	9.8	12	10.878	10.71	0.759

Figura 7

Histograma de la capacidad de intercambio catiónico según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 113 y la Figura 7 se presentan las medidas resumen y el histograma de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) según la condición del suelo. Para los suelos no reforestados, la CIC varía entre 8.6 meq/100 y 11.6 meq/100, con una media de 9.74

meq/100 y una mediana de 9.55 meq/100, lo que indica que estos suelos tienen una capacidad de intercambio catiónico moderada, con valores que se concentran alrededor de la media. La desviación estándar de 0.990 meq/100 muestra que la variabilidad en los suelos no reforestados es relativamente baja, lo que sugiere que estos suelos tienen características más homogéneas en cuanto a su capacidad de retener nutrientes. Por otro lado, los suelos reforestados presentan una CIC que varía entre 9.8 meq/100 y 12 meq/100, con una media de 10.878 meq/100 y una mediana de 10.71 meq/100, lo que refleja una capacidad de retención de nutrientes ligeramente mayor que la de los suelos no reforestados. La desviación estándar de 0.759 meq/100 indica que los suelos reforestados tienen una variabilidad menor que los suelos no reforestados, lo que sugiere que la reforestación podría haber contribuido a una mayor estabilidad en la capacidad de estos suelos para intercambiar cationes.

Tabla 14

T de Welch de la CIC según la condición del suelo

CIC (meq/100)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados	-2.885	16.86	0.0106	Diferencia significativa
suelos reforestados				CIC mayor en reforestados

La tabla 14 presenta la prueba T de Welch para la CIC mostró un valor t = -2.885, con gl ≈ 16.86 y un nivel de significancia p = 0.0106 (< 0.05), lo que confirma una diferencia estadísticamente significativa entre suelos reforestados y no reforestados. El valor negativo del estadístico indica que los suelos no reforestados presentan menor CIC, mientras que los reforestados tienen una mayor capacidad de intercambio catiónico. Esto se debe a que la reforestación incrementa el contenido de materia orgánica y la estabilidad de las arcillas, lo que mejora la retención y disponibilidad de nutrientes esenciales, favoreciendo la fertilidad y calidad química del suelo.

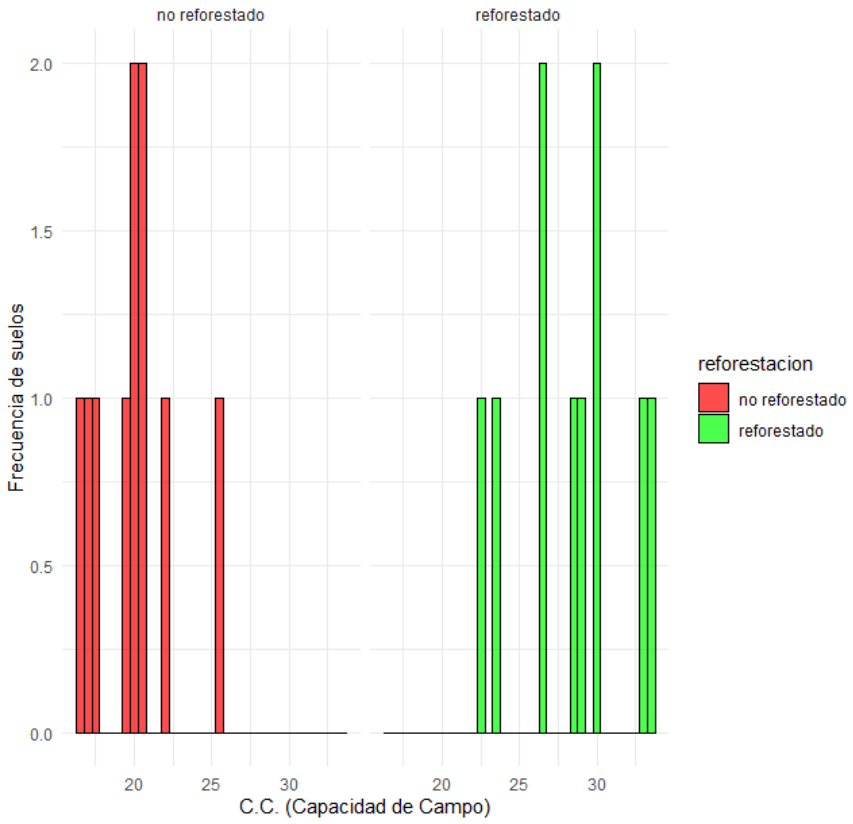
Tabla 15

Capacidad de campo según la condición del suelo

% Capacidad de campo (C.C.)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	16.65	25.5	19.90	19.98	2.57
Suelos reforestados	22.72	33.56	28.32	28.76	3.60

Figura 8

Histograma del porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 15 y la Figura 8 se presentan las medidas resumen y el histograma del porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. En los suelos no reforestados, el porcentaje de capacidad de campo varía entre

16.65% y 25.5%, con un promedio de 19.90%, mientras que en los suelos reforestados oscila entre 22.72% y 33.56%, con un promedio de 28.32%. Además, la mitad de los suelos no reforestados tienen un porcentaje de capacidad de campo inferior a 19.98%, mientras que en los suelos reforestados este valor es 28.76%, lo que indica que estos últimos presentan una mayor capacidad para retener agua. La variabilidad en los suelos reforestados (3.60%) es mayor que en los no reforestados (2.57%), reflejando diferencias más marcadas en la capacidad de campo dentro de esta condición.

Tabla 16

T de Welch del porcentaje de capacidad de campo según la condición del suelo

% Capacidad de campo (C.C.)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-6.595	16.07	0.00001	Reforestados retienen mucha más agua en capacidad de campo

La tabla 16 presenta la prueba T de Welch arrojó un valor t = -6.595, con gl ≈ 16.07 y un nivel de significancia p = 0.00001 (< 0.01), lo que demuestra una diferencia altamente significativa en la capacidad de campo entre los tipos de suelo. El valor negativo del estadístico confirma que los suelos no reforestados presentan menor capacidad de retención de agua, mientras que los suelos reforestados retienen mucha más agua en capacidad de campo. Esto se explica porque la cobertura vegetal incrementa la porosidad, el contenido de materia orgánica y la estabilidad de los agregados, lo que favorece la infiltración y almacenamiento de agua, mientras que la falta de vegetación en suelos no reforestados genera mayor compactación y pérdida de humedad.

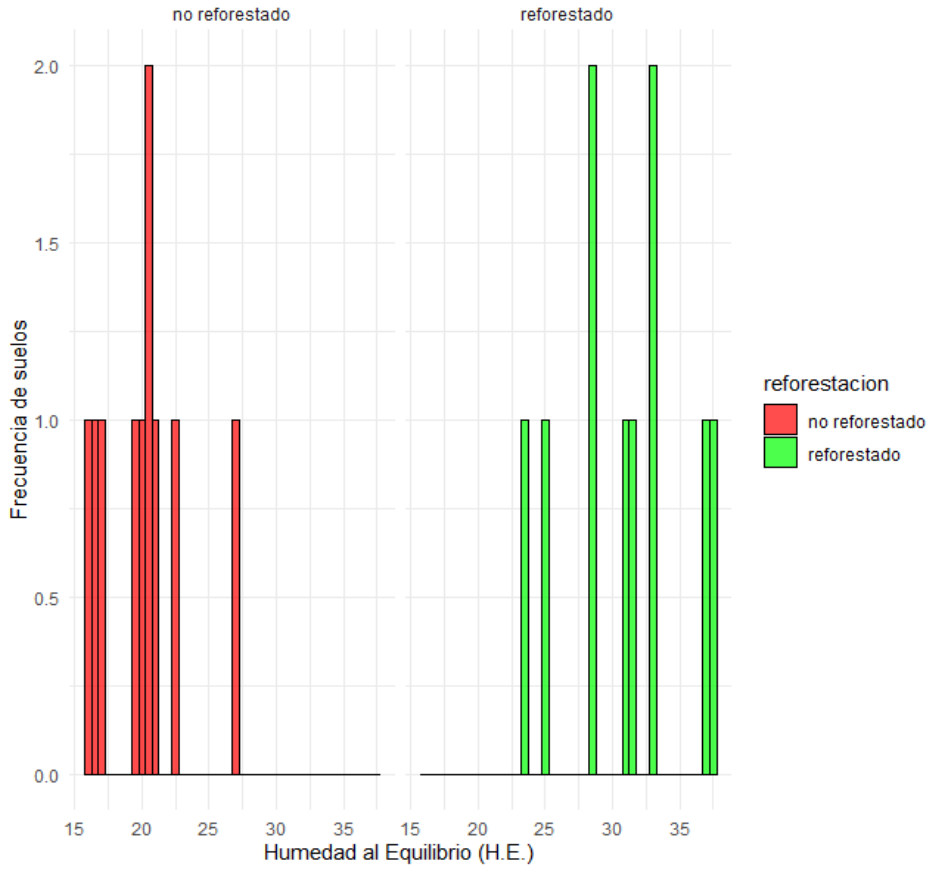
Tabla 17

Humedad a equilibrio según la condición del suelo

% de humedad a equilibrio (H.E.)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	15.81	27.24	20.01	20.095	3.32
Suelos reforestados	23.65	37.65	30.883	31.45	4.65

Figura 9

Histograma del porcentaje de humedad a equilibrio según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 17 y la Figura 9 se presentan las medidas resumen y el histograma del porcentaje de humedad a equilibrio según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. En los suelos no reforestados, el porcentaje de humedad a equilibrio varía entre 15.81% y 27.24%, con un promedio de 20.01%, mientras que en los suelos reforestados

oscila entre 23.65% y 37.65%, con un promedio de 30.88%. Además, la dispersión de los valores es mayor en los suelos reforestados, como lo indica su desviación estándar de 4.65%, en comparación con 3.32% en los suelos no reforestados. Estos resultados sugieren que la reforestación podría estar influyendo en una mayor capacidad de los suelos para retener humedad a equilibrio, lo cual es clave para la regulación del agua en los ecosistemas y la resiliencia del suelo frente a períodos de sequía.

Tabla 18

T de Welch del porcentaje de humedad a equilibrio de campo según la condición del suelo

% Humedad a equilibrio (H.E.)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-6.156	15.34	0.00005	Reforestados mayor humedad en equilibrio

La tabla 18 presenta la prueba T de Welch obtuvo un valor t = -6.156, con gl ≈ 15.34 y un nivel de significancia p = 0.00005 (< 0.01), lo que evidencia una diferencia altamente significativa en la humedad a equilibrio entre ambos tipos de suelo. El valor negativo del estadístico confirma que los suelos no reforestados retienen menos humedad, mientras que los reforestados mantienen un mayor contenido de agua en equilibrio. Esto se explica porque la cobertura vegetal aporta materia orgánica, mejora la estructura del suelo y aumenta la capacidad de retención hídrica, mientras que la falta de vegetación en los suelos no reforestados reduce su porosidad y almacenamiento de agua, favoreciendo pérdidas por evaporación.

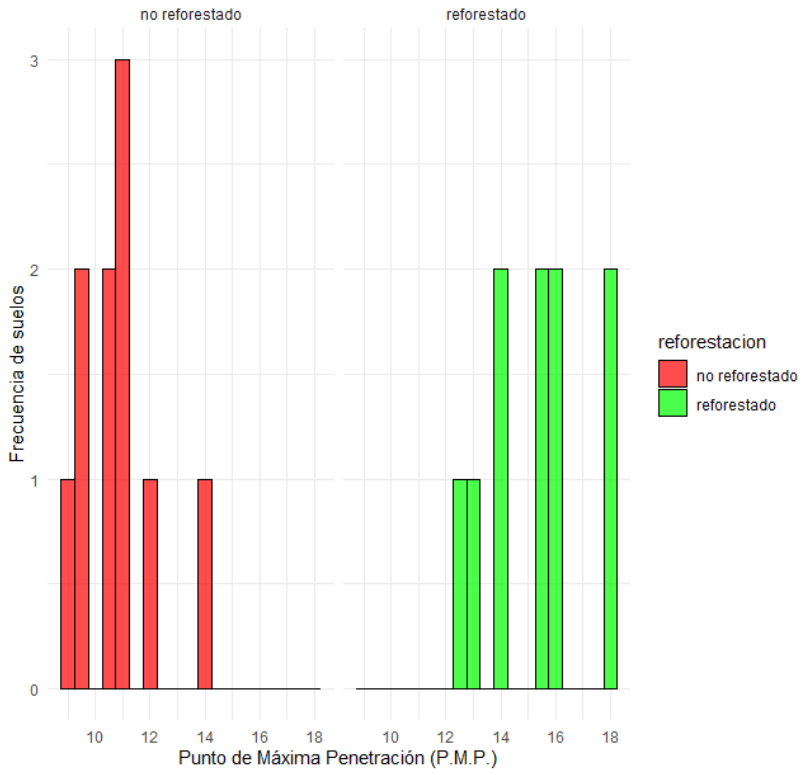
Tabla 19

Punto de marchitez permanente según la condición del suelo.

% de punto de marchitez permanente (P.M.P.)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	8.98	13.76	10.74	10.78	1.39
Suelos reforestados	12.26	18.11	15.29	15.52	1.94

Figura 10

Histograma del porcentaje de punto de marchitez permanente según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 19 y la Figura 10 se presentan las medidas resumen y el histograma del porcentaje de punto de marchitez permanente según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. El porcentaje de punto de máxima penetración en los suelos no reforestados varía entre 8.98% y 13.76%, con un promedio de 10.74%, y una mediana de

10.78%, lo que indica que la mayoría de los suelos no reforestados tienen un porcentaje más bajo. En comparación, los suelos reforestados muestran un porcentaje más alto, con valores que oscilan entre 12.26% y 18.11%, y un promedio de 15.29%. La mediana de 15.52% sugiere que la mitad de estos suelos tienen un porcentaje superior a ese valor. La desviación estándar para los suelos reforestados (1.94%) es mayor que la de los suelos no reforestados (1.39%), lo que indica una mayor variabilidad en los suelos reforestados. Estos resultados reflejan diferencias en la compactación y resistencia a la penetración entre los suelos reforestados y no reforestados, lo cual puede influir el ingreso del agua y el crecimiento de las raíces en cada tipo de suelo.

Tabla 20

T de Welch del porcentaje punto de marchitez según la condición del suelo

% Punto marchitez (P.M.P.)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-5.071	15.45	0.00018	Reforestados % mayor (menos estrés hídrico

La tabla 20 presenta la prueba T de Welch que reportó un valor t = -5.071, con gl ≈ 15.45 y una significancia de p = 0.00018 (< 0.01), lo que indica una diferencia altamente significativa en el punto de marchitez entre ambos tipos de suelo. El valor negativo del estadístico señala que los suelos no reforestados presentan un menor porcentaje de humedad al punto de marchitez, mientras que los suelos reforestados muestran un valor mayor, lo cual significa que retienen más agua disponible para las plantas antes de alcanzar el estrés hídrico. Esto se debe a la mayor materia orgánica, mejor estructura y mayor capacidad de almacenamiento de agua en los suelos reforestados, en contraste con los no reforestados que tienden a perder humedad rápidamente.

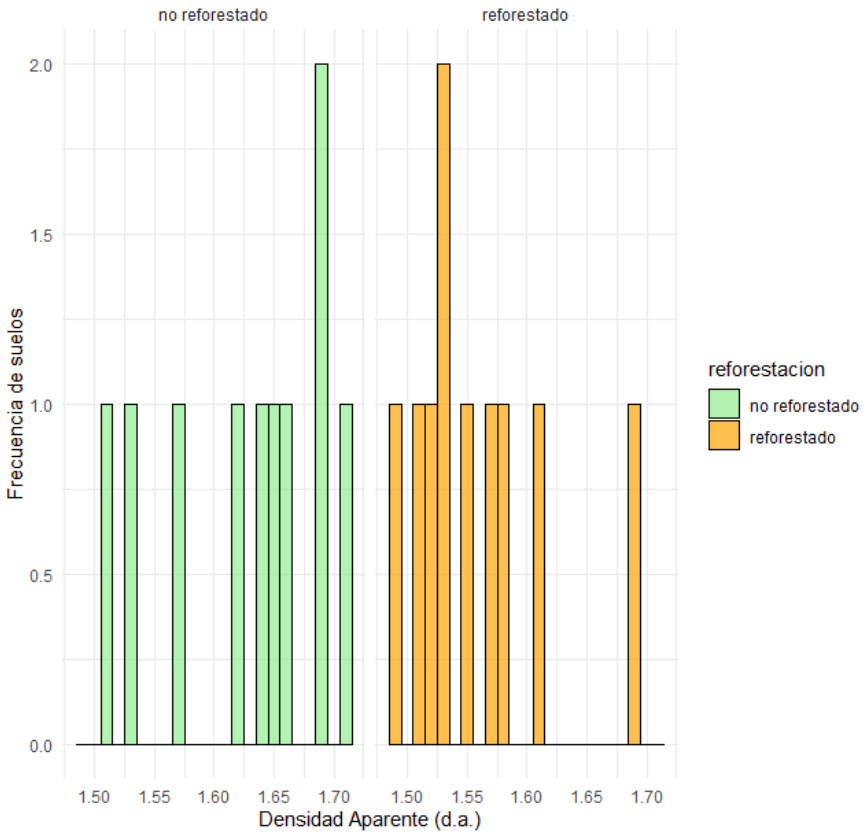
Tabla 21

Densidad aparente según la condición del suelo

Densidad aparente (d.a. g/cc)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	1.506	1.712	1.63	1.65	0.069
Suelos reforestados	1.494	1.694	1.56	1.54	0.058

Figura 11

Histograma de la densidad aparente según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 21 y la Figura 11 se muestran las medidas resumen y el histograma de la densidad aparente según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. Los suelos no reforestados presentan una densidad aparente que varía entre 1.506 g/cc y 1.712 g/cc, con un valor promedio de 1.63 g/cc y una mediana de 1.65 g/cc. Esto indica que los suelos

no reforestados tienden a tener una mayor densidad, lo que puede estar relacionado con una mayor compactación del suelo. En cambio, los suelos reforestados tienen una densidad aparente entre 1.494 g/cc y 1.694 g/cc, con una media de 1.56 g/cc y una mediana de 1.54 g/cc. Estos suelos presentan una menor densidad, lo que podría sugerir una menor compactación debido a la presencia de vegetación que favorece la aireación y la estructuración del suelo. La desviación estándar muestra que hay menos variabilidad en la densidad de los suelos reforestados en comparación con los no reforestados, lo que podría indicar una mayor homogeneidad en la estructura de los suelos reforestados de la cuenca.

Tabla 22

T de Welch de la densidad aparente según la condición del suelo

Densidad aparente (d.a. g/cc)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	4.048	17.49	0.00086	Reforestados tienen mayor densidad aparente

La tabla 22 presenta la prueba T de Welch arrojó un valor t = 4.048, con gl ≈ 17.49 y un nivel de significancia p = 0.00086 (< 0.01), lo que confirma una diferencia estadísticamente significativa en la densidad aparente entre los tipos de suelo. A diferencia de otras propiedades, los suelos reforestados presentan mayor densidad aparente respecto a los no reforestados. Este resultado puede deberse a la acumulación de raíces, restos orgánicos y procesos de compactación natural asociados al desarrollo del bosque, que aumentan el peso del suelo por unidad de volumen; sin embargo, al estar acompañado de mayor materia orgánica y estabilidad estructural, esta densidad no implica necesariamente menor calidad, sino una reorganización de la porosidad y agregados propia de los suelos bajo cobertura vegetal.

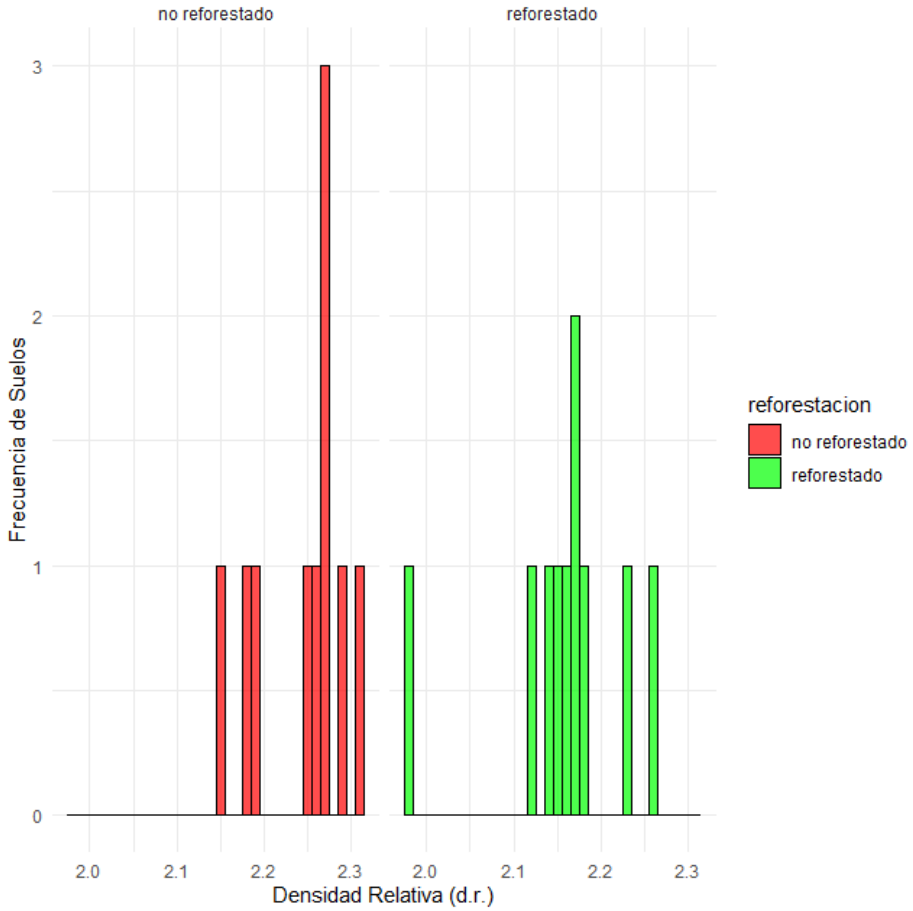
Tabla 23

Densidad relativa según la condición del suelo

Densidad relativa (d.r. g/cc)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	2.148	2.306	2.245	2.266	0.052
Suelos reforestados	1.977	2.258	2.156	2.1655	0.075

Figura 12

Histograma de la densidad relativa según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 23 y la Figura 12 se visualiza las medidas resumen y el histograma de la densidad relativa según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. Los

resultados indican que, en los suelos no reforestados, la densidad relativa oscila entre 2.148 g/cc y 2.31 g/cc, con un promedio de 2.245 g/cc y una mediana de 2.266 g/cc. En comparación, en los suelos reforestados, la densidad relativa varía entre 1.977 g/cc y 2.258 g/cc, con un promedio de 2.156 g/cc y una mediana de 2.1655 g/cc. La desviación estándar en los suelos no reforestados es de 0.052 g/cc, lo que refleja una menor variabilidad, mientras que en los suelos reforestados la desviación estándar es de 0.075 g/cc, lo que indica una mayor variabilidad. Estos resultados sugieren que los suelos reforestados presentan una menor densidad relativa en promedio, lo que podría estar relacionado con una mayor porosidad y mejor capacidad de retención de agua en comparación con los suelos no reforestados en la cuenca.

Tabla 24

T de Welch de la densidad relativa según la condición del suelo

Densidad relativa (d.r. g/cc)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados	2.081	15.13	0.054	Diferencia no significativa
suelos reforestados				Tendencia a menor densidad relativa en reforestados

La tabla 24 presenta la prueba T de Welch que mostró un valor t = 2.081, con gl ≈ 15.13 y un nivel de significancia p = 0.054 (> 0.05), lo que indica que no existe diferencia estadísticamente significativa en la densidad relativa entre suelos reforestados y no reforestados. Sin embargo, se observa una tendencia a que los suelos reforestados presenten menor densidad relativa, lo que sugiere que la cobertura vegetal contribuye a una ligera reducción en la compactación del suelo y a una mayor presencia de porosidad, aunque la diferencia aún no es suficiente para ser considerada estadísticamente concluyente.

Tabla 25

Porcentaje de arena, limo y arcilla en los suelos

Indicador	Mínimo	Máximo	Media
% de arena	67	80	74.2
% de limo	18	32	23.55
% de arcilla	1	5	2.2

Interpretación:

En la tabla 25 se presenta los porcentajes de arena, limo y arcilla en los suelos de la cuenca del Apu Ankhara, Los resultados muestran que los suelos son en promedio Franco arenosos, lo que indica que los suelos de la cuenca Apu Ankhara, no varían significativamente en la textura, esto reafirma que los suelos son de características similares.

Tabla 26

Arena, limo y arcilla, según la condición del suelo

Descripción		Mínimo	Máximo	Clase de textura
% de arena	Suelos no reforestados	70	78	Franco arenoso
% de limo		18	26	
% de arcilla		2	5	
% de arena	Suelos reforestados	67	80	Franco arenoso
% de limo		19	32	
% de arcilla		1	1	

Interpretación:

En la Tabla 26, se visualiza las medidas resumen según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. Los resultados indican que, en los suelos no reforestados y reforestados en promedio son franco arenoso, con ligero variación en las proporciones de arena, limo y

arcilla sin afectar significativamente. Esto indica que la reforestación en 18 años no tiene un efecto significativo en la textura del suelo.

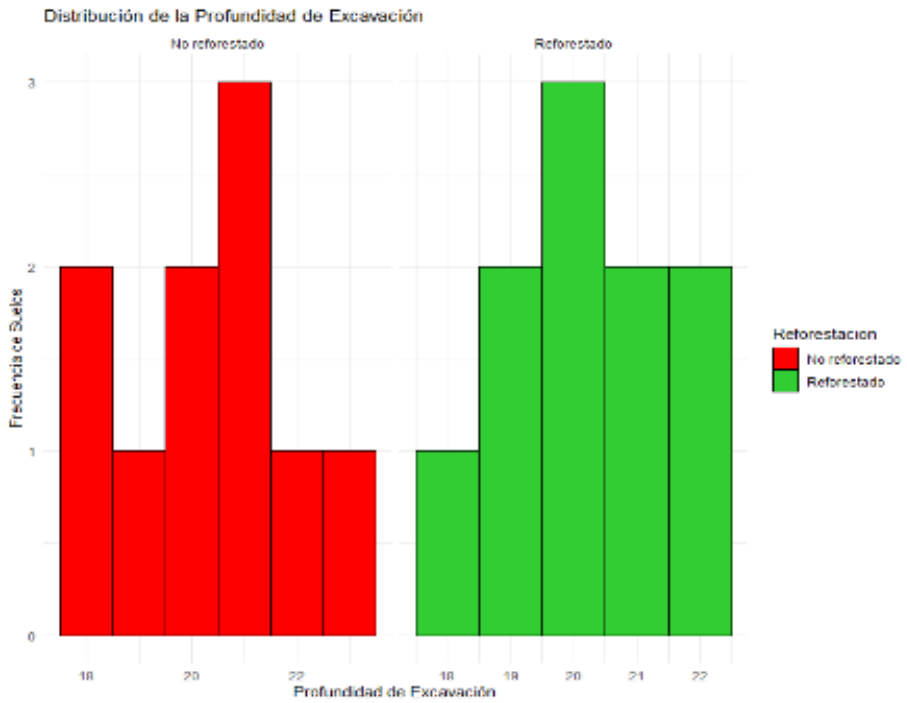
Tabla 27

Profundidad de excavación según la condición del suelo

Profundidad de excavación	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	18	23	20.3	20.5	1.64
Suelos reforestados	18	22	20.2	20	1.32

Figura 13

Histograma de la profundidad de excavación según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 27 y la Figura 13 se presentan las medidas resumen de la profundidad de excavación en la toma de muestras de suelo según la condición del terreno (reforestado o no reforestado) en la cuenca del Apu Ankhara. En los suelos no reforestados, la profundidad de excavación varía entre 18 cm y 23 cm, con una media de 20.3 cm y una

mediana de 20.5 cm, lo que sugiere que las muestras tendieron a concentrarse en valores ligeramente superiores a 20 cm. La desviación estándar de 1.64 cm revela una variabilidad moderada en las profundidades registradas. Por otro lado, en los suelos reforestados, la profundidad de excavación se encuentra entre 18 cm y 22 cm, con una media de 20.2 cm y una mediana de 20 cm, evidenciando una distribución muy cercana al promedio. La menor desviación estándar de 1.32 cm indica que las profundidades en estos suelos fueron más homogéneas, reflejando una mayor consistencia en el proceso de muestreo.

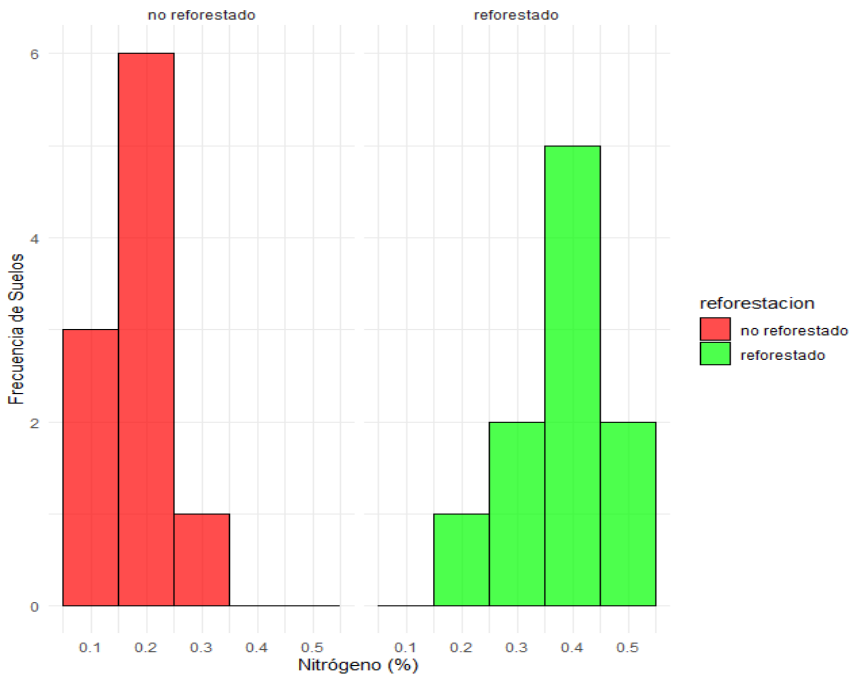
Tabla 28

Nitrógeno según la condición del suelo

% de nitrógeno	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	0.12	0.31	0.18	0.18	0.05
Suelos reforestados	0.24	0.48	0.37	0.39	0.08

Figura 14

Histograma del porcentaje de nitrógeno según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 28 y la Figura 14 se presentan las medidas resumen del porcentaje de nitrógeno en los suelos de la cuenca del Apu Ankhara, diferenciados según la condición del suelo (reforestados y no reforestados). En los suelos no reforestados, el porcentaje de nitrógeno varía entre 0.12% y 0.31%, con una media de 0.18% y una mediana de 0.18%, lo que indica que la mayoría de los suelos no reforestados tienen una concentración baja de nitrógeno. La desviación estándar de 0.05% muestra que hay poca variabilidad en estos suelos respecto al porcentaje de nitrógeno. En contraste, los suelos reforestados presentan un rango mayor, entre 0.24% y 0.48%, con una media de 0.37% y una mediana de 0.39%, lo que indica una mayor concentración de nitrógeno en comparación con los suelos no reforestados. La desviación estándar de 0.08% sugiere una mayor dispersión en los valores de nitrógeno en los suelos reforestados, lo que podría estar relacionado con la actividad biológica y el proceso de recuperación del suelo tras la reforestación. Estos resultados sugieren que los suelos reforestados podrían estar experimentando un mayor ciclo de nitrógeno debido a la actividad biológica asociada a la vegetación reforestada.

Tabla 29

T de Welch del porcentaje de nitrógeno según la condición del suelo

% Nitrógeno	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-4.027	14.01	0.0013	Reforestados tiene más Nitrógeno

La tabla 29 presenta la prueba de T de Welch mostró un valor t = -4.027, con gl ≈ 14.01 y una significancia de p = 0.0013 (< 0.01), lo que confirma una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de nitrógeno entre los suelos. El valor negativo del estadístico indica que los suelos no reforestados tienen menor porcentaje de nitrógeno, mientras que los suelos reforestados presentan concentraciones más altas. Esto se debe a que la reforestación incrementa el aporte de materia orgánica a través de la hojarasca, raíces y

actividad microbiana, procesos que enriquecen el suelo con nitrógeno y mejoran su fertilidad en comparación con los suelos degradados sin cobertura vegetal.

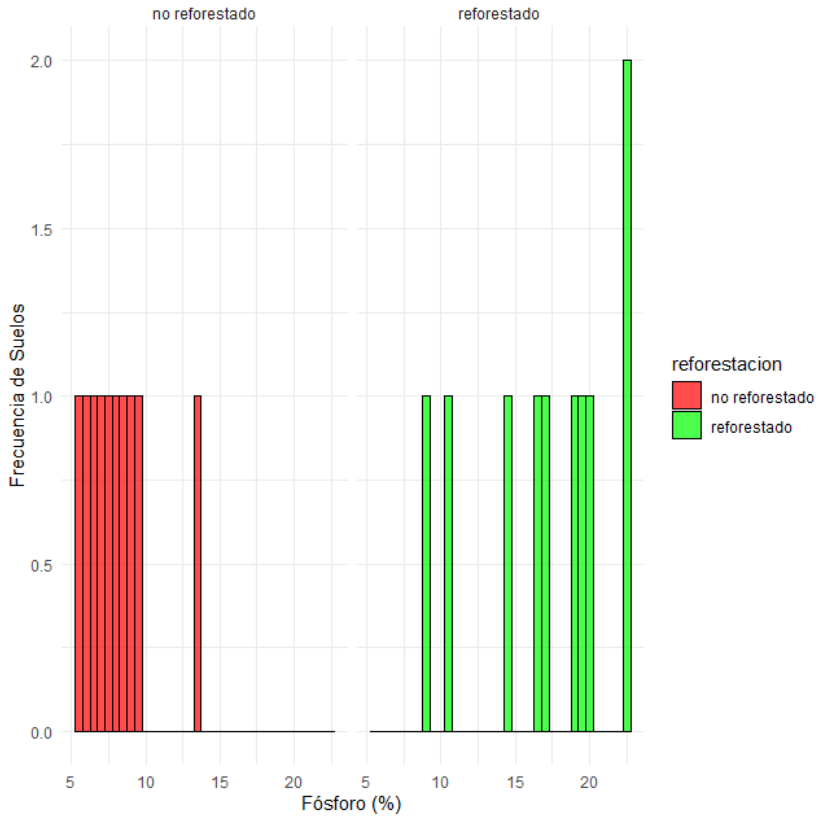
Tabla 30

Fosforo según la condición del suelo

% de fosforo (ppm p205)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	5.5	13.6	8.14	7.59	2.35
Suelos reforestados	8.85	22.7	17.17	18.2	4.71

Figura 15

Histograma del porcentaje de fosforo según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 30 y la Figura 15 se presentan las medidas resumen del porcentaje de fósforo según la condición del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. Los suelos no reforestados tienen un porcentaje de fósforo que oscila entre 5.5% y 13.6%, con una media de 8.14% y

una mediana de 7.59%. Estos valores indican que la mayoría de los suelos no reforestados tienen concentraciones bajas de fósforo. Por otro lado, los suelos reforestados presentan un rango de 8.85% a 22.7%, con una media de 17.17% y una mediana de 18.2%. Esto sugiere que los suelos reforestados tienen un porcentaje significativamente mayor de fósforo en comparación con los no reforestados. La desviación estándar más alta en los suelos reforestados (4.71%) refleja una mayor variabilidad en la concentración de fósforo en estos suelos, lo que puede ser un indicativo de la recuperación del contenido de fósforo debido a las prácticas de reforestación. Estos resultados ofrecen información sobre la fertilidad del suelo en función de la reforestación, ya que este elemento (fósforo) actúa como un nutriente clave para el crecimiento vegetal.

Tabla 31

T de Welch del porcentaje de fosforo según la condición del suelo

% Fósforo (ppm p205)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados	-6.038	15.94	0.00005	Diferencia significativa
suelos reforestados				Reforestados tiene más Fosforo

La tabla 31 presenta la prueba T de Welch arrojó un valor t = -6.038, con gl ≈ 15.94 y un nivel de significancia p = 0.00005 (< 0.01), lo que demuestra una diferencia altamente significativa en el contenido de fósforo entre suelos reforestados y no reforestados. El valor negativo del estadístico indica que los suelos no reforestados tienen menor concentración de fósforo, mientras que los suelos reforestados presentan un contenido considerablemente mayor. Esto se explica porque la reforestación promueve la acumulación de materia orgánica y la actividad biológica, que facilitan la mineralización y disponibilidad de fósforo en el suelo, mejorando así su fertilidad y capacidad productiva frente a los suelos sin cobertura vegetal.

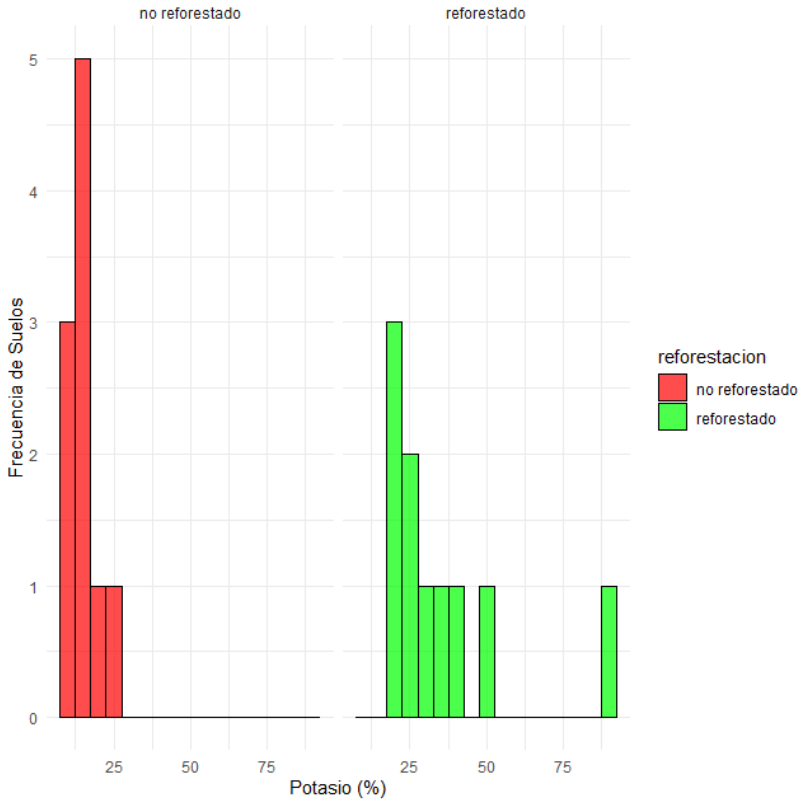
Tabla 32

Potasio según la condición del suelo

% de potasio (ppm k20)	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	10.8	22.7	15.36	15.1	3.56
Suelos reforestados	18.2	89.6	35.51	28.3	21.36

Figura 16

Histograma del porcentaje de potasio según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 32 y la Figura 16 se presentan las medidas resumen del porcentaje de potasio según la condición del suelo (reforestado y no reforestado). Los suelos no reforestados

muestran un rango de potasio entre 10.8% y 22.7%, con una media de 15.36% y una mediana de 15.1%. La desviación estándar es de 3.56%, lo que indica una variabilidad moderada en los valores de potasio en estos suelos. Por otro lado, los suelos reforestados tienen un rango mucho más amplio, de 18.2% a 89.6%, con una media de 35.51% y una mediana de 28.3%. La desviación estándar es considerablemente mayor, con un valor de 21.36%, lo que indica una alta variabilidad en los valores de potasio en los suelos reforestados. Estos resultados sugieren que los suelos reforestados presentan una mayor variabilidad en cuanto a la concentración de potasio, posiblemente debido a diferentes factores como el tipo de vegetación plantada, la intervención humana en las prácticas de reforestación, o la heterogeneidad natural de los suelos.

Tabla 33

T de Welch del porcentaje de fosforo según la condición del suelo

% Potasio (ppm k20)	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados suelos reforestados	-2.263	11.46	0.045	Diferencia significativa Reforestados tiene más Potasio

La tabla 33 presenta la prueba T de Welch mostró un valor t = -2.263, con gl ≈ 11.46 y un nivel de significancia p = 0.045 (< 0.05), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa en el contenido de potasio entre los tipos de suelo. El valor negativo del estadístico confirma que los suelos no reforestados presentan menores concentraciones de potasio, mientras que los suelos reforestados tienen valores más altos. Esto se debe a que la cobertura forestal favorece la incorporación de restos vegetales y la mineralización de materia orgánica, procesos que liberan potasio y mejoran la fertilidad del suelo en comparación con los suelos degradados y sin cobertura vegetal.

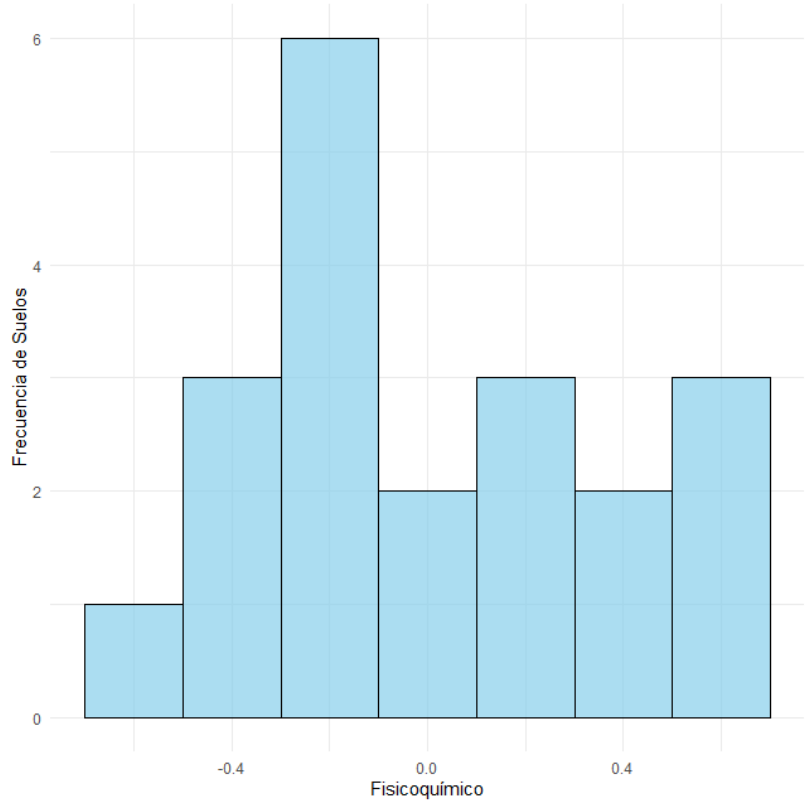
Tabla 34

Índice de propiedades físicas químicas del suelo

Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Índice de propiedades físicos y químicas	-0.523	0.559	0.00	-0.0881	0.360

Figura 17

Histograma del índice de propiedades físico químicas del suelo



Interpretación:

En la Tabla 34 y la Figura 17 se presentan las medidas resumen del índice de propiedades físico-químicas del suelo. Este índice tiene un rango de valores que va de -0.523 a 0.559, con una media de 0.00 y una mediana de -0.0881. La desviación estándar es de 0.360, lo que indica una variabilidad considerable en los valores de este índice en los suelos muestreados. El valor medio de 0.00 sugiere que, en promedio, las propiedades físico-químicas del suelo están equilibradas, ni significativamente positivas ni negativas. Sin

embargo, la presencia de valores negativos (como el mínimo de -0.523) y positivos (como el máximo de 0.559) muestra que existe una variabilidad considerable en las propiedades físico-químicas de los suelos.

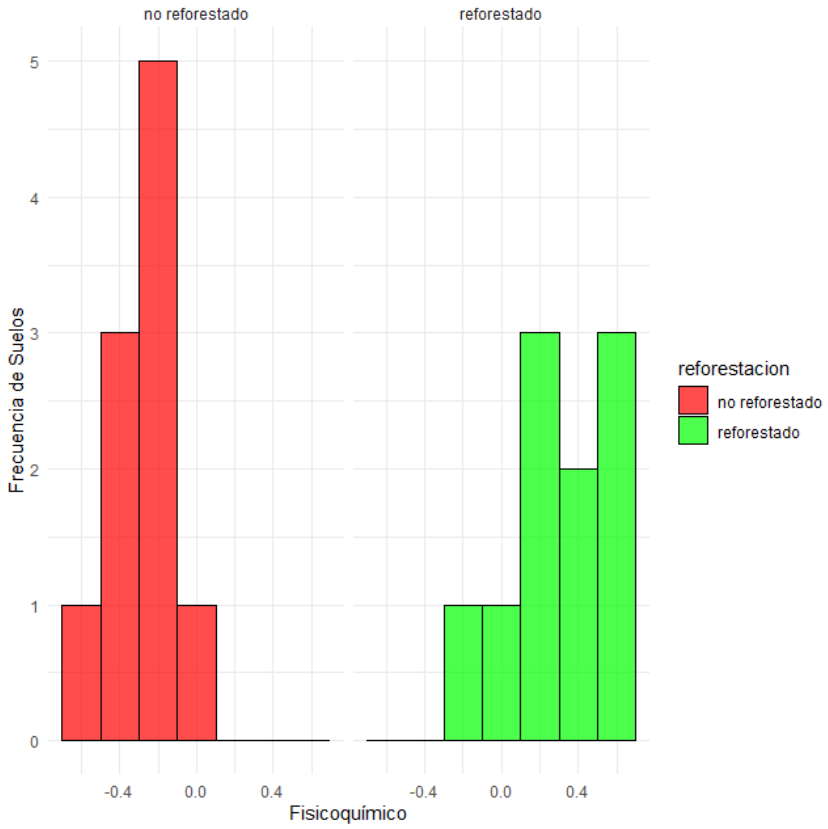
Tabla 35

Índice de propiedades físico químico según la condición del suelo

Índice de propiedades físicos y químicos	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	-0.532	-0.0273	-0.294	-0.279	0.143
Suelos reforestados	-0.145	0.559	0.294	0.331	0.250

Figura 18

Histograma del índice físico químico según la condición del suelo



Interpretación:

La Tabla 35 y la Figura 18 se aprecia las medidas resumen del índice de propiedades físico-químicas según la condición del suelo (reforestado y no reforestado). Para los suelos no reforestados, el índice tiene un rango que va de -0.532 a -0.0273, con una media de -0.294 y una mediana de -0.279. La desviación estándar es de 0.143. Los valores negativos en este grupo indican que, en promedio, los suelos no reforestados tienen una calidad físico-química inferior, con un leve desequilibrio hacia propiedades menos favorables. La desviación estándar relativamente baja sugiere que los suelos no reforestados presentan características físico-químicas más homogéneas entre sí. Por otro lado, para los suelos reforestados, el índice varía entre -0.145 y 0.559, con una media de 0.294 y una mediana de 0.331. La desviación estándar en este caso es de 0.250, lo que indica una mayor dispersión de las propiedades físico-químicas en los suelos reforestados. Los valores positivos revelan una mejora en las propiedades físico-químicas en comparación con los suelos no reforestados, sugiriendo que la reforestación puede estar favoreciendo la recuperación o mejoramiento de las condiciones del suelo.

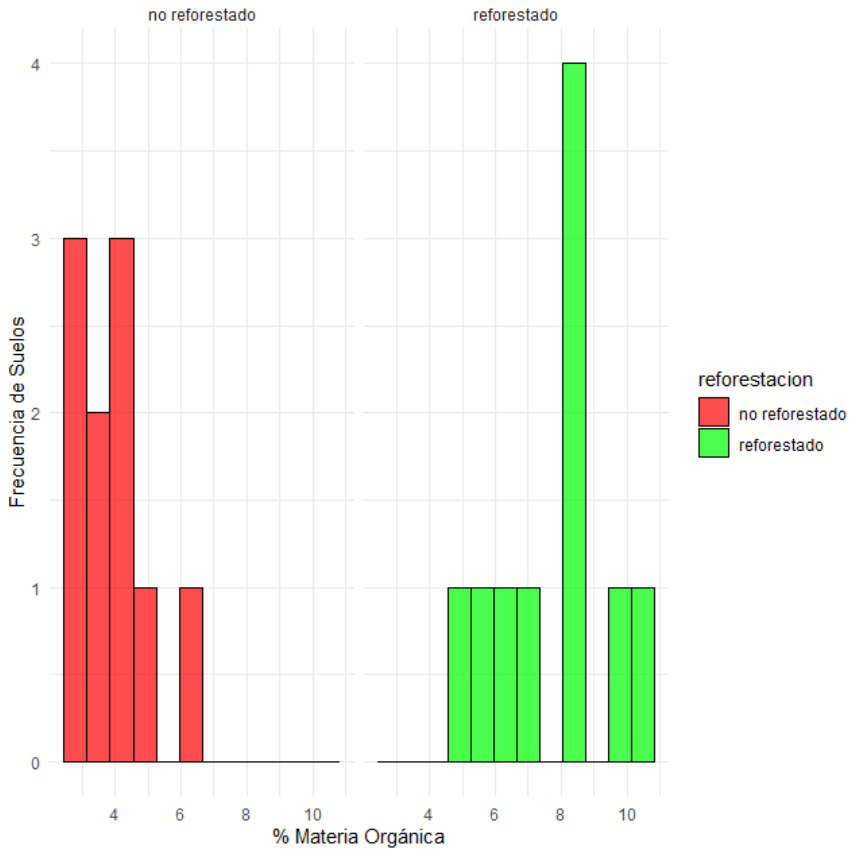
Tabla 36

Porcentaje de materia orgánica según la condición del suelo

% de materia orgánica	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	2.5	6.6	4.002	3.925	1.13
Suelos reforestados	5.1	10.47	7.858	8.18	1.73

Figura 19

Histograma del porcentaje de materia orgánica según la condición del suelo



Interpretación:

En la Tabla 36 y Figura 19 se presentan las medidas resumen del porcentaje de materia orgánica en los suelos según su condición. Se observa que los suelos no reforestados tienen un contenido de materia orgánica más bajo, con un mínimo de 2.5% y un máximo de 6.6%, mientras que los suelos reforestados muestran valores más elevados, con un rango de 5.1% a 10.47%. La media de 4.002% en suelos no reforestados indica que, en promedio, estos suelos presentan menor acumulación de materia orgánica en comparación con los suelos reforestados, cuya media es de 7.858%, lo que sugiere que la reforestación contribuye a un mayor almacenamiento de materia orgánica en el suelo. Asimismo, la mediana de 3.925% en suelos no reforestados refleja que al menos la mitad de las muestras tienen valores iguales o inferiores a este porcentaje, mientras que en suelos

reforestados la mediana de 8.18% indica que la mayoría de estos suelos presentan una mayor cantidad de materia orgánica. La desviación estándar de 1.13% en suelos no reforestados muestra menor variabilidad en comparación con los suelos reforestados, cuya desviación estándar de 1.73% sugiere una mayor dispersión en los porcentajes de materia orgánica en los suelos.

Tabla 37

T de Welch del porcentaje de materia orgánica según la condición del suelo

% Materia orgánica	t	gl(≈)	p (2-col)	Diferencia
suelos no reforestados				Diferencia significativa
suelos reforestados	-5.722	16.86	0.0000135	Reforestados tiene mayor materia orgánica

La tabla 37 presenta la prueba T de Welch que mostró un valor t = -5.722, con gl ≈ 16.86 y una significancia de p = 0.0000135 (< 0.01), lo que evidencia una diferencia altamente significativa en el contenido de materia orgánica entre suelos reforestados y no reforestados. El valor negativo del estadístico indica que los suelos no reforestados presentan menor concentración de materia orgánica, mientras que los reforestados acumulan cantidades mayores, gracias a la constante incorporación de hojarasca, raíces y residuos vegetales. Este aumento en materia orgánica mejora la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y nutrientes, y la actividad microbiana, lo que fortalece la fertilidad y sostenibilidad de los suelos bajo cobertura forestal.

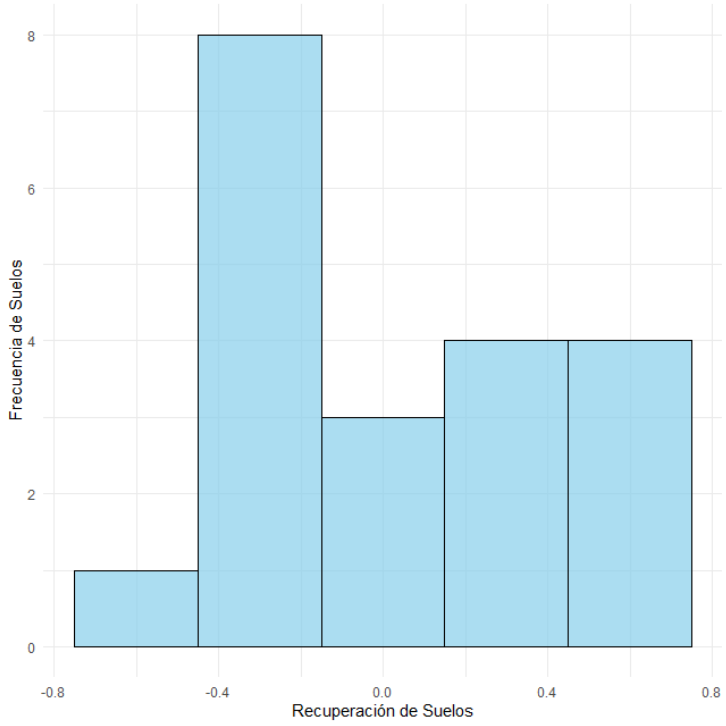
Tabla 38

Índice de recuperación de suelo

Indicador	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Índice de recuperación de suelos	-0.547	0.613	0.00	-0.075	0.390

Figura 20

Histograma del índice de recuperación de suelos



Interpretación:

En la Tabla 38 y la Figura 34 se aprecian las medidas resumen del índice de recuperación de suelos en la cuenca Apu Ankhara, el cual varía entre un mínimo de -0.547 y un máximo de 0.613. La media de 0.00 indica que, en promedio, los suelos evaluados presentan un equilibrio en su recuperación, con valores tanto positivos como negativos que se compensan entre sí. La mediana de -0.075 sugiere que al menos la mitad de los suelos

tienen valores de recuperación ligeramente negativos, lo que implica que una parte significativa de los suelos aún enfrenta condiciones desfavorables en términos de recuperación. La desviación estándar de 0.390 refleja una alta variabilidad en los índices de recuperación de los suelos dentro de la cuenca. Los resultados sugieren que la recuperación de los suelos en la cuenca Apu Ankhara no son uniformes, con algunos suelos mostrando mejoras significativas, mientras que otros aún presentan dificultades para su recuperación.

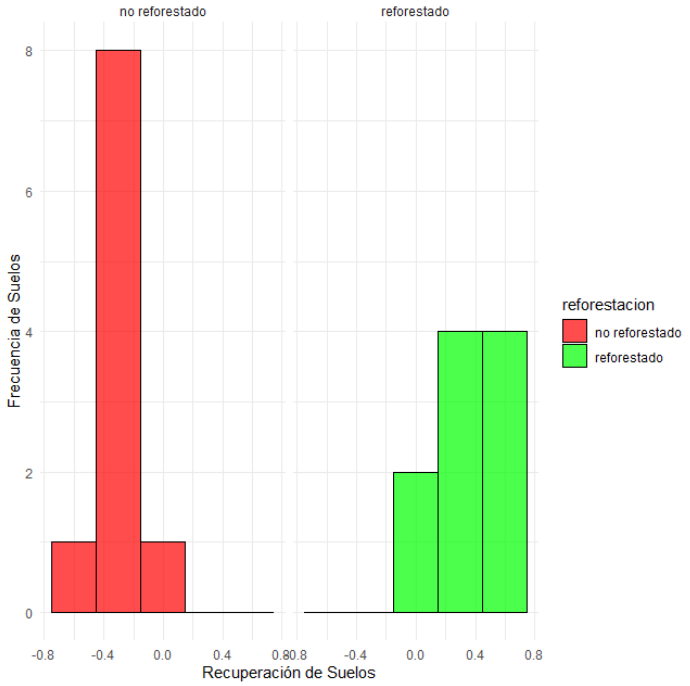
Tabla 39

Índice de recuperación según la condición del suelo

Índice de recuperación de sueños	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	Desviación Estándar
Suelos no reforestados	-0.547	-0.0105	-0.322	-0.307	0.156
Suelos reforestados	-0.140	0.613	0.322	0.383	0.260

Figura 21

Histograma del índice de recuperación según la condición del suelo

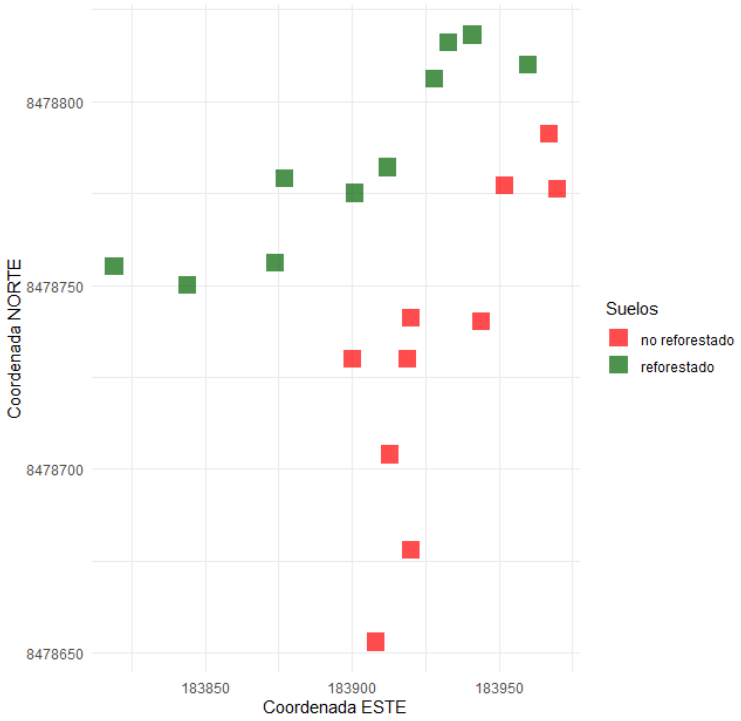


Interpretación:

En la Tabla 39 y la Figura 21 se aprecian las medidas resumen del índice de recuperación de suelos según la condición del suelo en la cuenca Apu Ankhara. Para los suelos no reforestados, el índice varía entre un mínimo de -0.547 y un máximo de -0.0105, con una media de -0.322 y una mediana de -0.307, lo que indica que, en general, los suelos no reforestados presentan un nivel de recuperación negativo. La desviación estándar de 0.156 refleja una variabilidad moderada en los valores del índice entre los suelos no reforestados. En cambio, para los suelos reforestados, el índice varía entre un mínimo de -0.140 y un máximo de 0.613, con una media de 0.322 y una mediana de 0.383, lo que sugiere que los suelos reforestados presentan un índice de recuperación positivo en promedio. La desviación estándar de 0.260 refleja una mayor variabilidad en los suelos reforestados en comparación con los no reforestados. Los hallazgos indican que los suelos reforestados muestran una recuperación más favorable, con valores positivos en el índice de recuperación, mientras que los suelos no reforestados aún presentan condiciones de recuperación desfavorables. Esto resalta la importancia de la reforestación como estrategia para mejorar la recuperación de los suelos en la cuenca Apu Ankhara.

Figura 22

Distribución espacial de suelos reforestados y no reforestados

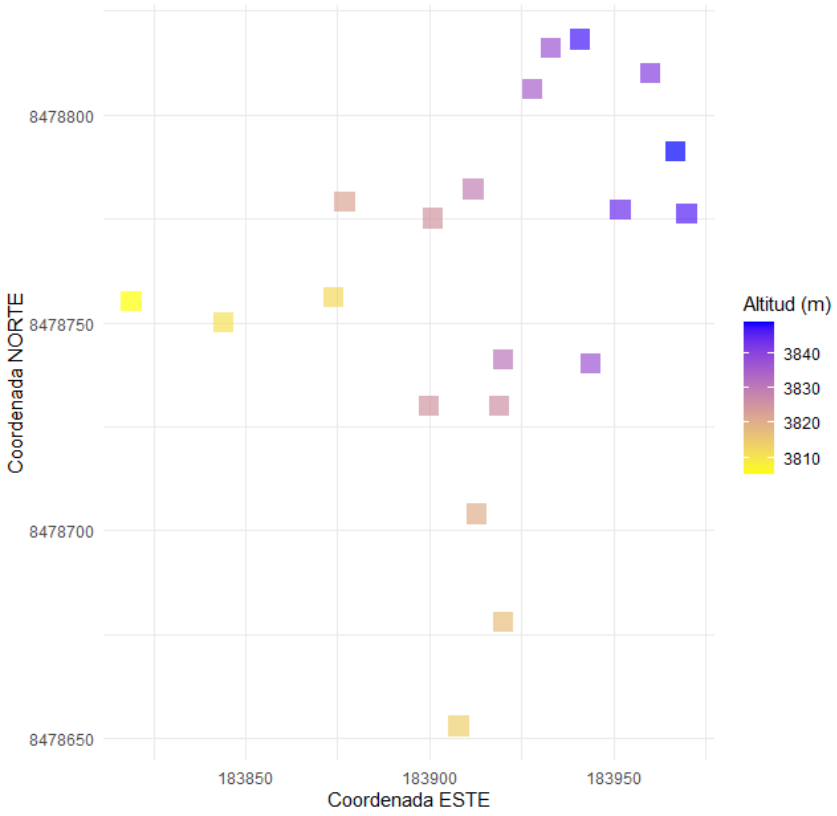


Interpretación:

En la figura 22 se visualiza la distribución espacial de los puntos muéstrales de suelo en la cuenca Apu Ankhara. Se observa que los suelos reforestados se localizan más al norte lado izquierdo de la cuenca, mientras que los suelos no reforestados se encuentran más al este lado derecho de la cuenca.

Figura 23

Distribución espacial de la altitud de los suelos

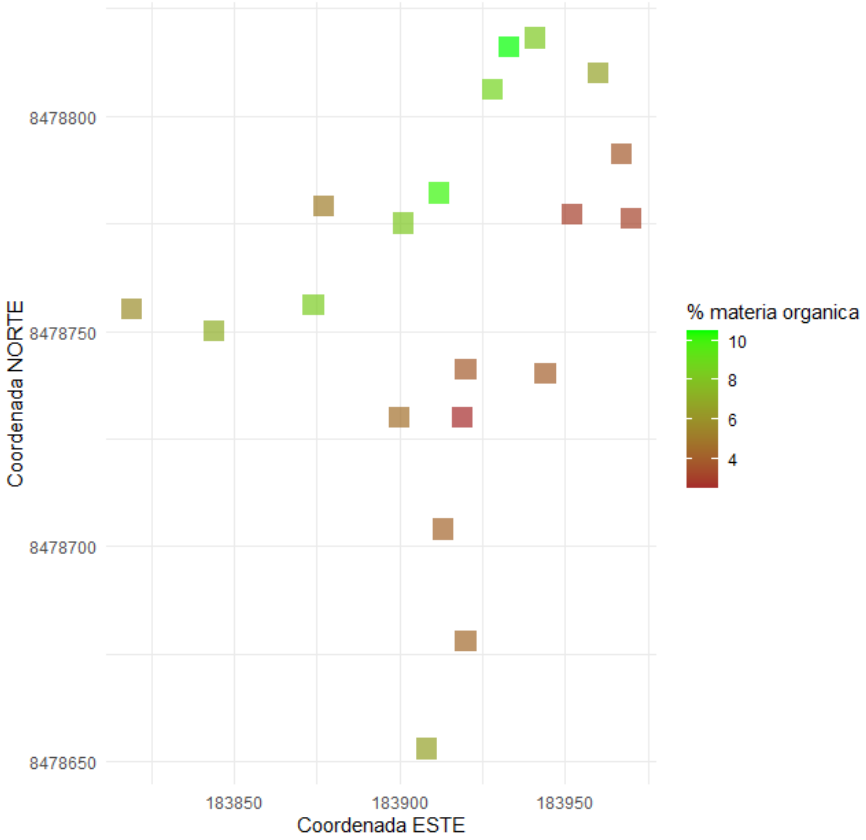


Interpretación:

En la figura 23 se ilustra la distribución espacial de altitud de los suelos, donde se observa una tendencia clara en la cuenca Apu Ankhara. A medida que nos desplazamos hacia el noreste, la altitud de los suelos aumenta. Esto indica que en las zonas con menores coordenadas de norte y este, la altitud es más baja, mientras que en las áreas más al noreste, la altitud es considerablemente mayor.

Figura 24

Distribución espacial del porcentaje de materia orgánica en los suelos

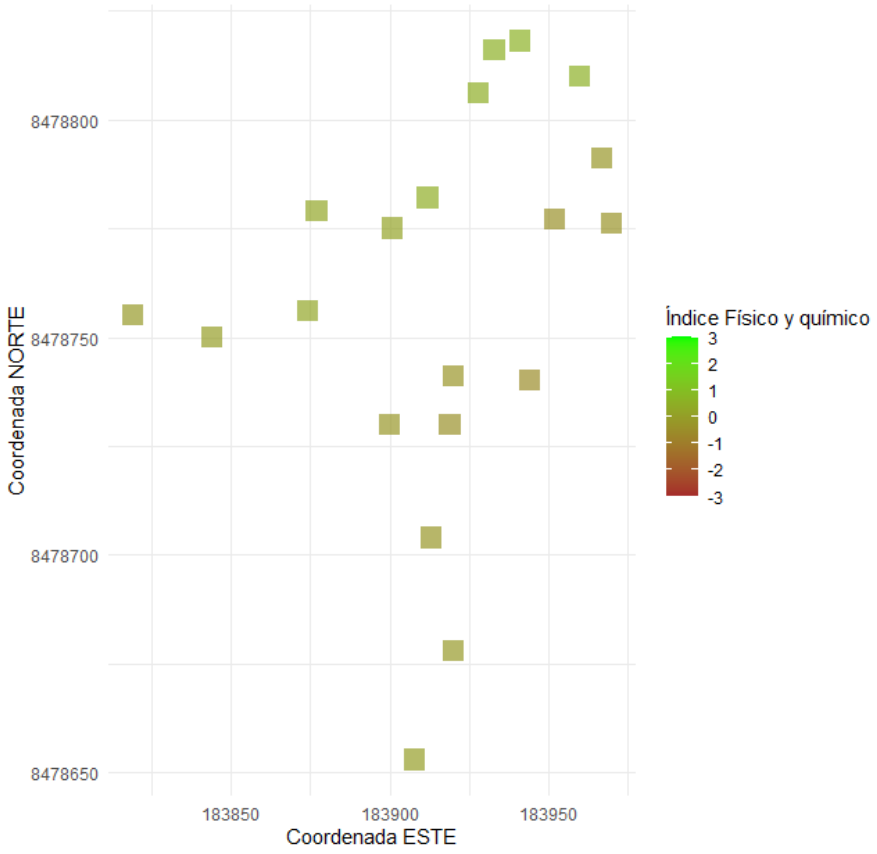


Interpretación:

En la figura 24 se visualiza el porcentaje de materia orgánica en los suelos de la cuenca Apu Ankhara, se observa que los suelos ubicados más al norte presentan un mayor contenido de materia orgánica en comparación con los suelos situados más al este. Esto sugiere que a medida que nos desplazamos hacia el norte, los suelos tienden a ser más ricos en materia orgánica, mientras que en las zonas más al este, el contenido de materia orgánica es relativamente más bajo. Esto debido a que en esa parte de la cuenca se reforesto mientras donde hay menos materia orgánica no se reforesto.

Figura 25

Distribución espacial del índice físico químico de los suelos



Interpretación:

En la figura 25 que muestra el índice de características físico-químicas de los suelos en la cuenca Apu Ankhara, se observa que hay una diferencia mínima entre los suelos ubicados más al norte la cual son reforestados y aquellos más al este que son suelos no reforestados.

Acciones de reforestación

En esta sección se presentará los resultados descriptivos respeto a las acciones de reforestación que realizaron los comuneros de comunidades aledañas a la cuenca Apu Ankhara, la presentación se realizara usando tablas de frecuencias e histogramas respecto a las opiniones de los comuneros.

Tabla 40

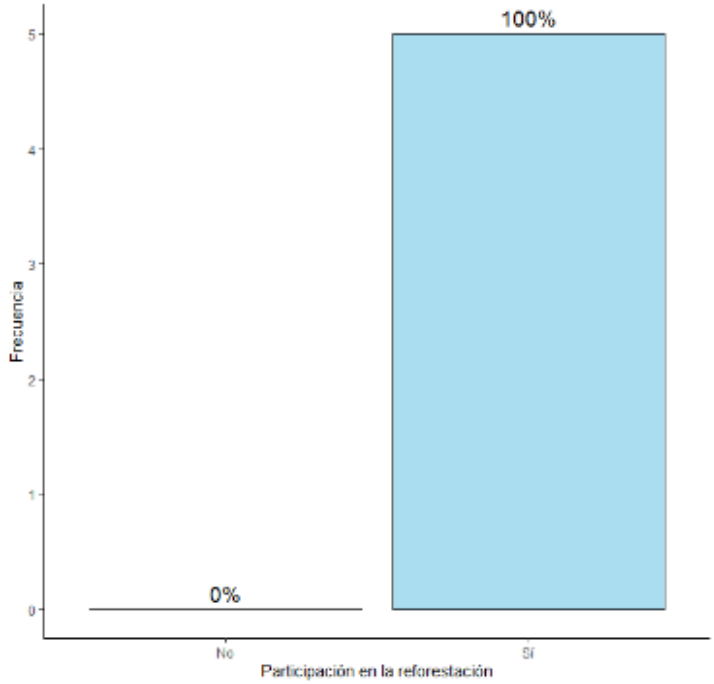
Tabla de frecuencia para: ¿Usted participo en la reforestación de la Cuenca Apu

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Si	5	100%
No	0	0%
Total	5	100%

Ankhara?

Figura 26

Grafica de barras para: ¿Usted participo en la reforestación de la Cuenca Apu Ankhara?



Interpretación:

En la Tabla 40 y Figura 26, se observa que el 100% de los entrevistados participaron en la reforestación de la Cuenca Apu Ankhara, mientras que ninguno indicó que no participó. Este resultado evidencia un compromiso total de los comuneros con las actividades de reforestación.

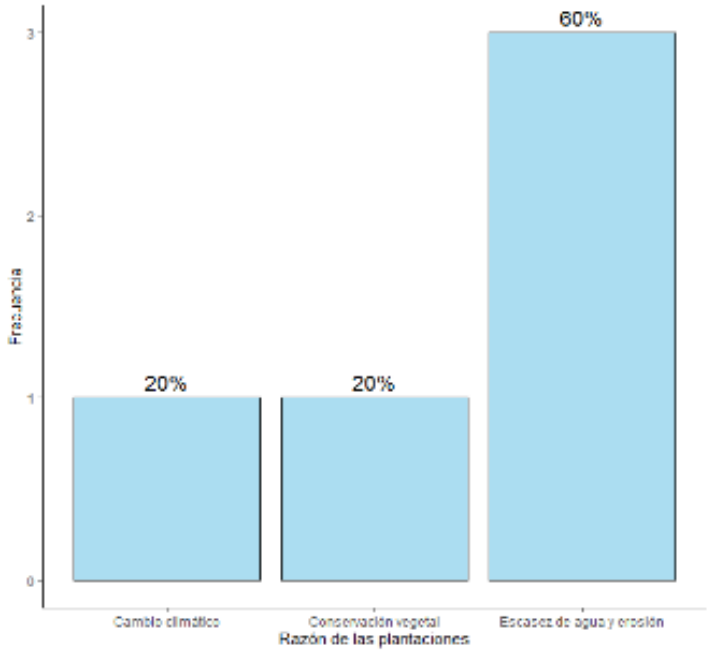
Tabla 41

Tabla de frecuencia para: ¿Por qué hicieron las plantaciones?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Escases de agua y erosión	3	60%
Cambio climático	1	20%
Conservación vegetal	1	20%
Total	5	100%

Figura 27

Grafica de barras para: ¿Por qué hicieron las plantaciones?



Interpretación:

En la Tabla 41 y Figura 27, se observa que la principal razón por la que los comuneros realizaron las plantaciones fue la escasez de agua y la erosión, con un 60% de las respuestas. Por otro lado, el 20% indicó que lo hicieron debido al cambio climático, mientras que otro 20% mencionó la conservación vegetal como motivo. Estos resultados reflejan que la preocupación mayoritaria de los comuneros está relacionada con la

degradación del suelo y la disponibilidad de agua, aunque también consideran la protección del ecosistema y el impacto del cambio climático en la zona.

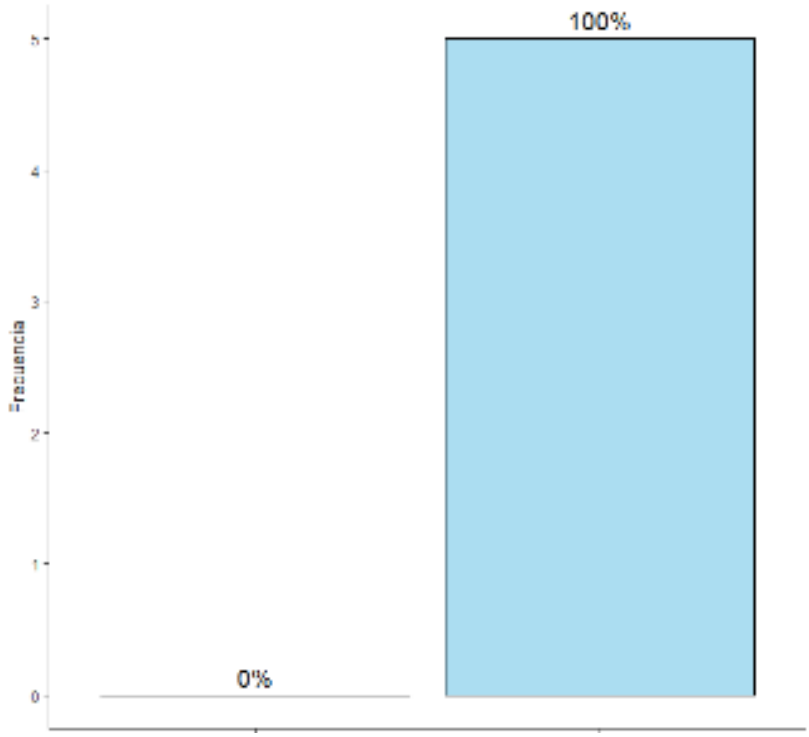
Tabla 42

Tabla de frecuencia para: ¿Qué especies de árboles plantaron?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Queuña	5	100%
Total	5	100%

Figura 28

Grafica de barras para: ¿qué especies de árboles plantaron?



Interpretación:

En la Tabla 42 y Figura 28, se observa que el 100% de los comuneros indicaron que las especies de árboles plantadas fueron *Queuñas*, Esto muestra que la reforestación en la cuenca Apu Ankhara se ha enfocado en especies propias de la zona, como la queuña, que resiste bien el clima y ayuda a proteger el suelo. Apostar por estas especies nativas no

solo ayuda a recuperar la vegetación, sino también a cuidar el ecosistema que siempre ha existido en este lugar.

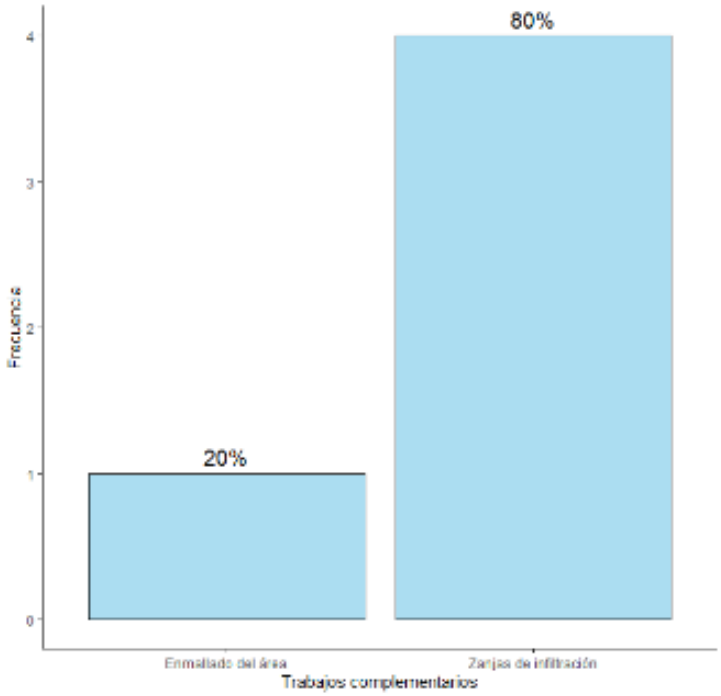
Tabla 43

Tabla de frecuencia para: ¿Qué otros trabajos complementarios hicieron?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Zanjas de infiltración	4	80%
Enmallado del área	1	20%
Total	5	100%

Figura 29

Gráfico de barras para: ¿Qué otros trabajos complementarios hicieron?



Interpretación:

En la Tabla 43 y figura 29, se aprecia que el 80% de los comuneros realizaron zanjas de infiltración como trabajo complementario a la reforestación, mientras que el 20% llevó a cabo el enmallado del área. Estos resultados indican que la mayoría de los esfuerzos estuvieron dirigidos a mejorar la retención de agua en el suelo, lo que favorece el

crecimiento de las plantas y reduce la erosión, mientras que una menor proporción de comuneros optó por la protección del área reforestada mediante cercos para que no ingresen los animales.

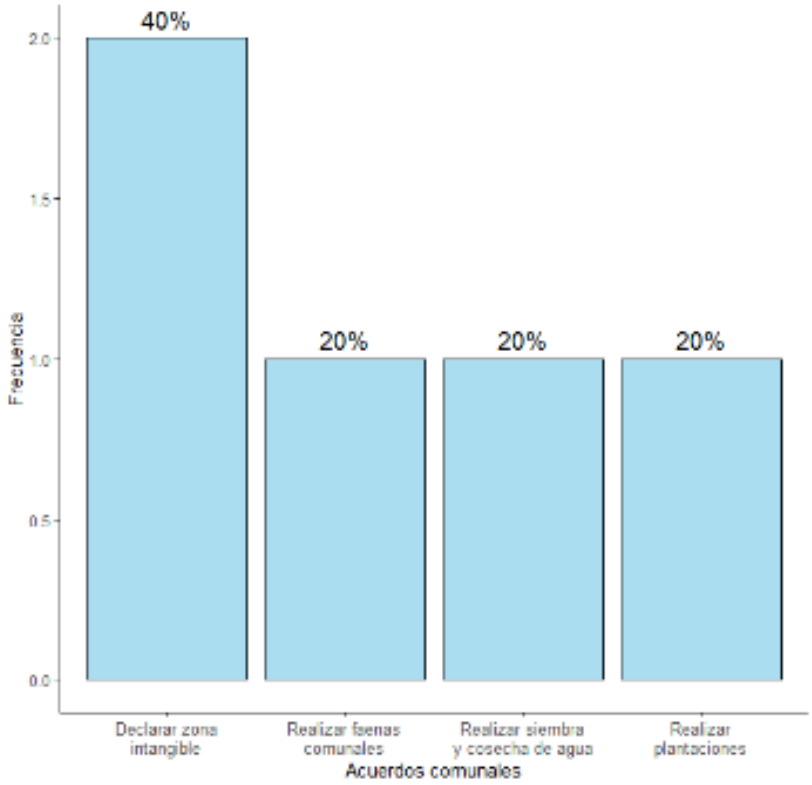
Tabla 44

Tabla de frecuencia para: ¿Qué acuerdos comunales se tomaron?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Realizar faenas comunales	1	20%
Declarar zona intangible	2	40%
Realizar plantaciones	1	20%
Realizar siembra y Cosecha de agua	1	20%
Total	5	100%

Figura 30

Gráfico de barras para: ¿Qué acuerdos comunales se tomaron?



Interpretación:

En la Tabla 44 y figura 30, se observa que el 40% de los comuneros acordaron declarar la zona como intangible, mientras que el 20% decidió realizar faenas comunales, otro 20%

optó por realizar plantaciones, y el 20% restante tomó el acuerdo de llevar a cabo siembra y cosecha de agua. Estos resultados reflejan que la principal medida adoptada fue la protección del área reforestada, complementada con acciones de mantenimiento y conservación del suelo y el agua, lo que demuestra una visión integral en la gestión del territorio.

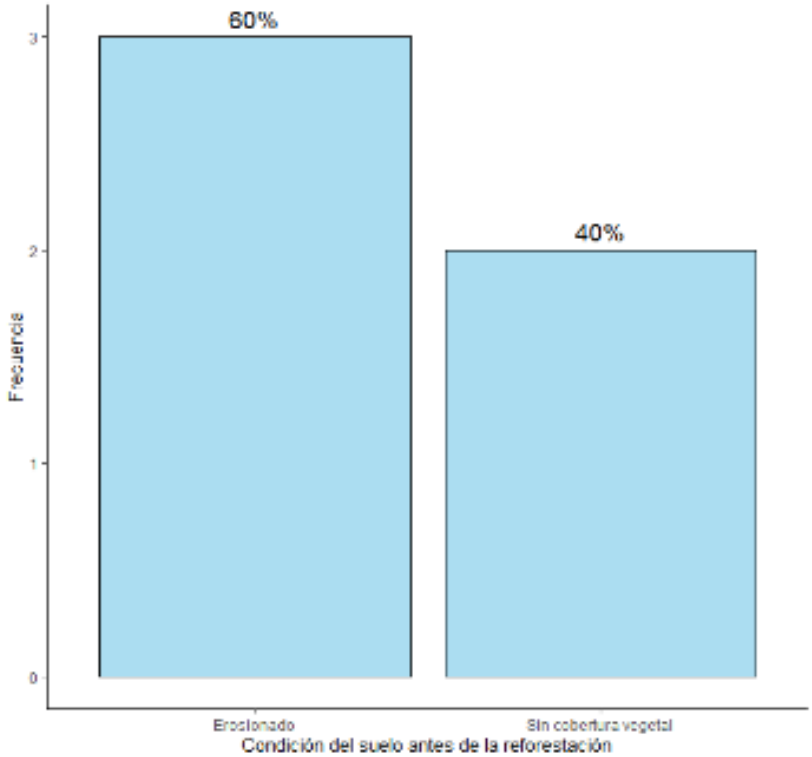
Tabla 45

Tabla de frecuencia para: ¿Cómo eran los suelos en Apu Ankhara antes de los trabajos de reforestación?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Erosionado	3	60%
Sin cobertura vegetal	2	40%
Total	5	100%

Figura 31

Gráfico de barras para: ¿Cómo eran los suelos en apu Ankhara antes de los trabajos de reforestación?



Interpretación:

En la Tabla 45 y Figura 31, se visualiza que el 60% de los comuneros indicaron que antes de la reforestación los suelos en Apu Ankhara estaban erosionados, mientras que el 40% señaló que carecían de cobertura vegetal. Estos resultados evidencian que, previo a los trabajos de reforestación, el área presentaba una degradación significativa, caracterizada por la pérdida de suelo fértil y la ausencia de vegetación.

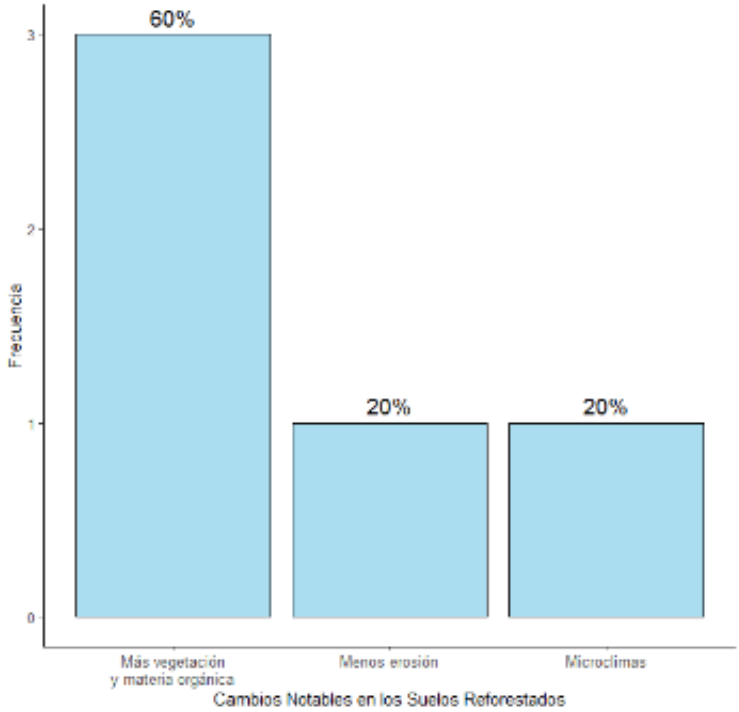
Tabla 46

Tabla de frecuencia para: ¿Qué cambios notables ha evidenciado usted en los suelos reforestados?

Respuesta	Frecuencia	Porcentaje
Microclimas	1	20%
Más vegetación y materia orgánica	3	60%
Menos erosión	1	20%
Total	5	100%

Figura 32

Grafica de barras para: ¿Qué cambios notables ha notado usted en los suelos reforestados?



Interpretación:

En la Tabla 46 y Figura 32, se ilustra que el 60% de los comuneros percibieron un aumento en la vegetación y materia orgánica en los suelos reforestados, mientras que el 20% notó la formación de microclimas y otro 20% indicó que hubo menos erosión. Estos resultados sugieren que la reforestación ha generado una mejora significativa en la cobertura vegetal y la calidad del suelo, lo que contribuye a la retención de humedad, la estabilidad del ecosistema y la reducción de la degradación del suelo en la cuenca *Apu Ankhara*.

Descripción de los hallazgos más relevantes

Los hallazgos obtenidos en esta investigación revelan con claridad que la reforestación en la cuenca Apu Ankhara ha generado un impacto positivo y estadísticamente comprobado en la recuperación de los suelos degradados ya que al comparar los suelos reforestados con aquellos que no recibieron intervención mediante la

prueba de T de Welch se confirmó que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en sus propiedades físico-químicas y biológicas destacando especialmente el incremento de la materia orgánica que mostró un incremento altamente significativo ($t = -5.722$; $p < 0.0000135$), pasando de un promedio de 4.002% en suelos no reforestados a 7.858% en los reforestados lo cual refleja un avance importante en la calidad del suelo además el contenido de nutrientes clave como el nitrógeno (de 0.184% a 0.370%; $p = 0.0013$), fósforo (de 8.138 a 17.167 mg/kg; $p < 0.00005$) y potasio (de 15.36 a 35.51 mg/kg; $p = 0.045$) confirmando una recuperación integral de la fertilidad química, por otro lado, también se observaron mejoras en indicadores físicos como la capacidad de campo (de 19.90% a 28.32%; $p < 0.0001$), la humedad a equilibrio (de 20.01% a 30.88%; $p < 0.00005$) y el punto de marchitez permanente (de 10.74% a 15.29%; $p = 0.00018$), lo que indica que los suelos no reforestados presentan un menor porcentaje de humedad al punto de marchitez. La densidad relativa también disminuyó significativamente lo que sugiere una estructura más favorable para el crecimiento vegetal. Si bien la densidad aparente mostró solo una diferencia marginal, la tendencia confirma que los suelos reforestados tienden a estar menos compactados. Estos avances se reflejaron en el índice integrado de propiedades físico-químicas, que pasó de un valor negativo en los suelos no reforestados (-0.294) a un valor positivo en los reforestados (0.294), con una diferencia significativa ($p < 0.001$), lo cual representa un cambio integral hacia la recuperación edáfica complementando estos datos los testimonios recogidos a través de entrevistas a líderes comunales aportan una visión cualitativa que respalda los hallazgos de laboratorio ya que un 60% de los entrevistados señalaron haber observado un aumento en la cobertura vegetal mayor presencia de materia orgánica aparición de microclimas y una reducción evidente de la erosión lo que confirma que los efectos de la reforestación son también visibles a simple vista todos los participantes indicaron que las plantaciones se realizaron con que uñas y que estas acciones estuvieron acompañadas principalmente por zanjas de infiltración en un 80% de los casos así como por acuerdos comunales que incluyeron declarar ciertas zonas como intangibles y llevar a cabo prácticas de siembra y cosecha de agua lo que no

solo potenció los beneficios ecológicos del proyecto sino que también fomentó la participación activa de la comunidad fortaleciendo así la sostenibilidad social de las acciones realizadas en el territorio.

Limitaciones del estudio

Las principales limitaciones de este estudio incluyen la representatividad de la muestra, ya que la selección de puntos muéstrales podría no abarcar toda la variabilidad espacial y temporal de los suelos en la cuenca Apu Ankhara. Además, el estudio se centró en la medición de algunas variables ambientales específicas, como la recuperación del suelo y la materia orgánica, lo que podría haber excluido otros factores importantes que también afectan la recuperación del suelo. Otra limitación es la posible influencia de factores externos, como el clima, que no fueron controlados en el estudio pero que podrían haber influido en los resultados obtenidos. Por último, la falta de un seguimiento a largo plazo impide observar los efectos de la reforestación en el tiempo y cómo podrían evolucionar las condiciones del suelo en el futuro.

Comparación critica con literatura existente

En relación con el objetivo general se puede apreciar que la reforestación llevada a cabo en la cuenca Apu Ankhara ha generado un impacto ambiental positivo y claramente medible sobre los suelos degradados lo cual se refleja en la mejora de diversas variables físico-químicas y biológicas del suelo como el notable aumento de la materia orgánica que pasó de 4.002% a 7.858% así como el incremento de nutrientes esenciales como el nitrógeno el fósforo y el potasio además se observa una mejor capacidad de retención de agua y un aumento significativo en el índice general de recuperación del suelo que pasó de un valor negativo de -0.322 a uno positivo de 0.322 este avance no solo se ve reflejado en los datos técnicos sino también en las percepciones de los líderes comunales quienes han señalado una reducción evidente de la erosión mayor cobertura vegetal y la aparición de microclimas lo que demuestra que los beneficios no se limitan únicamente al suelo sino que también se extienden al entorno ecológico de forma visible y tangible al contrastar estos hallazgos con investigaciones anteriores se encuentra una clara coincidencia con

estudios tanto nacionales como internacionales como el de Suntasig et al. (2024) quienes señalan que la reforestación favorece la formación de la estructura del suelo más estable y disminuye la perdida por erosión lo cual coincide plenamente con lo registrado en Apu Ankhara, de manera similar, Chuquichaico (2016) encontró resultados equivalentes en la cuenca del río Monzón donde la reforestación también mostró efectos positivos sobre suelos degradados respaldando así lo encontrado en esta tesis también es relevante mencionar los trabajos de Cubas (2018) y Ventura et al. (2017) quienes destacan cómo los beneficios de la reforestación se intensifican con el tiempo impactando favorablemente tanto en aspectos físicos como químicos del suelo lo que también ha sido evidenciado en esta investigación, por otro lado, los resultados obtenidos coinciden con estudios regionales como el de Quispe (2021) realizado en Cusco donde se documenta una mejora de los servicios ecosistémicos a raíz de intervenciones forestales.

En relación con el objetivo específico 1, los resultados obtenidos a través de las entrevistas realizadas a líderes comunales permitieron identificar que las principales acciones de reforestación implementadas en la cuenca Apu Ankhara se centraron en la plantación de especies nativas como la queuña con una presencia del 100% la construcción de zanjas de infiltración mencionada por el 80% de los entrevistados y la puesta en marcha de acuerdos comunales que incluyeron la declaración de zonas intangibles y la realización de faenas colectivas, todas estas acciones estuvieron motivadas en gran medida por la escasez de agua y los procesos de erosión señalados por el 60% de los participantes, así como por la necesidad urgente de conservar y restaurar la cobertura vegetal al comparar estos hallazgos con investigaciones previas se observa una fuerte coincidencia con lo expuesto por Ramos (2017) quien ejecutó un proyecto de reforestación enfocado en estabilizar laderas y proteger nacientes hídricas una situación muy similar a la que se presenta en Apu Ankhara, del mismo modo, el estudio de Quispe (2021) en zonas de fajas marginales en Cusco evidenció que la reforestación mediante

acciones comunitarias logró mejorar los servicios ecosistémicos de soporte como el ciclo de nutrientes lo cual guarda una estrecha relación con lo observado en esta investigación.

Con respecto al objetivo específico 2, los análisis realizados en laboratorio permitieron evidenciar mejoras sustanciales en las propiedades físico-químicas del suelo como resultado directo de las acciones de reforestación implementadas en la cuenca Apu Ankhara ya que se evidenció un aumento en la capacidad de intercambio catiónico que pasó de 9.74 a 10.878 meq por 100 gramos, mientras que, la conductividad eléctrica se incrementó de 0.083 a 0.194 dS por metro, y la densidad aparente mostró una disminución de 1.627 a 1.557 gramos por centímetro cúbico lo cual evidencia que es un indicador efectivo en cuanto a la compactación del suelo y su capacidad de aireación, además, se detectaron mejoras en la textura del suelo y un aumento en su capacidad de retención de humedad lo que representa un avance importante en la funcionalidad edáfica, por otro lado, el índice integrado de propiedades físico-químicas evidenció una variación promedio significativa al pasar de un valor negativo de -0.294 en suelos no reforestados a un valor positivo de 0.294 en suelos reforestados lo que confirma una recuperación notable de la calidad del suelo, al contrastar estos resultados con antecedentes científicos se observa una fuerte coincidencia con lo encontrado por Ávila et al. (2011) quienes explicaron que la reforestación con especies adecuadas influye directamente en la formación y mejoramiento del suelo especialmente cuando se trata de ecosistemas deteriorados por el uso intensivo de la tierra, además, Sarmiento (2019) identificó condiciones similares a las de Apu Ankhara antes de la reforestación particularmente en cuanto a la textura y bajos niveles de nutrientes lo que refuerza la relevancia de este tipo de intervenciones para restaurar la salud del suelo.

Respecto al tercer objetivo específico, los hallazgos alcanzados evidenciaron un aumento significativo en el contenido de materia orgánica en los suelos reforestados alcanzando una media de 7.858% frente al 4.002% registrado en los suelos no reforestados lo cual no solo representa una mejora estadísticamente importante sino que

también se vincula estrechamente con la recuperación de la fertilidad del suelo el incremento de la biomasa microbiana y una mayor capacidad de retención de humedad factores fundamentales para la salud edáfica esta mejora también fue percibida por los actores locales quienes en las entrevistas reportaron una mayor presencia de vegetación y una mejora visible en la calidad del suelo lo que valida los hallazgos desde una perspectiva empírica estos resultados se relacionan directamente con lo documentado por Ventura et al. (2017) quienes demostraron que la reforestación con Pinus greggii generó incrementos importantes tanto en biomasa como en variables estructurales del suelo favoreciendo además la cobertura vegetal secundaria, de forma similar, los estudios de Marca y Vaca (2021) comprobaron que el guarango contribuye significativamente al aumento de la materia orgánica y a la mejora del pH en áreas pertenecientes al Bosque Andino Seco, mientras que, la investigación realizada por Chuquichaico (2016) concluyó que la reforestación impacta positivamente en suelos degradados por actividades ilícitas mostrando una recuperación progresiva de la calidad del suelo incluida la materia orgánica.

VI. Conclusiones

Primero: La investigación evidenció que la reforestación ha generado un impacto ambiental positivo en la recuperación de los suelos degradados de la cuenca Apu Ankhara. Los suelos intervenidos mostraron un incremento sustancial en el índice de recuperación, que pasó de un valor negativo de -0.322 en los suelos no reforestados a un valor positivo de 0.322 en los reforestados, diferencia confirmada por la prueba T de Welch ($p < 0.001$). De manera similar, el índice de propiedades físico-químicas también registró una mejora relevante, pasando de -0.294 a 0.294 ($p < 0.001$), lo que demuestra que no solo se recuperaron las propiedades edáficas básicas, sino que también se potenció su funcionalidad ecológica y capacidad de sostener vegetación, cumpliéndose así de manera robusta con el objetivo principal del estudio.

Segundo: Se identificaron como acciones prioritarias de reforestación la plantación de queuña en el 100% de las zonas intervenidas la construcción de zanjas de infiltración en un 80% y la implementación de acuerdos comunales como la declaración de zonas intangibles en un 40% siendo estas medidas impulsadas principalmente por la preocupación ante la escasez de agua y la erosión que afectaba al 60% del área intervenida además el 60% de los líderes comunales entrevistados afirmaron que antes de la reforestación los suelos estaban erosionados y el 100% coincidió en que la cobertura vegetal aumentó visiblemente después de las acciones realizadas lo que evidencia que la participación activa de la comunidad fue esencial para recuperar las condiciones ecológicas del territorio.

Tercero: Los análisis fisicoquímicos evidenciaron mejoras positivas en los suelos reforestados: la CIC aumentó de 9.74 a 10.878 meq/100 g ($p < 0.01$), la conductividad eléctrica de 0.083 a 0.194 dS/m ($p < 0.0001$), y la densidad aparente mostró una ligera disminución de 1.627 a 1.557 g/cm³ ($p \approx 0.00086$). Asimismo, la humedad a equilibrio y la capacidad de campo se incrementaron significativamente ($p < 0.00005$, $p < 0.001$)

respectivamente, confirmando una mejor retención hídrica y estructura del suelo como resultado directo de la reforestación.

Cuarto: Se comprobó que la cantidad de materia orgánica presente en los suelos reforestados tuvo un incremento significativo ($p < 0.000$) pasando de 4.002% en los suelos degradados a 7.858% en los reforestados lo que representa una mejora superior al 96% favoreciendo directamente la fertilidad y la capacidad del suelo para retener nutrientes y humedad de igual manera se registraron aumentos en los niveles de nitrógeno de 0.184% a 0.370% con una significancia de (p 0 0.0013) fósforo de 8.138 a 17.167 mg/kg con una significancia de ($p < 0.000$) y potasio de 15.36 a 35.51 mg/kg con una significancia de ($p = 0.045$) lo cual indica una recuperación integral de los nutrientes esenciales del suelo y estos resultados fueron respaldados por las percepciones de los comuneros ya que el 60% manifestó haber notado un incremento visible tanto en la vegetación como en el contenido de materia orgánica fortaleciendo así la validez de los hallazgos obtenidos en el laboratorio.

VII. Recomendaciones

1. Se recomienda aumentar y fortalecer las actividades de reforestación en áreas prioritarias de la cuenca del Apu Ankhara. Esto incluye la selección de especies nativas y adecuadas para restaurar la biodiversidad, y fomentar la regeneración natural de las áreas degradadas.
2. Para obtener resultados más completos y representativos, se recomienda que la Universidad promueva realizar estudios a largo plazo que aborden cómo evolucionan los suelos en función de las reforestaciones realizadas, considerando las fluctuaciones climáticas y otros factores externos.
3. Dado que algunas especies parecen tener un impacto más favorable en la recuperación del suelo, se sugiere continuar con la investigación sobre las especies nativas y su adaptabilidad a las condiciones del suelo en la cuenca del Apu Ankhara. La reforestación con especies nativas podría potenciar la regeneración de los ecosistemas naturales y maximizar los beneficios para la calidad del suelo.
4. Para asegurar el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de las iniciativas de reforestación, se recomienda a las entidades, que es crucial involucrar a las comunidades locales en la planificación, ejecución y monitoreo de los proyectos. La educación ambiental y la sensibilización sobre los beneficios de la reforestación pueden fomentar el apoyo comunitario y mejorar las prácticas de conservación del suelo a nivel local.
5. A los gobiernos locales se recomienda fomentar el desarrollo de políticas públicas que apoyen la reforestación de áreas degradadas y su monitoreo. La implementación de incentivos para los proyectos de reforestación a nivel local y regional puede asegurar una mayor cobertura de suelos degradados y contribuir a la mejora de la sostenibilidad ambiental en la región.

VIII. Referencias

Acevedo, E., Carrasco, M., León, O. M., & Silva, P. (2005). *Criterios de calidad de suelo agrícola.* Obtenido de (http://bibliotecadigital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_

Agencia Efe. (2016). *La Vanguardia. Obtenido de Aprovechan la salmuera de las desaladoras para obtener zumos concentrados.* Obtenido de ttp://www.lavanguardia.com/vida/20160110/301308261383/aprovechan-la-salmuera-de-las-desaladoras-para-obtener-zumos-concentrados.html

Amazonica, C. (17 de Junio de 2024). *Conservacion Amazonica ACCA*. Obtenido de https://acca.org.pe/cronica-renacer-verde-en-cusco-en-el-dia-de-la-lucha-contra-la-desertificacion-y-la-sequia/

America, S. S. (2022). Lecciones de Suelos. Obtenido de https://www.soils4teachers.org/files/s4t/spanish/soil-texture-analysis-plan-de-clases-textura-del-suelo.pdf

Ávila, G., del Carmen, M., Ortiz, C., Ángeles, E., & Sánchez, P. (2011). Evaluación de las reforestaciones en la formación de suelo a partir de tepetates. Revista: Scielo. Obtenido de Obtenido de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-40182011000300002

Bautista, M., & Alcaraz, G. (2011). *Cambio de uso del suelo y deforestación en el Estado de Jalisco.* Obtenido de https://iieg.gob.mx/contenido/GeografiaMedioAmbiente/CambiodeusodelsueloparaestudiodebiodiversidadPDF

Cabrera, F., & Madejon, E. (2015). *Recuperación y rehabilitación de suelos contaminados con elementos traza mediante la aplicación de enmiendas y el establecimiento de una cubierta vegetal natural o de una planta de crecimiento rápido (Paulownia fortunei).* España: Universidad de Sevilla. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/51402578.pdf

Chen, Y., & Yang, C. (2008). Simulación de escenarios y previsión de uso/cobertura del suelo en el norte de China. *Mentón Ciencia Toro, 53*, 1401-1412. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11434-008-0169-9

Chuquichaico, L. (2016). *Impacto de la Reforestación en la Recuperación de los Suelos Degradados en la Microcuenca del Rio Monzón - Región Huánuco.* Huánuco: Universidad Inca Garcilaso de la Vega. Obtenido de http://repositorio.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/1071/T_DOC.MEDI.AMBIE.DESA.SOST._08845360_CHUQUICHAICO_SAMANIEGO_LUIS%20ALBERTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cubas, O. (2018). *Carácteristicas Físicas y Químicas del Suelo con Diferentes edades de Reforestación en el Sur Oeste de la Amazonía Brasileña.* Univerisadad Nacional de la Amazonía Peruana. Obtenido de https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12737/5857/Omar_tesis_titulo_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y

da Silva, F. (2009). *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. SILVA, F.C. (Ed.).* Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

De Camino, R., & Budowski, G. (1998). Impactos ambientales de las plantaciones forestales y medidas correctivas de carácter silvicultural. *Revista Forestal Centroamericana*(22), 6-12. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Ronnie-De-Camino/publication/262728776_Impactos_ambientales_de_las_plantaciones_fore

stales_y_medidas_correctivas_de_caracter_silvicultural/links/00463538a7617054cb000000/Impactos-ambientales-de-las-plantaciones-foresta

Dilas, j., & Mugruza, c. (2020). Instalación de fincas cafetaleras en sistema agroforestal para recuperación y sostenibilidad de suelos degradados de selva alta. *Agroproducción sustentable*.

Docampo, R. (2012). La Importancia de la Materia Organica del Suelo y su Manejo en Producción Frutícola. *Serie Actividades de Difusión*(687), 81-89. Obtenido de http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11480/1/sad-687-p.81-88.pdf

FAO. (2006). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005.* Documento forestal de la FAO 147. Obtenido de https://www.fao.org/3/A0400E/A0400E00.pdf

FAO. (2009). *Guia para la descripcion de suelos.* Obtenido de https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b54d0348-dfce-413c-bd5d-142b3a14a049/content

FAO. (2013). *Las prácticas agronómicas son el conjunto de técnicas y procedimientos aplicados al manejo del suelo, agua, cultivos y recursos naturales, orientados a mejorar la productividad agrícola y garantizar la sostenibilidad de los agroecosistemas. Incluyen la pr.* Obtenido de https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i3244s

FAO. (2022). *Propiedades Físicas del Suelo.* Obtenido de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/New_Format_ES/P01b-Texture-Ribbon-ES.pdf

FAO, organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura. (2019). *Estructura del suelo.* Obtenido de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm#:~:text=La%20estructura%20del%20suelo%20se,mayores%20y%20se%20denominan%20agregados%20.

Fernandez, J. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética.* Ediciones Mundi-Prensa. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=k9ISCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=energia+de+la+biomasa+2015&ots=wPZ1A70v38&sig=XgEYLWwxt5jOCuncFul5JqP_kvE#v=onepage&q=energia%20de%20la%20biomasa%202015&f=false

Fertilab. (2019). *La humedad en el suelo y el rendimiento.* Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-020-La-humedad-en-el-suelo-y-el-rendimiento.pdf

Fertilab. (2015). *La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo.* Obtenido de https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/La_Capacidad_de_Intercambio_Cationico_del_Suelo.pdf

Figueroa, E., Florez, M., Ramirez, R., & Corral, J. (05 de Junio de 2019). PROTOCOLO DE REFORESTACIÓN. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/340310352_PROTOCOLO_DE_REFORESTACION

Finer, M., & Mamani, N. (2022). *Deforestación y Fuegos en la Amazonía 2021.* Obtenido de https://www.maaproject.org/2022/amazonia-deforest-fuegos-2021/

Fundación Reforestación. (04 de Agosto de 2021). *El impacto de la deforestación en el mundo*. Obtenido de https://www.reforestemos.org/

García, J., Ruiz, E., & Castillo, N. (2014). Propiedades Físicas-Quimicas y Mecánicas de Suelos Arenoso de la Mesa de Guanipa. *VIII Conferencia de Ingeniería Agrícola, Agring.* Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Coronado-2/publication/275337321_PROPIEDADES_FISICAS-QUIMICAS_Y_MECANICAS_DE_SUELOS_ARENOSOS_DE_LA_MESA_DE_GUANIPA_ESTADO_ANZOATEGUI_PHYSICS_CHEMESTRY_PHYSICAL-CHEMICAL_AND_MECHANIC_PROPERTIES_IN_SANDY_SOILS_OF_G

Gracia, J. (2013). *Efectos de los compost sobre las propiedades del suelo : evaluación comparativa de compost con separación en origen y sin separación en orgien.* Universidad Politécnica de Cartagena. Obtenido de http://hdl.handle.net/10317/3123

Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración de la Comisión Nacional Forestal. (2010). *Prácticas de Reforestación. Manual Básico* (Primera ed.). México: Comisión Nacional Forestal. Obtenido de https://ccmss.org.mx/wp-content/uploads/Practicas_de_reforestacion_manual_basico.pdf

Hernádez, S., Fernandez, C., & Pilar, L. (2014). *Metolodología de la Investigación* (sexta ed.). Mc Graw Hill Education. Obtenido de https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

Hoyos, D., & Coronel, S. (2018). *Evaluación de la calidad de los bosques de ribera de la microcuenca del río Mariño de la Provincia de Abancay – Apurímac, 2017.* Universidad Tecnológia de los Andes. Obtenido de http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/148

inei. (1997). GLOSARIO DE TERMINOS. Obtenido de https://proyectos.inei.gob.pe/web/BiblioINEIPub/BancoPub/Est/Lib0348/N71/ANEXO006.htm?utm_source=chatgpt.com

INIA - Ministerio de agricultura y riego. (2017). Manual de procedimientos de los analisis de suelos y agua con fines de riego. Lima, Perú: INIA.

Jaramillo, J. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo.* Universidad Nacional de Colombia., Medellin.

Jiménez, T., & Palacios, B. (2023). Establecimiento de una plantación de nueve especies forestales con fines de rehabilitación de suelos degradados en lahacienda

laFlorencia en el Cantóny provincia de Loja. *Ciencia Latina Internacional*. Obtenido de https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/7031/10677

Jobbágy, E., Vasallo, M., Farley, A., Pineiro, G., Garbulsky, F., Nosetto, M., & Paruelo, M. (2006). Forestación en pastizales: hacia una visión integral de sus oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia Uruguay, X*(2), 109-124. https://doi.org/10.31285/AGRO.10.934

Loor, R., & Zambrano, P. (2016). *El Cultivo del Plátano (Mussa Balbisiana) y la Calidad Ambiental del Suelo.* Escuela Superior Politecnica Agropecuario De Manabí Manuel Félix López. Obtenido de https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/282/1/TMA83.pdf

Marca, L., & Vaca, E. (2021). *Análisis del potencial ecológico del Guarango (Caesalpinia spinosa) en la comunidad Chingazo Alto, cantón Guano, como una estrategia de protección y recuperación de suelos en zonas de Bosque Andino Seco.* Universidad Nacional de Chimbote. Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/8544/1/Marca%20Quito%20L.%20%E2%80%93%20Vaca%20Altamirano%20E.%20%282022%29%20An%C3%A1lisis%20del%20potencial%20ecol%C3%B3gico%20del%20guarango%20%28caesalpinia%20spinosa%29%20en%20la%20comunidad%20Chingazo%20Alt

Martínez, M. (2009). *Reforestación, Creación de Cinturones Verdes en el Suelo de Conservación Ecológica del Distrito Federal.* Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Obtenido de https://repositorio.tec.mx/bitstream/handle/11285/569995/DocsTec_10886.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MIDAGRI, M. d. (2023). *ampaña Nacional Perú 2M: Conoce la fertilidad de tu suelo. Gobierno del Perú.* Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/midagri/campañas/112115-campana-nacional-peru-2m-conoce-la-fertilidad-de-tu-suelo

MINAGRI. (2015). *Manual de Evaluación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor. Dirección General de Asuntos Ambientales Agrarios. Lima, Perú.*

Molina, Y. (2019). La Reforestación como Estrategia Ambiental para la Conservación de ríos y quebradas. *Revista Scientific, 4*(13), 182-199. Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/5636/563659492010/html/

Owem, E. (2011). *Características físico-químicas del suelo y su incidencia en la absorción de nutrimentos, con énfasis en el cultivo de la palma de aceite.* Panama. Obtenido de https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/461/461

Palomin, T. (2015). *Calidad de los suelos en vegetación de diferentes edades en la localidad Caracol - distrito Chinchao- Huánuco. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo maría, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva.* Tingo Maria.

Peña, D., Hernández c, .., & Valenzuela, C. (2023). ¿Qué es un estudio de impacto ambiental? Obtenido de https://www.globalstd.com/wp-content/uploads/2023/06/Ebook_Que-es-un-estudio-de-impacto-ambietal.pdf

Pereira, A., Maycotte, c., Restrepo, E., Mauro, F., Calle, A., & Velarde, E. (2011). edafología 1. Obtenido de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4776/edafologia.pdf

Quispe, W. (2021). evaluacion ex post a nivel de culminación del proyecto mejoramiento de los servicios ambientales mediante instalación forestal en la faja marginal de la red vial enaco - abra ccorao del distrito de san sebastian – cusco, 2019. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/5693/253T20211008_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ramos, L. (2017). reforestación de un área de cinco hectáreas de terreno ubicadas en la parte alta de la microcuenca de la quebradablanca en el área circundante a la

bocatoma del acueducto municipal ubicada en la vereda el carmen del municipio de san juanito meta. Obtenido de https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/86580c31-7c55-44c7-9693-cbe0dc7d65e4/content

República de Honduras Secretaría de Educación. (2014). Orientación en Agricultura. Obtenido de https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/939ffa5b-04d1-483f-a19c-c1770f726a7b/content

Riella, A., & Ramírez, J. (2008). Población rural y forestación: estudio de la dinámica poblacional en los territorios forestales del Uruguay. *Agrociencia Uruguay, 2*(12), 85-98. Obtenido de https://www.acuedi.org/ddata/5867.pdf

Ríos, I. (2018). *¿Qué es la reforesación?* Mexico. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33814941/Reforestacion-libre.pdf?1401288661=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DReforestacion.pdf&Expires=1708018414&Signature=UejNVNDSw7uR97ZGE~dasch4OYAee75GUlrmwK2gqwGS784VNBrWL7Vt6tohYobZYzai97puKwf

Rivero, M. M., Garcia, J., Anibal, R., & Zevallos, E. (2021). *Metodología de la Investigación.* Huanuco, Perú: Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de https://www.unheval.edu.pe/webs/repositoriounheval/descargar?file=6929a54a6c2d1bd23441c809ba825225b278cdc705294fd6c403596238cbac25a56d61feb38643fa5f2b03501b227c81a8c72f60416ff3dd32ad73dd72e8b95f15d5a6bdc4944a053dfb5714537863680c

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Obtenido de http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo.* Montevideo, Uruguay: Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo. Obtenido de https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdfhttp://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades%20fisicas%20del%20suelo.pdf

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Obtenido de https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf

Sarmiento, M. (2019). *Evaluación de la Calidad del Suelo Despues de la Implementación del Proyecto Instalación Reforestación con Fines de Protección y Agroforestal para la Recuperación de Suelos Degradados, en la Comunidad de Chapacara.* Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Obtenido de https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/7423/PGP00110S26.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. (2018). Técnicas biológicas de recuperación de suelos. Obtenido de https://www.secs.com.es/calendario/2018.pdf

Suntasig, E., Carrera, K., & Manobanda, p. (Diciembre de 2024). Impacto de especies forestales en la restauración de suelos de minería: Revisión sistemática. *SciELO - Scientific Electronic Library Online*.

Universidad Autonoma de Ciudad Juarez. (2024). Reforestacion. Obtenido de https://www.uacj.mx/ICB/UEB/documentos/Reforestacion.pdf

Vasquez Acuña, D. (2019). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE UN SUELO CON ESPECIES FORESTALES Y SU RELACION CON LOS MICROORGANISMOS.* Tingo Maria. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1420/VAD_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vasquez, D. (2019). *Características Físicas y Químicas de un Suelo con Especies Forestales y su Relación con los Microorganismos.* Tingo Maria. Obtenido de http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1420/VAD_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ventura, A. (2016). Reforestación: una estrategia empleada para rehabilitar zonas degradadas en el provenir, HGO. Instituto de enseñanzas e investigación en ciencias agricolas. Obtenido de Obtenido de: http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/handle/10521/3486/Ventura_Rios_A_DC_Forestal_2016.pdf;jsessionid=00F5F5500EBDFFC3D49642EB53660565?sequence=1

Ventura, R., Plascencia, A., Hernández, F., Angeles, P., & Aldrete, G. (2017). ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino?: Una experiencia en el centro de México. *scieloc*l(38), 55-66. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002017000100007&nrm=iso

Wightman, E., & Cruz, S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Recursos Genéticos Forestales, 5*(1), 45-51. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/497/49750108.pdf

Zurrita, A., Badii, A., Guillen, O., & Serrato, L. G. (Diciembre de 2015). Factores Causantes de Degradación Ambiental. Obtenido de http://www.spentamexico.org/v10-n3/A1.10%283%291-9.pdf

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes