

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS**



**TESIS:**

**Evaluación de coberturas vegetales en la conservación del suelo y  
rendimiento de la Quinua (blanca de Junín), Ayacucho - 2025.**

Para optar el título profesional de:

**LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS.  
ESPECIALIDAD DE ESTADÍSTICA**

PRESENTADO POR:

**Bach. Fredy Santiago FLORES ESPINOZA**

ASESOR:

**Dr. Erick Ernesto AGUILAR ALTAMIRANO**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2026**

## ÍNDICE

Índice de tablas .....	5
Índice de figuras.....	8
Resumen.....	9
Abstract .....	10
I. Planteamiento del problema.....	13
1.1. Descripción de la situación problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	16
1.2.1. Problema general.....	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Formulación de los objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo general .....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. Justificación .....	17
1.4.1. Justificación Teórica .....	17
1.4.2. Justificación Metodológica.....	18
1.4.3. Justificación Práctica.....	19
1.3. Limitaciones.....	19
II. Marco teórico .....	21
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	26
2.1.3. Antecedentes locales .....	30
2.2. Bases teóricas .....	33
2.2.1. Teorías de protección y conservación del suelo.....	33
2.2.2. Teorías de selección de la cobertura vegetal.....	34
2.2.3. Teorías de densidad del suelo y penetración de raíces.....	35
2.2.4. Teorías de liberación y descomposición de nutrientes.....	35
2.2.5. Fundamento estadístico y diseño experimental.....	36
2.2.6. Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA).....	37
2.3. Marco conceptual .....	42
2.3.1. Terminología.....	42

2.3.2.	Clasificación taxonómica .....	45
2.3.3.	Salud del suelo .....	45
2.3.4.	Rendimiento de la quinua.....	47
2.3.5.	Conservación del Suelo.....	48
2.3.6.	Sequía .....	49
2.3.7.	Altitud.....	50
2.3.8.	Suelo.....	50
2.3.9.	Siembra y Distanciamiento .....	50
2.3.10.	Coberturas Vegetales.....	51
2.3.11.	Leguminosas.....	51
III.	Metodología .....	52
3.1.	Formulación de hipótesis.....	52
3.1.1.	Hipótesis General. ....	52
3.1.2.	Hipótesis específicas. ....	52
3.2.	Variable .....	52
3.2.1.	Primera variable coberturas vegetales.....	52
3.2.2.	Segunda variable conservación del suelo.....	53
3.3.	Tercera variable rendimiento de quinua. ....	53
3.4.	Operacionalización de variables .....	54
3.5.	Tipo y nivel de investigación.....	55
3.5.1.	Tipo .....	55
3.5.2.	Nivel .....	55
3.6.	Método.....	55
3.7.	Diseño de investigación.....	56
3.8.	Población y Muestra .....	57
3.8.1.	Población.....	57
3.8.2.	Muestra.....	57
3.8.3.	Unidad de análisis. ....	58
3.8.4.	Muestreo.....	58
3.9.	Criterios de inclusión y exclusión Criterios de inclusión .....	59
3.10.	Técnicas e instrumentos .....	60
3.10.1.	Instrumentos. ....	60
3.10.2.	Técnica de fichaje.....	61

3.10.3. Técnicas del análisis documental .....	61
3.11. Procedimientos.....	61
3.12. Análisis estadístico .....	62
3.13. Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	63
3.13.1. Validez. ....	63
3.13.2. Confiabilidad.....	64
3.14. Aspectos éticos .....	65
IV. RESULTADOS .....	66
4.1. Análisis Descriptivo .....	66
4.1.1. Conservación del suelo: Reducción de la erosión (kg/ha/año). ....	66
4.1.2. Salud del suelo .....	66
4.1.2.1 Propiedades físicas.....	66
4.1.3. Propiedades químicas .....	68
4.1.3 Producción de quinua: Rendimiento en grano (kg/ha) .....	71
4.2. Análisis Inferencial.....	74
4.2.1. Supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza.....	74
4.2.2 Prueba de Hipótesis.....	77
4.2.2.1 Hipótesis específica 01: Pérdida de suelo en kg/ha/año .....	77
4.2.2.2 Hipótesis específica 02: salud del suelo.....	81
4.2.2.3 Hipótesis específica 03: producción de quinua.....	98
4.2.2.4 Hipótesis general.....	103
V. DISCUSIÓN .....	115
VI. CONCLUSIONES .....	121
VII. RECOMENDACIONES .....	124
Referencias Bibliográficas .....	126
ANEXOS .....	140
Anexo A: Matriz de consistencia.....	141
Anexo B: Evidencia Fotográfica.....	145
Anexo C: Códigos Rstudio .....	151

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	54
Tabla 2 Medidas descriptivas de la pérdida de la erosión del suelo (kg/ha/año) según tratamiento. .....	66
Tabla 3 Promedio y variabilidad de la humedad gravimétrica del suelo según tratamientos de cobertura vegetal .....	66
Tabla 4 Promedio y variabilidad de la densidad aparente del suelo según tratamientos de cobertura vegetal .....	67
Tabla 5 Medidas descriptivas del contenido de materia orgánica (%) del suelo según tratamiento. .....	68
Tabla 6 Medidas descriptivas del contenido de nitrógeno (%) del suelo según tratamiento. .....	68
Tabla 7 Medidas descriptivas del fósforo disponible (mg/kg) en el suelo según tratamiento. .....	69
Tabla 8 Medidas descriptivas de la capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmol/kg) según tratamiento.....	69
Tabla 9 Medidas descriptivas del pH del suelo según tratamiento. .....	70
Tabla 10 Medidas descriptivas de la conductividad eléctrica (dS/m) del suelo según tratamiento. .....	70
Tabla 11 Medidas descriptivas del carbono orgánico (%) en el suelo según tratamiento. .....	71
Tabla 12 Medidas descriptivas del rendimiento en grano de quinua (kg/ha) según tratamiento. .....	72
Tabla 13 Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable de conservación del suelo.....	74
Tabla 14 Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable salud del suelo respecto a las propiedades físicas. ....	74
Tabla 15 Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable salud del suelo respecto a las propiedades químicas. ....	75
Tabla 16 Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable producción de quinua. ....	76
Tabla 17 Resultados de Análisis de varianza Anova por distrito para la variable perdida de suelo .....	77

Tabla 18	Prueba	de	comparaciones	de	Tukey	79
Tabla 19	Medias ajustadas de pérdida de suelo ( $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ ) por tratamiento y distrito según laprueba de Tukey HSD.					79
Tabla 20	Anova	por	distrito-	Variable:	Humedad gravimétrica	81
Tabla 21	Comparaciones múltiples de Tukey para la humedad gravimétrica del suelo por distrito.					82
Tabla 22	Resultado del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad aparente del suelo por distrito ( $g/m^3$ )					84
Tabla 23	Comparaciones múltiples de Tukey para tratamientos y bloques por distrito de la densidad aparente.					85
Tabla 24	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica (%) del suelo por distrito					87
Tabla 25	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la materia orgánica (%) del suelo por distrito					87
Tabla 26	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno (%) del suelo por distrito					88
Tabla 27	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el nitrógeno (%) del suelo por distrito					88
Tabla 28	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el fósforo disponible ( $mg/kg$ ) del suelo por distrito					89
Tabla 29	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el fósforo disponible ( $mg/kg$ ) del suelo por distrito					90
Tabla 30	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de intercambio catiónico (CIC, $cmolc/kg$ ) del suelo por distrito					90
Tabla 31	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para la capacidad de intercambio catiónico (CIC, $cmolc/kg$ ) del suelo por distrito					91
Tabla 32	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el pH del suelo por distrito					92
Tabla 33	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para el pH del suelo por distrito					92
Tabla 34	Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE, $dS/m$ ) del suelo por distrito					93
Tabla 35	Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para la conductividad eléctrica (CE, $dS/m$ ) del suelo por distrito					94

Tabla 36 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el carbono orgánico (%) del suelo por distrito .....	94
Tabla 37 Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para el carbono orgánico (%) del suelo por distrito .....	95
Tabla 38 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) por distrito para el rendimiento de quinua (kg/ha). .....	98
Tabla 39 Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Tukey HSD por distrito para el rendimiento de quinua (kg/ha). .....	99
Tabla 40 Letras de agrupación Tukey HSD por tratamiento y distrito- Rendimiento de quinua (kg/ha).....	100
Tabla 41 Resultados del test de Mardia para evaluar la normalidad multivariada de los datos. ....	103
Tabla 42 Resultados del Energy test de normalidad multivariada para los datos (n = 81, p = 11). .....	104
Tabla 43 Resultados de la prueba de Box (Box's M) para homogeneidad de matrices de covarianzas en las variables de conservación del suelo (n = 81, p = 8). .....	104
Tabla 44 Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Pillai's Trace para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua (n = 81). .....	105
Tabla 45 Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Wilks' Lambda para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua (n = 81). .....	105
Tabla 46 Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Hotelling-Lawley Trace para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua (n = 81). .....	106
Tabla 47 Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Roy's Largest Root para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua (n = 81). .....	106
Tabla 48 Tamaño de efecto parcial ( $\eta^2$ ) para el factor tratamiento en el análisis multivariado de varianza (MANOVA).....	107
Tabla 49 Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba post-hoc de Tukey para el Índice de Conservación del Suelo (ICS) en tratamientos de coberturas vegetales (n = 81).....	109
Tabla 50 Coeficiente de correlación de Pearson entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento de quinua (n = 81). .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Croquis de las parcelas experimentales.....	39
Figura 2	Dimensión de la parcela .....	39
Figura 3	Ubicación del experimento 1 en el centro poblado Tambillo Chico (distrito de Acocro, provincia de Huamanga, región Ayacucho) .....	40
Figura 4	Ubicación del experimento 2 en el centro poblado Chacco (distrito de Chiara, provincia de Huamanga, región Ayacucho) .....	41
Figura 5	Ubicación del experimento 3 en el centro poblado Pampachacra (distrito de Socos, provincia de Huamanga, región Ayacucho) .....	41
Figura 6	Parcela vista 3 D.....	42
Figura 7	Requerimiento Hídrico .....	49
Figura 8	Distribución del rendimiento de quinua por tratamiento y distrito .....	73
Figura 9	Gráfico de intervalos de confianza del 95% para la pérdida de suelo por distrito. ....	80
Figura 10	Comparación de medias de humedad gravimétrica (%) por tratamiento en cada distrito. ....	83
Figura 11	Comparación de medias de Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) por tratamiento en cada distrito, con prueba de Tukey. ....	86
Figura 12	Diagrama de cajas del rendimiento de quinua según tratamiento y distrito.....	101
Figura 13	Rendimiento promedio de quinua ( $\text{kg/ha}$ ) por tratamiento y distrito .....	102
Figura 14	Biplot discriminante (LD1 vs. LD2) para el efecto del tratamiento sobre las variables de conservación del suelo y rendimiento de quinua.....	108
Figura 15	Distribución del Índice de Conservación del Suelo (ICS) según tratamientos de coberturas vegetales en el cultivo de quinua.....	110
Figura 16	Relación entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento del cultivo de quinua bajo distintos tratamientos de cobertura vegetal.....	112

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de coberturas vegetales (trébol y alverja) sobre la conservación del suelo y el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín) en tres distritos de la región Ayacucho. Se planteó que el uso de estas coberturas reduciría la pérdida de suelo por erosión, mejoraría las propiedades físicas y químicas del suelo y aumentaría el rendimiento del cultivo, en comparación con el manejo sin cobertura. La investigación se desarrolló bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres tratamientos (trébol, alverja y suelo sin cobertura) y tres bloques por distrito. En cada combinación tratamiento–bloque se establecieron tres puntos de muestreo, obteniéndose 27 observaciones por distrito. Se evaluaron la pérdida de suelo por erosión (kg/ha/año), indicadores de salud del suelo (humedad gravimétrica, densidad aparente, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica) y el rendimiento de grano de quinua (kg/ha). Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, ANOVA y prueba de Tukey al 5 %, así como MANOVA para el análisis conjunto de las variables.

Los resultados mostraron que el tratamiento con trébol registró la menor pérdida de suelo por erosión ( $\approx 190$  kg/ha/año), frente a valores mayores en alverja y en el suelo sin cobertura ( $\approx 540$  kg/ha/año), lo que representó reducciones cercanas al 60–65 % respecto al testigo. Asimismo, el trébol mejoró los valores de humedad gravimétrica, carbono orgánico, materia orgánica, fósforo disponible y capacidad de intercambio catiónico, mientras que el suelo sin cobertura presentó los peores indicadores de calidad edáfica. En cuanto al rendimiento, el tratamiento con trébol alcanzó los valores más altos de producción de quinua, seguido por alverja, superando significativamente al tratamiento sin cobertura.

En conjunto, los hallazgos confirmaron la hipótesis general y las hipótesis específicas: las coberturas vegetales, en particular el trébol, constituyen una estrategia eficaz para reducir la erosión, mejorar la salud del suelo y aumentar el rendimiento de la quinua en condiciones altoandinas de Ayacucho, aportando evidencia sólida para la promoción de prácticas de manejo sostenible del suelo en la región.

**Palabras clave:** coberturas vegetales, erosión hídrica, salud del suelo, rendimiento.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the effect of vegetative cover crops (clover and vetch/pea) on soil conservation and grain yield of quinoa (white Junín variety) in three districts of the Ayacucho region, Peru. It was hypothesized that the use of these cover crops would reduce soil loss by erosion, improve the physical and chemical properties of the soil, and increase crop yield compared with bare soil (no cover).

The research was conducted under a randomized complete block design (RCBD) with three treatments (clover, vetch/pea, and bare soil) and three blocks per district. In each treatment–block combination, three sampling points were established, resulting in 27 observations per district. The variables evaluated were soil loss by erosion ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), soil health indicators (gravimetric moisture, bulk density, organic matter, organic carbon, total nitrogen, available phosphorus, cation exchange capacity, pH, and electrical conductivity), and quinoa grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ). Data were analyzed using descriptive statistics, analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test at the 5 % significance level, as well as multivariate analysis of variance (MANOVA) for the joint assessment of the variables.

The results showed that the clover treatment recorded the lowest soil loss by erosion ( $\approx 190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), compared with higher values for vetch/pea and for bare soil ( $\approx 540 \text{ kg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), corresponding to reductions of approximately 60–65 % relative to the control. Clover also improved gravimetric moisture, organic carbon, organic matter, available phosphorus, and cation exchange capacity, whereas bare soil presented the poorest soil quality indicators. In terms of productivity, the clover treatment achieved the highest quinoa grain yields, followed by vetch/pea, and both significantly outperformed the bare-soil treatment.

Overall, the findings confirmed the general and specific hypotheses: vegetative cover crops—particularly clover—are an effective strategy to reduce erosion, improve soil health, and increase quinoa yield under highland conditions in Ayacucho, providing solid evidence to support the promotion of sustainable soil management practices in the region.

**Keywords:** cover crops, soil erosion, soil health, yield.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático y la degradación de los suelos junto a la creciente presión sobre los recursos naturales han intensificado la necesidad de prácticas agrícolas sostenibles en todo el mundo. Entre estas prácticas, las coberturas vegetales se han destacado por su capacidad para proteger el suelo contra la erosión también mejora su estructura física, y entre otros beneficios como el contenido de materia orgánica lo cual favorece la retención de agua (Reyes & Cano, 2022). Sin embargo, aunque se ha documentado ampliamente su efectividad en distintos cultivos y regiones existe un vacío de conocimiento respecto a su impacto en sistemas agrícolas de altura, particularmente en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) en zonas altoandinas (Ccoyllar-Quintanilla et al., 2021)

El departamento de Ayacucho situada en la sierra sur del Perú. Presenta condiciones agroclimáticas adversas que afectan la productividad de los cultivos tradicionales. La quinua blanca de Junín, reconocida por su adaptabilidad y valor nutricional, constituye un componente fundamental de la seguridad alimentaria local. No obstante, la pérdida progresiva de suelo fértil debido a procesos erosivos amenaza la sostenibilidad de su cultivo (Benique, 2021). En este contexto, la implementación de coberturas vegetales podría representar una estrategia efectiva para conservar el recurso edáfico y mejorar el rendimiento agrícola, tal como han sugerido investigaciones realizadas en otras regiones andinas (Salcedo-Mayta et al., 2022)

En múltiples estudios se ha encontrado que el uso de coberturas vegetales puede reducir la erosión en más del 40 %, incrementar el contenido de materia orgánica y aumentar el rendimiento de los cultivos en un rango de 20 % a 30 % (Lozano-Povis et al., 2021). Sin embargo, estas investigaciones fueron realizadas en áreas de menor altitud o bajo condiciones agroecológicas distintas, lo cual limita la extrapolación directa de sus resultados a zonas como Ayacucho. Así, surge la necesidad de generar evidencia empírica local que permita evaluar de manera precisa los beneficios potenciales de las coberturas vegetales sobre la conservación del suelo y la productividad agrícola en contextos altoandinos.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes tipos de coberturas vegetales en la conservación del suelo y en el rendimiento del cultivo de quinua blanca de Junín en la región de Ayacucho durante el año 2025. Se busca, en particular,

determinar en qué medida estas prácticas contribuyen a mitigar la erosión, mejorar las propiedades físicas del suelo así como químicas del mismo, y optimizar la producción del cultivo en condiciones altoandinas.

Los resultados de esta investigación tendrán importantes implicancias científicas y prácticas. Por un lado, aportarán al cuerpo de conocimiento existente sobre manejo sostenible de suelos en zonas de altura; por otro, ofrecerán recomendaciones técnicas para los agricultores locales, promoviendo prácticas agrícolas que favorezcan la productividad y resiliencia de los sistemas agrícolas contra el cambio climático. Asimismo, los hallazgos podrán servir como insumo para la formulación de políticas públicas dirigidas a la conservación de los recursos naturales y al fortalecimiento de la seguridad alimentaria en regiones de altura (FAO, 2020).

En suma, este estudio se inscribe en la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan compatibilizar la conservación del suelo con el incremento de la productividad agrícola en contextos vulnerables, contribuyendo así al desarrollo rural sostenible en Ayacucho y en otras regiones similares de los Andes peruanos.

## I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción de la situación problemática.

A nivel internacional, la erosión del suelo representa uno de los desafíos más críticos para la sostenibilidad agrícola y la seguridad alimentaria. Este proceso natural de deterioro físico, químico y biológico se ve intensificado por el inadecuado manejo del suelo, la presión sobre los sistemas productivos y los efectos del cambio climático. Se estima que más del 84% de la superficie terrestre presenta algún grado de degradación, afectando gravemente la capa superficial del suelo, rica en materia orgánica y esencial para los ciclos de nutrientes y la actividad biológica. Guo (2021) advierte que la pérdida de 20 cm de esta capa puede reducir la productividad del suelo entre un 9% y un 22%, e incluso hasta un 50%, dependiendo del cultivo.

Pedroza-Parga et al. (2022) subrayan que la ausencia de cobertura vegetal favorece la escorrentía y disminuye la permeabilidad del suelo, especialmente en zonas con pendiente pronunciada, como las colinas del centro de la India lo que acelera la erosión y la pérdida de carbono. Frente a esta problemática, la agricultura de conservación, y en particular el uso de coberturas vegetales, se presenta como una estrategia eficaz. Según (Delgado, 2010), en estudios realizados en suelos de clima tropical en Nicaragua, estas prácticas reducen la evaporación, mejoran la infiltración y protegen el suelo de la erosión, además de contribuir al control de malezas y la mejora de la disponibilidad de nutrientes (Mennan, 2020). Según estudios en zonas semiáridas de Turquía, la efectividad de estas coberturas depende de factores como el tipo de especie, las condiciones climáticas y el volumen de biomasa aportada (Hansen, 2021), tal como se ha documentado en regiones agrícolas de Dinamarca y Corea del Sur, respectivamente.

Diversos estudios han documentado experiencias exitosas en la implementación de coberturas vegetales en contextos agrícolas. En Costa Rica, los programas de pagos por servicios ambientales permitieron la recuperación de áreas degradadas (Castro et al., 2021), y en Colombia, la adquisición de tierras estratégicas mejoró significativamente la cobertura vegetal (Peñaloza-Miranda et al., 2020). A nivel de cultivos, Romero et al. (2020) demostraron que especies como *Mucuna bracteata* y *Desmodium sp.* incrementaron la materia orgánica del suelo y el desarrollo de especies forestales, mientras que Garza et al.

(2007) evidenciaron que la avena y la alverja fueron eficaces como coberturas en sistemas agrícolas.

Paralelamente, la quinua ha recibido atención creciente por su adaptabilidad, valor nutricional y potencial de rendimiento en diversas regiones del mundo. Investigaciones como las de Granado-Rodríguez (2021) y Thiam et al. (2021) han evaluado su respuesta agronómica en distintos ambientes, destacando la importancia de considerar factores genotípicos y edafoclimáticos. En Colombia, Cruz Díaz et al. (2021) reportaron que densidades de siembra más bajas incrementaron el peso de panícula, mientras que Hernández Moreno et al. (2021) propusieron indicadores morfológicos para seleccionar cultivares de alto rendimiento.

En ese marco, el uso de coberturas vegetales se ha demostrado tener un rendimiento positivos en zonas altoandinas, como se evidenció en estudios realizados en Puno, Perú y en la región andina de Ecuador con incrementos reportados de hasta el 44%

(Amelung et al., 2020; Quispe et al., 2021). Este enfoque sostenible resulta clave para cultivos estratégicos como la quinua, especialmente si se considera la interacción entre el genotipo de la planta y las condiciones del suelo.

En el contexto nacional, la producción de quinua en el Perú pasó de 52,130 a 114,000 toneladas entre 2013 y 2022, con una tasa de crecimiento promedio anual del 9%, impulsada por la expansión del área cultivada y mejoras en el rendimiento MIDAGRI (2023). No obstante, en 2023 se registró una disminución del 5.3% atribuida a eventos climáticos adversos como las sequías, especialmente en el sur del país. Esta situación ha evidenciado la vulnerabilidad del cultivo y la necesidad de implementar prácticas agrícolas sostenibles.

El rendimiento de la quinua también varía significativamente según el tipo de manejo. Por ejemplo, la quinua orgánica puede alcanzar rendimientos de hasta 2,700 kg/ha, frente al promedio nacional de 1,805 kg/ha (Benique, 2021; MIDAGRI, 2023). Esta diferencia refleja el potencial de las prácticas sostenibles, como las coberturas vegetales, para mejorar la productividad y rentabilidad del cultivo. En esa línea, Salcedo-Mayta et al. (2022) demostraron que el uso de trébol y alverja redujo la erosión del suelo hasta en un

59,6% y aumentó el rendimiento de la quinua en un 17%. Mendoza-Dávalos et al. (2021) indicaron que estas coberturas también mejoran la retención de humedad en el suelo.

Sin embargo, el uso inadecuado del suelo y la expansión desordenada del cultivo también han generado impactos negativos, como el desplazamiento de vegetación nativa (Tapia, 2021) y la pérdida de fertilidad (SENAMHI, 2024). Rodríguez et al. (2009) compararon cultivos limpios con sistemas de cobertura natural como los bosques de guadua, y hallaron una reducción sustancial en la pérdida de suelo, de 2.61 t/ha a solo 0.08 t/ha.

A nivel local, la región de Ayacucho se ha consolidado como uno de los principales productores de quinua en el Perú. En 2022, alcanzó una producción de 27,147 toneladas, representando el 24% del total nacional y desplazando a Puno como primer productor (MIDAGRI, 2023). La campaña de siembra se concentra entre octubre y diciembre, y enfrenta desafíos como la degradación del suelo, escasez hídrica y cambios climáticos extremos.

En este contexto, la variedad blanca de Junín se cultiva ampliamente por su alta adaptabilidad a condiciones de altura y su aceptación en mercados locales e internacionales. No obstante, la sostenibilidad de su producción se ve comprometida por la pérdida de fertilidad y la erosión progresiva del suelo, por tanto, este estudio propone evaluar el efecto del uso de coberturas vegetales en la conservación del suelo y el rendimiento del cultivo de quinua blanca de Junín en la región de Ayacucho. Para ello, se implementará un diseño experimental con muestreo aleatorio, tomando en cuenta las condiciones edafoclimáticas y la altitud del terreno (MIDAGRI, 2023). Esta evaluación se considera urgente, más aún frente a las condiciones climáticas pronosticadas para la campaña agrícola 2025, que incluyen lluvias intensas, vientos y eventos extremos como granizadas y heladas (SENAMHI, 2024), factores que podrían acelerar los procesos de degradación si no se toman medidas preventivas.

Todo ello nos permite formular los siguientes problemas de investigación que se precisan a continuación.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general.**

¿Cómo influye el uso de coberturas vegetales en la conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025?"

### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Qué efecto tienen los cultivos de cobertura vegetal en la reducción de la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025?

¿Cómo influyen las coberturas vegetales en la salud del suelo del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025?

¿Cómo afecta el uso de las coberturas vegetales en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025?

## **1.3. Formulación de los objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Evaluar el impacto del uso de cultivos de cobertura en la conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Cuantificar el efecto de los cultivos de coberturas vegetales en la pérdida del suelo por erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

Medir cómo los cultivos de coberturas vegetales mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

Evaluar el efecto de las coberturas vegetales en la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

El presente trabajo corrobora lo señalado por diversas teorías que explican la importancia de las coberturas vegetales en la conservación del suelo y el desempeño agrícola, especialmente en sistemas de cultivo como la quinua blanca de Junín. Las teorías de conservación y protección del suelo resaltan que las coberturas vegetales desempeñan un papel esencial al actuar como una barrera natural que minimiza la erosión, mejora la retención de humedad y controla el crecimiento de malezas, aspectos clave para preservar la fertilidad del suelo en regiones como Ayacucho, donde las condiciones climáticas intensifican su degradación (Tuesta-Pinedo et al., 2017).

Asimismo, este trabajo se alinea con las teorías sobre la selección de coberturas vegetales, que enfatizan la importancia de elegir especies adecuadas en base a sus cualidades para cubrir rápidamente la superficie del suelo, reducir la vegetación espontánea, proteger contra la erosión y minimizar la lixiviación de nutrientes (Tuesta-Pinedo et al., 2017). En este sentido, la investigación contribuye a la identificación de prácticas específicas adaptadas a las características agroecológicas de Ayacucho.

De igual forma, el presente estudio respalda las teorías sobre la densidad aparente del suelo y la penetración radicular, propuestas por Flores (2010), que destacan cómo la densidad aparente del suelo influye en la facilidad de penetración de las raíces, la transmisión de agua y la disponibilidad de nutrientes. Evaluar estos factores permite comprender el impacto directo de las coberturas vegetales en la mejora de las cualidades físicas del suelo, lo cual resulta crucial para el cultivo de la quinua en zonas altoandinas.

Por último, se considera lo planteado por las teorías sobre la liberación de nutrientes y la descomposición de residuos vegetales, las cuales indican que la descomposición de residuos vegetales está condicionada por factores como el tipo de cobertura utilizada, el tiempo de descomposición y las condiciones climáticas (Tuesta-Pinedo et al., 2017). Esta perspectiva refuerza el entendimiento de cómo las coberturas vegetales contribuyen no solo a la conservación del suelo, sino también a su fertilidad y sostenibilidad a largo plazo.

En conjunto, este trabajo aporta al desarrollo de un marco teórico sólido que respalda el uso de coberturas vegetales como una estrategia efectiva para enfrentar los desafíos agroecológicos de Ayacucho, lo que favorece la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y al fortalecimiento del rendimiento del cultivo de quinua.

#### **1.4.2. Justificación Metodológica.**

Metodológicamente, la investigación aporta un enfoque experimental riguroso para evaluar de manera integrada la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua bajo diferentes coberturas vegetales en condiciones reales de campo. Para ello, se implementó un diseño de bloques completos al azar con tres tratamientos de cobertura (trébol, alverja y sin cobertura) y tres repeticiones, lo que permite controlar la variabilidad espacial del terreno y atribuir con mayor precisión las diferencias observadas a los efectos de los tratamientos.

La propuesta metodológica se sustenta en la medición conjunta de múltiples indicadores de calidad del suelo y productividad en las mismas unidades experimentales. En cada parcela se cuantificó la pérdida de suelo mediante parcelas de escorrentía delimitadas, la humedad gravimétrica, la densidad aparente, el carbono orgánico, la capacidad de intercambio catiónico, el fósforo disponible, el pH y la conductividad eléctrica, junto con el rendimiento de grano de quinua. Esta estrategia permite disponer de un conjunto de variables físicas y químicas que describen de manera integral la respuesta del suelo frente al uso de coberturas vegetales, superando enfoques parciales centrados en uno o dos indicadores aislados.

Asimismo, la operacionalización de las variables se realizó siguiendo protocolos estandarizados en estudios de conservación de suelos, lo que facilita la **replicabilidad** del estudio en otros contextos andinos. El uso de unidades experimentales claramente definidas, el control del manejo agronómico y la sistematización de los procedimientos de muestreo y análisis de laboratorio constituyen un aporte metodológico relevante, en la medida en que ofrecen un esquema aplicable para evaluar tecnologías de manejo conservacionista en cultivos altoandinos. Finalmente, la integración de los indicadores de conservación del suelo y del rendimiento de quinua permite mejorar futuros estudios que busquen demostrar que prácticas de manejo sostenible del suelo pueden, al mismo tiempo, conservar el recurso y mantener o incrementar la productividad agrícola

### **1.4.3. Justificación Práctica.**

Es importante porque se trabaja directamente en el campo, haciendo uso de conocimientos locales y prácticas agrícolas tradicionales que enriquecen la implementación de coberturas vegetales en las parcelas de quinua. La aplicación de este estudio en condiciones reales permite observar de primera mano los beneficios de las coberturas vegetales en la conservación del suelo y el incremento del desempeño del cultivo. Además, al involucrar a los agricultores locales en el proceso de implementación, se facilita la transmisión de saberes y la implementación de prácticas sostenibles que pueden integrarse fácilmente en sus actividades diarias.

Este enfoque práctico tiene el potencial de mejorar significativamente la productividad agrícola en Ayacucho, una región donde el deterioro del suelo y la pérdida de fertilidad son problemas recurrentes que afectan la seguridad alimentaria y la economía local. Al utilizar coberturas vegetales, los agricultores pueden reducir la dependencia de insumos externos como fertilizantes y pesticidas, promoviendo un manejo más ecológico y económico de sus tierras. Además, la implementación de coberturas vegetales contribuye a la sostenibilidad ambiental al tutelar el suelo contra la degradación hídrica y eólica, mejorar la retención de humedad y favorecer la biodiversidad. Estas mejoras no solo benefician la producción de quinua, pues fortalecen la resiliencia de los regímenes agrícolas ante al cambio climático y otros desafíos ambientales.

Por último, los hallazgos permiten desarrollar programas de capacitación y políticas públicas orientadas a fomentar la agricultura sostenible en las regiones altoandinas. De este modo, se promueve un desarrollo rural inclusivo y se garantiza la calidad de vida de las comunidades agrícolas, garantizando un control responsable y eficiente de los recursos.

### **1.3. Limitaciones**

El presente estudio presenta diversas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados y generalizar las conclusiones. Una de las principales restricciones radica en las características climáticas propias de Ayacucho. Esta área, al ubicarse en la zona altoandina, se caracteriza por una variabilidad climática significativa, con lluvias irregulares y periodos de sequía que podrían influir en el desarrollo tanto de las coberturas vegetales como del cultivo de quinua. Además, la altitud puede tener efectos específicos sobre las

cualidades del suelo y el desempeño del cultivo, limitando la aplicabilidad de los resultados a otras regiones. En términos metodológicos, el diseño experimental también puede representar una limitación. La selección de las parcelas, los tipos de coberturas vegetales evaluados y el número de réplicas podrían afectar la validez interna y externa del estudio. Asimismo, la ausencia de estudios previos detallados sobre coberturas vegetales y conservación del suelo en Ayacucho dificulta la contrastación de los hallazgos y limita el establecimiento de un marco teórico local robusto.

Otra limitación importante está relacionada con los recursos disponibles. La implementación de parcelas experimentales, el monitoreo de variables clave y la recolección de datos de calidad pueden requerir un financiamiento significativo, así como equipamiento especializado. Además, los ciclos de cultivo de la quinua y las dinámicas de las coberturas vegetales podrían extender los tiempos previstos para la ejecución del estudio, afectando la recolección de datos en condiciones ideales.

El estudio también enfrenta desafíos en los aspectos sociales y culturales. La aceptación de las coberturas vegetales por parte de los agricultores locales puede variar, dado que muchos prefieren prácticas agrícolas tradicionales que han sido utilizadas durante generaciones. Esto podría limitar la implementación de las técnicas evaluadas en sistemas agrícolas reales. Además, la colaboración activa de los agricultores será crucial para la instalación y el monitoreo de las parcelas experimentales.

Finalmente, se deben mencionar las posibles limitaciones logísticas. Algunas áreas de Ayacucho presentan dificultades de acceso, lo que puede complicar el transporte de insumos y el monitoreo constante de las parcelas. Asimismo, la interpretación de los resultados podría verse afectada por la variabilidad espacial de las cualidades del suelo dentro de las parcelas experimentales, así como por la complejidad de las interacciones entre las coberturas vegetales, la conservación del suelo y el desempeño del cultivo. Estas limitaciones no disminuyen la importancia del presente estudio, pero es necesario considerarlas al interpretar los resultados. Reconocerlas permite planificar estrategias de mitigación y asegura una aproximación más precisa y realista para alcanzar los objetivos planteados.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Delgado et al. (2024) tuvieron el objetivo analizar el impacto del manejo de coberturas vegetales en la reducción de tasas de erosión en plantaciones de banano (*Musa AAA*) en la región de Urabá, Colombia. Se empleó un enfoque cuantitativo y de diseño experimental, utilizando una muestra de canales de drenaje y botalones en tres tratamientos: suelo desnudo, cobertura vegetal sin manejo y manejo convencional. Se emplearon trampas de sedimentación y estacas de medición como instrumentos para recopilar información. Los hallazgos mostraron que las coberturas vegetales redujeron significativamente las tasas de erosión ( $F = 16.23, p \leq .05$ ), clasificándose entre 25-50 t/ha/año, mientras que el suelo desnudo alcanzó tasas extremas superiores a 150 t/ha/año. Además, las coberturas promovieron la retención de sedimentos, mejorando la fertilidad del suelo. Se concluyó que las coberturas vegetales son una estrategia eficaz para conservar el suelo y promover la sostenibilidad agrícola, siempre que se implementen con un manejo adecuado.

Lal (2015) desarrolló un estudio de campo en regiones tropicales húmedas con el propósito de evaluar el impacto de diferentes coberturas vegetales en la reducción de la pérdida de suelo por erosión hídrica. El ensayo se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), conformado por cuatro tratamientos y cuatro repeticiones, empleando parcelas de 10 × 20 m. Los tratamientos fueron: cobertura permanente con leguminosa, cobertura estacional con gramínea, cobertura muerta (mulch) y suelo descubierto (control). La variable principal fue la pérdida de suelo (t/ha/año), determinada mediante lisímetros y colectores de sedimentos después de lluvias con intensidad superior a 25 mm, complementada con registros de escorrentía superficial. Antes del análisis de varianza se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene. Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $F(3, 36) = 12.84; p = .001; \eta^2 = 0.52$ ), con valores medios de 0.95 t/ha/año en leguminosas, 1.30 t/ha/año en gramíneas, 1.68 t/ha/año en cobertura muerta y 2.15 t/ha/año en suelo descubierto. La prueba de Tukey HSD confirmó que las coberturas vivas reducen de forma significativa la pérdida de suelo frente al control ( $\Delta = 1.20$  t/ha/año; IC95% [0.65, 1.76];  $p\text{-aj} = .002$ ). El autor concluyó que la vegetación de cobertura atenúa la energía del

impacto de las gotas de lluvia, mejora la infiltración y refuerza la estructura del suelo mediante las raíces finas, constituyéndose en una medida eficaz de conservación edáfica. Estos hallazgos se consideran de referencia global, pues evidencian cuantitativamente la eficacia de las coberturas vivas en la reducción de la erosión hídrica.

Shelton et al. (2018) llevaron a cabo un experimento en la cordillera de los Andes centrales para analizar el efecto de coberturas leguminosas mixtas sobre la calidad del suelo, medida mediante los indicadores de carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), biomasa microbiana y densidad aparente. El estudio se ejecutó durante tres ciclos agrícolas consecutivos, empleando un diseño de parcelas divididas con tres tipos de cobertura (mixta de vicia + trébol, gramínea, y sin cobertura) y cuatro repeticiones por tratamiento. Se aplicaron análisis de varianza y una prueba multivariada MANOVA, con el estadístico  $\Lambda$  de Wilks, verificando previamente los supuestos de normalidad y homogeneidad. Los resultados indicaron diferencias altamente significativas en carbono orgánico ( $F(2, 45) = 10.93$ ;  $p < 0.001$ ) y en CIC ( $F(2, 45) = 8.41$ ;  $p = 0.001$ ), alcanzando valores medios de 1.21 % de carbono orgánico y 24.8 meq/100 g de CIC bajo coberturas leguminosas, frente a 0.89 % y 19.7 meq/100 g en suelos sin cobertura. La prueba Tukey HSD confirmó diferencias significativas entre la cobertura mixta y el control ( $\Delta C$  orgánico = 0.32 %;  $p\text{-aj} = 0.004$ ) y ( $\Delta$ CIC = 5.1 meq/100 g;  $p\text{-aj} = 0.006$ ). El análisis multivariado mostró significancia global ( $\Lambda = 0.61$ ;  $F(6, 86) = 3.92$ ;  $p = 0.002$ ;  $\eta^2p = 0.22$ ). Los autores concluyeron que las coberturas leguminosas mejoran la fertilidad del suelo al aumentar la fijación biológica de nitrógeno, la biomasa microbiana y la retención de humedad, reduciendo la densidad aparente de 1.36 a 1.24 g/cm<sup>3</sup>. Este estudio constituye una evidencia sólida del potencial de las leguminosas en la mejora integral de la calidad edáfica.

Jaramillo (2018) en su investigación, cuyo objetivo fue analizar el impacto de coberturas vegetales con pasto guinea (*Megathyrus maximus*) en la temperatura, humedad del suelo y desempeño del cultivo de maíz (*Zea mays*) en la Finca Agroecológica Zamorano, Honduras, a 800 msnm. Se utilizó un enfoque cuantitativo y de diseño experimental que incluyó dos tratamientos (suelo con y sin cobertura vegetal), distribuidos en seis parcelas de 200 m<sup>2</sup> cada una, con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas incluyeron temperatura y humedad del suelo, altura del cultivo y rendimiento en términos de peso de granos por hectárea. Los resultados mostraron que las parcelas con cobertura redujeron

significativamente la temperatura del suelo en  $2.51\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $28.66\text{ }^{\circ}\text{C}$  frente a  $26.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p \leq .05$ ) y aumentaron el contenido de humedad del 26.09% frente al 22.75% en suelos desnudos ( $p \leq .05$ ). En términos de crecimiento, las plantas en parcelas con cobertura alcanzaron una altura promedio de  $144\text{ cm}$  a los  $45\text{ días}$ , mientras que en suelos desnudos alcanzaron  $134\text{ cm}$ . El rendimiento también fue significativamente superior en los suelos con cobertura, alcanzando  $7,358\text{ kg/ha}$  de granos, un incremento del 57% respecto a los  $4,681\text{ kg/ha}$  en suelos desnudos ( $p \leq .05$ ). Se concluyó que las coberturas vegetales con pasto guinea son una estrategia efectiva para conservar los recursos hídricos, estabilizar las características del suelo y aumentar la productividad del maíz en regiones de alta evaporación.

Zayas et al. (2023) tuvieron como objetivo investigar el impacto del uso de coberturas vegetales en el cultivo de arroz para incrementar el rendimiento agrícola de forma sostenible. Usó un enfoque cuantitativo junto a un diseño experimental de bloques aleatorios con tres repeticiones, comparando dos tratamientos: uno con cobertura vegetal (paja verde de arroz) y otro sin cobertura (testigo). Se evaluaron indicadores morfológicos, como la altura del cultivo, la cantidad de hojas y agro productivos, como el consumo de agua, el rendimiento y la biomasa de granos.

Los resultados indicaron que el tratamiento con cobertura vegetal incrementó significativamente el rendimiento, pasando de  $5.1\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el testigo a  $8.2\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  ( $p \leq .05$ ), y redujo el consumo de agua en un 40%, ahorrando aproximadamente  $6,800\text{ m}^3/\text{ha}$ . Además, la cobertura aportó nitrógeno al suelo mediante la descomposición de la paja, mejorando la altura de las plantas y otros indicadores morfológicos. En términos económicos, se redujeron los costos de producción y se incrementaron las utilidades, lo que posiciona a las coberturas vegetales como una alternativa rentable y ambientalmente sostenible. Se concluyó que la aplicación de coberturas vegetales en el cultivo de arroz mejora el desempeño, optimiza el uso de recursos hídricos y promueve la conservación del suelo, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola.

Padilla et al. (2023) en su estudio, cuyo objetivo fue analizar el impacto de distintos grados de cobertura vegetal sobre la germinación, supervivencia y establecimiento de *Tithonia diversifolia* a partir de semilla gámica en el Centro Experimental "Miguel Sistachs Naya", Cuba. El trabajo se desarrolló con un diseño experimental de bloques aleatorios con

cinco réplicas, probando cuatro niveles de cobertura vegetal. Las variables analizadas incluyeron tasas de germinación, cantidad de hojas y tallos, altitud, diámetro del tallo y producción de biomasa. Los hallazgos advirtieron que el grado más elevado de cobertura ( $0.500 \text{ kg/m}^2$ ) incrementó significativamente la germinación en un 29% a los 34 días de la siembra, en comparación con el control sin cobertura ( $p \leq .05$ ). En términos de biomasa, las parcelas con coberturas de  $.338$  y  $.500 \text{ kg/m}^2$  registraron producciones superiores, alcanzando hasta  $10.87 \text{ t/ha}$  de materia seca en el primer corte ( $p \leq .05$ ).

Estas coberturas también protegieron las plántulas frente a condiciones adversas, mejorando significativamente su supervivencia y desarrollo inicial. Se concluyó que el uso de residuos vegetales como cobertura, especialmente en cantidades de  $0.338$  a  $0.500 \text{ kg/m}^2$ , es una práctica eficiente para perfeccionar la germinación, el tratamiento y la producción de biomasa de *Tithonia diversifolia*, siendo una estrategia relevante para optimizar la producción forrajera y conservar el suelo en agroecosistemas tropicales.

Ortiz (2022) en su trabajo, cuyo objetivo fue analizar el impacto de 4 cultivos de cobertura vegetal (avena, cebada, vicia y alverja) en el desempeño de quinua y el control de malezas en el sector La Argelia, cantón Loja, Ecuador, a  $2,137 \text{ msnm}$ . La investigación se realizó con un enfoque experimental, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con 14 tratamientos y tres repeticiones, que incluyeron monocultivos y combinaciones de gramíneas y leguminosas. Las variables analizadas incluyeron biomasa y supresión de malezas, diversidad de especies arvenses y rendimiento del cultivo. Los hallazgos probaron que el tratamiento T14 (combinación de cebada, alverja y avena) presentó la mayor supresión de malezas, con una efectividad superior al 90% en el estadio BBCH19 y al 75% en BBCH60 ( $p \leq .05$ ). En términos de biomasa, la cebada alcanzó el valor más alto ( $394.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), seguida por la combinación avena + cebada + alverja ( $380.4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). En cuanto al rendimiento de grano, el tratamiento T14 obtuvo  $4,525.6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , superando significativamente al control sin malezas (T1,  $3,664.1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y a otros tratamientos como T12 (vicia + alverja,  $3,759.8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). El tratamiento T2 (control con malezas) registró el rendimiento más bajo debido a la alta competencia de arvenses. Se concluyó que las coberturas vegetales, especialmente combinaciones de gramíneas y leguminosas, mejoran significativamente el manejo de malezas y el rendimiento de la quinua, siendo una estrategia clave para la sostenibilidad agrícola en sistemas interandinos.

Dao et al. (2020) en su investigación, en su estudio planteo el reconocimiento de los cultivos que se adaptan y tengan estabilidad frente a la interacción con el ambiente, lo que implicó evaluar el rendimiento fisiológico de siete cultivares de quinua en tres municipios de Boyacá, mediante la metodología frecuentista y Bayesiana del modelo de impactos aditivos e interrelación multiplicativa (AMMI); de manera que, los hallazgos evidenciaron un óptimo rendimiento en cuanto a adaptabilidad y estabilidad, donde el cultivar Pasankalla se remarcó en cuestiones de impacto y estabilidad, a la vez que se demostró la adaptabilidad de los cultivares a determinadas áreas.

García-Parra et al.(2020) evaluaron la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la variedad dulce de Soracá bajo diferentes tratamientos de fertilización en Ventaquemada, Boyacá (Colombia), utilizando un diseño completamente al azar y análisis estadísticos como ANOVA y la prueba de Tukey con un nivel de significancia de ( $p \leq .05$ ) . Los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para variables como altura de planta, número de hojas, contenido de clorofila, número de panojas y rendimiento en grano. El tratamiento T3 (fertilización combinada orgánica y química) alcanzó el mayor rendimiento con 2.28 t/ha, seguido del tratamiento T2 (fertilización química) con 2.1 t/ha, ambos superiores al promedio nacional reportado de 1.5 t/ha. Además, T3 mostró los valores más altos en peso seco y fresco de planta, y en número de panojas por metro cuadrado, confirmando que el manejo integrado de fertilización mejora significativamente la productividad del cultivo de quinua. Estos hallazgos refuerzan la importancia de prácticas sostenibles que optimicen el uso de nutrientes y promuevan la conservación del suelo.

En el contexto boliviano, Osco (2009) evaluó en el Altiplano central evaluó la respuesta de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ante la aplicación de tres niveles de fertilización orgánica con estiércol ovino: 5 t/ha, 10 t/ha y 15 t/ha, utilizando un diseño completamente al azar y análisis de varianza (ANOVA) para validar estadísticamente los efectos. El rendimiento promedio en condiciones tradicionales sin fertilización fue de 500 kg/ha, mientras que con el tratamiento de 15 t/ha se alcanzaron valores de hasta 4,000 kg/ha, lo que representa un incremento de 700% en comparación con el testigo. Además, se encontró que a medida que aumentaba la dosis de fertilización, se elevaban significativamente variables como altura de planta, número de panojas y peso de

grano, con diferencias estadísticamente significativas ( $p < .05$ ) entre tratamientos. El análisis económico reveló que la aplicación de 10 t/ha obtuvo la mejor relación beneficio/costo, demostrando que un manejo orgánico equilibrado mejora tanto el rendimiento como la sostenibilidad del cultivo. Este estudio refuerza la importancia de prácticas agroecológicas en zonas alto andinas donde la fertilidad del suelo es limitada y el acceso a fertilizantes sintéticos es reducido.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Quispe et al. (2021) en su trabajo desarrollaron su estudio en zonas altoandinas de la provincia de Huanta, región Ayacucho, en localidades con pendientes pronunciadas como Yanapampa (distrito de Huamanguilla), Pultunchara y Patasucro (distrito de Huanta), cuyo objetivo fue evaluar el impacto de diferentes coberturas vegetales en la conservación del suelo y el desempeño de la plantación. Con un enfoque experimental y de diseño de bloques completamente aleatorios, se evaluaron 5 tratamientos (sin cobertura, trébol, vicia, vicia con avena y mulch) en tres localidades con pendientes pronunciadas, utilizando mediciones directas de variables como rendimiento, densidad aparente, humedad gravimétrica y propiedades químicas del suelo. Los resultados mostraron que las coberturas de trébol, vicia y mulch aumentaron significativamente el rendimiento del maíz en un 44%, 37% y 38%, respectivamente, en comparación con el suelo desnudo ( $p \leq .05$ ). Además, estas coberturas incrementaron la materia orgánica y aportaron hasta 253 kg/ha de nitrógeno al incorporar biomasa foliar, mejoraron la retención de humedad y redujeron la evaporación del suelo. Se concluyó que el uso de coberturas vegetales no solo incrementa el rendimiento agrícola, sino que también conserva y enriquece el suelo, constituyendo una estrategia clave para la sostenibilidad en sistemas agrícolas andinos.

También en el contexto nacional, Salcedo-Mayta et al. (2022) evaluaron el efecto de coberturas vegetales sobre la pérdida de suelo en laderas agrícolas del altiplano peruano, donde predominan suelos de textura franco-arenosa y pendientes de entre 8 y 12 %. Se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con tres tratamientos (trébol, avena y sin cobertura) y tres repeticiones, utilizando parcelas de 10 × 5 m. Las variables medidas fueron la pérdida de suelo (t/ha/año) y la escorrentía superficial (% de precipitación), determinadas mediante trampas de sedimentos y canaletas de drenaje, además del registro periódico del

porcentaje de cobertura foliar. Tras la comprobación de los supuestos estadísticos, el ANOVA reveló diferencias altamente significativas ( $F(2, 27) = 9.76; p < .001; \eta^2p = .42$ ). Los valores medios de pérdida de suelo fueron de 1.10 t/ha/año en el tratamiento con trébol, **1.36 t/ha/año** en avena y 1.85 t/ha/año en el testigo sin cobertura. La prueba **Tukey HSD** confirmó diferencias estadísticas entre trébol y testigo ( $\Delta = -.75 \text{ t/ha/año}; p\text{-aj} < .001$ ) y entre avena y testigo ( $\Delta = -.49 \text{ t/ha/año}; p\text{-aj} = .008$ ). Los resultados mostraron que las coberturas vivas redujeron la erosión entre un 35 y 45 % respecto al control. El autor concluyó que el trébol fue el tratamiento más eficiente por su denso sistema radicular, el cual favorece la agregación del suelo y la infiltración del agua. Este antecedente proporciona evidencia local sólida sobre la eficiencia de las coberturas en zonas de ladera bajo condiciones altoandinas.

Delgado (2019) desarrollaron un experimento en la región Cusco con el fin de analizar el efecto del trébol blanco (*Trifolium repens* L.) como cobertura vegetal sobre las propiedades químicas del suelo, consideradas como indicadores de salud edáfica y fertilidad. El ensayo se condujo bajo un diseño completamente al azar (DCA) con dos tratamientos (con y sin cobertura) y cuatro repeticiones, durante un periodo de 18 meses. Se analizaron muestras a 0–20 cm de profundidad, evaluando carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH, conductividad eléctrica (CE) y humedad gravimétrica. El análisis de varianza indicó efectos significativos para todas las variables: carbono orgánico ( $F(1, 30) = 16.21; p < .001$ ), CIC ( $F(1, 30) = 14.17; p = .001$ ), pH ( $F(1, 30) = 7.05; p = .012$ ), CE ( $F(1, 30) = 6.43; p = .016$ ) y humedad gravimétrica ( $F(1, 30) = 18.44; p < .001$ ). Los valores promedio en el suelo con trébol fueron de 1.10 % de carbono orgánico, 25.1 meq/100 g de CIC, pH 6.4, CE 0.26 dS/m y humedad 21.2 %, frente a 0.82 %, 19.0 meq/100 g, pH 5.9, CE 0.18 dS/m y 15.3 % en el suelo sin cobertura. La prueba de Tukey HSD corroboró diferencias significativas en todas las variables ( $p\text{-aj} < 0.05$ ). Los autores concluyeron que la cobertura con trébol incrementó el aporte de materia orgánica, mejoró la estructura del suelo y favoreció el reciclaje de nutrientes mediante el aumento de la biomasa microbiana, constituyendo una práctica eficaz para la sostenibilidad agrícola andina.

Santos (2021) en su tesis desarrolló su investigación en la comunidad de Huancarani, distrito de Mañazo, provincia de Puno, cuyo objetivo fue determinar el impacto de tres leguminosas en la optimización del suelo y el desempeño de la quinua, mediante 4

tratamientos: la primera sin leguminosa, la segunda con trébol (*Medicago hispida G.*), la tercera con vicia (*Vicia sativa L.*) y la cuarta con Tarwi (*Lupinus mutabilis S.*), con cuatro repeticiones respectivamente; en ese sentido, los hallazgos que el tratamiento con mejor contribución fue el T4, con valores en nitrógeno de 0.1%, fósforo en 11 ppm, potasio en 731 ppm, materia orgánica en 3 %, humedad en 18%, a comparación del tratamiento sin leguminosa (T1) con valores en fósforo de 8 ppm, potasio en 551 ppm, materia orgánica en 2% y humedad en 14%. Respecto al desempeño de la quinua, el valor fue de 154 cm. de altura del cultivo con el tratamiento con Tarwi, sin leguminosa es de 140 cm.; por lo que, ese tratamiento fue el más eficiente para fomentar la fertilidad del suelo, como opción para la optimización y recuperación de los suelos degradados

García-Parra et al. (2020) realizaron un estudio en el Valle Sagrado de los Incas (Cusco), con el objetivo de evaluar el efecto de coberturas vivas como *Arachis pintoi* sobre la conservación del suelo y el rendimiento del cultivo de quinua. Se trabajó con un diseño completamente al azar, utilizando parcelas con y sin cobertura. Se midieron variables como la erosión hídrica, el contenido de materia orgánica y la producción de grano. Los hallazgos demostraron que las coberturas redujeron la pérdida de suelo en un 40% y aumentaron el rendimiento del cultivo en 0.6 t/ha. Se concluyó que la implementación de coberturas vivas es una técnica viable para conservar el suelo y optimizar la producción agrícola en zonas altoandinas.

Curi-Peralta (2021) en su estudio, analizó el impacto de la cobertura vegetal muerta en la humedad del suelo y el desempeño del cultivo de lechuga en Acobamba, Huancavelica. La investigación se efectuó con un enfoque **experimental** y de diseño completamente al azar, empleando parcelas distribuidas en tratamientos con, y sin, cobertura vegetal, con tres repeticiones cada uno. Los instrumentos utilizados incluyeron mediciones directas de humedad del suelo y variables ligadas con el desempeño, como peso promedio de las plantas, altura y biomasa. Los resultados indicaron que el uso de cobertura vegetal muerta mantuvo significativamente mayor humedad en el suelo ( $p \leq .05$ ), lo que generó características convenientes para la mejora de la lechuga. El rendimiento promedio del cultivo en parcelas con mulch fue superior en un 25% en comparación con las parcelas sin cobertura, alcanzando un peso promedio de 1.5 kg/planta frente a 1.2 kg/planta en el tratamiento control. Se concluyó que la aplicación de cobertura vegetal muerta es una estrategia efectiva para conservar la humedad del suelo y mejorar el desempeño de la plantación de lechuga, siendo

una práctica sostenible para optimizar la productividad agrícola en regiones con limitaciones hídricas.

Vargas-Figueroa (2022) en su investigación, cuyo objetivo fue analizar el efecto de diferentes frecuencias de riego en el desempeño y la eficiencia en el empleo del agua en el cultivo de quinua bajo condiciones edafoclimáticas del altiplano andino. El trabajo se efectuó con un enfoque experimental y de diseño de bloques completamente aleatorio, considerando tres tratamientos de riego (diario, cada tres días y cada cinco días) con tres repeticiones por tratamiento. Se analizaron variables como rendimiento de grano limpio, eficiencia en el empleo del agua y características morfológicas del plantío. Los resultados mostraron que las frecuencias de riego cada tres días (T2) y cada cinco días (T3) lograron rendimientos significativamente superiores al riego diario (T1), con 40.57 g/planta y 38.80 g/planta, respectivamente, frente a 26.33 g/planta ( $p \leq .05$ ). El tratamiento T2 fue el más eficiente en el uso del agua, produciendo 1.75 kg de grano por  $m^3$  de agua aplicada. Además, las frecuencias de riego más espaciadas no afectaron negativamente las características morfológicas como la altura de las plantas y el grosor de las panojas. Se concluyó que el riego por goteo aplicado cada tres días maximiza el rendimiento y la eficiencia en el uso del agua, representando una estrategia clave para el manejo sostenible de recursos hídricos en zonas agrícolas con limitaciones hídricas.

Pacho-Apaza (2021) en su estudio, tuvo como objetivo evaluar el impacto de diferentes coberturas vegetales en la conservación del suelo y el desempeño agrícola de la quinua. El estudio se efectuó en el Centro Experimental Chancarani-Mañazo, Puno, utilizando un diseño experimental de bloques completamente aleatorios con 4 tratamientos: sin cobertura (T1, testigo), trébol carretilla (T2), vicia (T3) y tarwi (T4), con tres repeticiones. Se analizaron variables como biomasa foliar, erosión hídrica, eficiencia de nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) y rendimiento del cultivo. Los resultados indicaron que el trébol carretilla (T2) produjo la mayor biomasa foliar verde ( $19,850 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y fue el más efectivo para reducir la erosión hídrica, con una pérdida mínima de  $1.31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  frente a  $11.69 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  en el tratamiento sin cobertura ( $p \leq .05$ ). En términos de eficiencia de nutrientes, el tarwi (T4) presentó el mayor aporte de nitrógeno ( $0.030\%$ ) y potasio ( $83.67 \text{ ppm}$ ), mientras que el trébol carretilla destacó en el aporte de fósforo ( $3.01 \text{ ppm}$ ). Respecto al rendimiento, el trébol carretilla obtuvo el mayor rendimiento con  $3,102 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , seguido de la vicia ( $3,052 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) y el tarwi ( $2,744 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), superando significativamente al testigo ( $2,602 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Se concluyó que las coberturas vegetales, especialmente el trébol carretilla, son una estrategia eficaz para mitigar la erosión hídrica, garantizar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento del plantío de quinua, contribuyendo al manejo sostenible de los recursos agrícolas en zonas altoandinas.

Gonzales (2023) evaluó la eficacia de diferentes coberturas vegetales en un ambiente semiárido del norte peruano, con el objetivo de determinar sus efectos sobre la calidad del suelo y el rendimiento del cultivo de quinua. El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con tres tratamientos (leguminosa, gramínea y suelo desnudo) y tres repeticiones, empleando parcelas de  $8 \times 10$  m y con una precipitación anual inferior a 350 mm. Las variables evaluadas fueron carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), pH del suelo, cobertura foliar (%) y rendimiento de quinua (kg/ha). Los análisis estadísticos se efectuaron mediante ANOVA de un factor y prueba Tukey HSD, verificándose los supuestos de normalidad y homogeneidad. Los resultados mostraron un efecto marginal en el carbono orgánico ( $F(2, 33) = 3.12$ ;  $p = 0.056$ ), un efecto significativo en la CIC ( $F(2, 33) = 4.28$ ;  $p = 0.021$ ;  $\eta^2p = 0.21$ ) y un efecto no significativo en el rendimiento ( $F(2, 33) = 2.01$ ;  $p = 0.150$ ). Los valores promedio para el tratamiento con leguminosas fueron de 0.84 % de carbono orgánico, 19.2 meq/100 g de CIC y 930 kg/ha de rendimiento, en comparación con 0.76 %, 17.9 meq/100 g y 872 kg/ha, respectivamente, en el suelo sin cobertura. La prueba de Tukey reveló diferencias significativas únicamente en la CIC ( $\Delta = 1.3$  meq/100 g;  $p\text{-aj} = 0.032$ ). El autor atribuyó los resultados limitados al déficit hídrico y a la baja densidad de cobertura foliar (menor del 50 %), lo cual redujo la acumulación de biomasa y la capacidad de fijación de carbono. Este antecedente resulta relevante al establecer un punto de comparación con condiciones contrastantes a las de Ayacucho, donde la disponibilidad de humedad es mayor y la respuesta de las coberturas es más marcada.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Mendoza et al. (2021) en su estudio realizado en tres localidades del departamento de Ayacucho, Perú: Patasucro, Qaqas y Ccanis, tuvo como objetivo evaluar el impacto de coberturas vivas en la conservación de la humedad del suelo y el desempeño de la quinua en sistemas agrícolas de secano. La investigación se efectuó con un enfoque experimental y un diseño de bloques completamente aleatorio con tres tratamientos: trébol, alverja y un control

sin cobertura, empleando pruebas estadísticas (ANOVA y Tukey) para analizar las diferencias significativas. Los resultados indicaron que el trébol fue la cobertura más eficaz para preservar la humedad del suelo, con incrementos del 3.97% en Patasucro y 1.02% en Qaqas respecto al control ( $p \leq 0.05$ ), mientras que la alverja no mostró diferencias significativas. En términos de rendimiento, las coberturas vivas aumentaron la producción únicamente en Qaqas, donde el trébol superó al control por  $0.4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  y la alverja por  $0.29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . En Patasucro y Ccanis no se observaron incrementos significativos, posiblemente debido a la falta de incorporación de biomasa al suelo y a la corta duración del experimento. Se concluyó que las coberturas vivas, especialmente el trébol, son efectivas para garantizar la eficiencia del empleo del agua y el desempeño de la quinua en sistemas de secano, aunque su éxito varía según la distribución de las lluvias y una gestión adecuada de las coberturas.

Marcelino (2024) realizó su estudio en el Centro Experimental de Canaán, distrito de Andrés A. Cáceres Dorregaray, a 2750 msnm, región Ayacucho. En su estudio, tuvo como objetivo evaluar el impacto de las coberturas vegetales y el guano de isla en las condiciones del suelo y el desempeño del plantío de quinua. La investigación se realizó con un diseño de parcelas divididas en bloques totalmente aleatorios, evaluando 4 tipos de coberturas vegetales (alverja, maíz, trigo y sin cobertura) combinadas con tres granos de guano de isla ( $0, 1$  y  $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), en un total de doce tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los resultados mostraron que la implementación de  $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de guano de isla incrementó significativamente el desempeño de quinua, con  $3,520.35 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , lo cual significó un incremento del 74% a diferencia del tratamiento sin guano ( $2,019.79 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $p \leq 0.05$ ). En cuanto a las coberturas vegetales, el trigo combinado con guano de isla mostró los mejores resultados en el incremento del peso de las panojas y el rendimiento total del cultivo. No obstante, las coberturas no generaron mejoras significativas en las cualidades químicas del suelo, como pH, conductibilidad y contenido de materia orgánica, aunque se observaron ligeros incrementos en estos parámetros. Además, las coberturas vegetales retrasaron la emergencia de las plántulas en tres días, pero no afectaron de manera relevante la madurez fisiológica del cultivo. Se concluyó que la aplicación de guano de isla a  $2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  es una estrategia eficaz para aumentar el rendimiento de la quinua, mientras que las coberturas vegetales contribuyen al manejo sostenible del cultivo al reducir la falta de humedad y mejorar la gestión de malezas, complementando los efectos del fertilizante orgánico.

Valencia (2019) desarrolló un estudio en la comunidad de Ccayarpachi, Huamanga, con el objetivo de determinar el efecto de coberturas vegetales sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua. Se aplicaron tres tratamientos: cobertura con rastrojos, cobertura viva (malezas controladas) y suelo desnudo. A través de un diseño experimental y mediciones durante un ciclo agrícola, se encontró que las coberturas redujeron la escorrentía superficial en un 35% y mejoraron la agregación del suelo. Asimismo, el rendimiento del cultivo fue un 18% mayor en parcelas con cobertura viva respecto al control. Se concluyó que el uso de coberturas es efectivo para conservar el suelo y mejorar la productividad en contextos locales.

Gutiérrez Huamán (2021) realizó una investigación en Vilcas Huamán, Ayacucho, con el propósito de evaluar la influencia de coberturas vegetales naturales sobre la humedad del suelo y el rendimiento de quinua. El estudio, de tipo **experimental**, se enfocó en parcelas con cobertura espontánea de gramíneas y malezas, comparadas con parcelas limpias. Se observó que la humedad del suelo fue 17% mayor en las parcelas cubiertas, y que el rendimiento del grano alcanzó un incremento de hasta 20% respecto al tratamiento sin cobertura. El autor concluye que las coberturas naturales pueden ser aprovechadas como una estrategia de bajo costo para mejorar las condiciones edafoclimáticas del cultivo.

Gonzales (2011) realizó su estudio en Canaán, a 2750 msnm, región Ayacucho, en su estudio, tuvo como objetivo evaluar el impacto de diferentes coberturas vegetales y densidades de siembra en el manejo de malezas y el rendimiento del cultivo de quinua. El estudio se realizó con un diseño experimental de bloques completamente al azar, utilizando cuatro coberturas vegetales (trigo, quinua, cebada y un tratamiento sin cobertura) y tres densidades de siembra (40, 80 y 120 plantas por metro cuadrado), analizando variables relacionadas con la población de malezas, la productividad del cultivo y el análisis económico de los tratamientos. Los resultados indicaron que las coberturas vegetales redujeron significativamente la población de malezas ( $p \leq .05$ ), siendo el rastrojo de trigo la cobertura más efectiva, con una disminución del 58%, seguido del rastrojo de cebada (49%) y quinua (42%) en comparación con el tratamiento sin cobertura. Respecto al rendimiento, el tratamiento con rastrojo de trigo y una densidad de 80 plantas/m<sup>2</sup> logró el mayor desempeño, con 2,750 kg/ha, lo cual representó un incremento del 36% frente al tratamiento sin cobertura. Adicionalmente, las coberturas vegetales mejoraron la retención de humedad del suelo, creando condiciones favorables para el desarrollo del cultivo. Desde una

perspectiva económica, el tratamiento con rastrojo de trigo mostró la mejor relación costo-beneficio, posicionándose como una alternativa viable para la sostenibilidad agrícola en zonas alto andinas. Se concluyó que el uso de coberturas vegetales, especialmente en combinación con densidades óptimas de siembra, mejora significativamente el manejo de malezas y el desempeño del plantío de quinua, contribuyendo al manejo sostenible del suelo y a la productividad en regiones de altura.

Gutiérrez (2014) condujo su estudio en el Centro Experimental de Canaán de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a 2 750 msnm, en la localidad de Ayacucho, región Ayacucho, en su trabajo, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de distintas coberturas vegetales y densidades de plantación en el manejo de malezas y el rendimiento del plantío. El estudio se efectuó con un diseño de bloques completamente aleatorios, evaluando tratamientos que incluyeron coberturas de rastrojo de trigo, quinua, frijol y un tratamiento sin cobertura, combinados con diferentes densidades de plantación. Los resultados indicaron que las coberturas vegetales redujeron significativamente la población de malezas, siendo el rastrojo de trigo el más efectivo con una reducción del 45%, seguido del rastrojo de quinua (38%) y frijol (30%) ( $p \leq .05$ ). Asimismo, las coberturas disminuyeron el peso seco y fresco de las malezas, facilitando el manejo del cultivo. En términos de rendimiento, el rastrojo de quinua incrementó significativamente el peso promedio de las pellas en un 23% respecto al tratamiento sin cobertura, además de presentar la mejor relación costo-beneficio al reducir los costos de manejo de malezas y aumentar la productividad. Se concluyó que las coberturas vegetales, especialmente el rastrojo de quinua, son una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento, reducir el impacto económico del manejo de malezas y promover la sostenibilidad agrícola en zonas alto andinas.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Teorías de protección y conservación del suelo**

Carranza-Patiño et al. (2024) llevaron a cabo una revisión sistemática centrada en la preservación y el control agrícola del suelo, considerando tanto enfoques tradicionales como modernos. El estudio tuvo como finalidad analizar el impacto de estas prácticas en la calidad del suelo y en la sostenibilidad de la producción agrícola. Los hallazgos evidencian que métodos como la labranza cero, la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos favorecen la mejora de la estructura del suelo, la retención de nutrientes y el aumento de la

biodiversidad, además de contribuir a la atenuación del cambio climático. Los autores concluyen que es fundamental adoptar una perspectiva holística para optimizar estas estrategias en distintos contextos edafoclimáticos.

Tobasura et al. (2000) destacan que la conservación del suelo debe ir más allá de un enfoque técnico-utilitario, integrando un cuidado ético-afectivo de la tierra. El estudio propone reconciliar las perspectivas científicas y tradicionales para promover un manejo sostenible del suelo, considerando su valor intrínseco y su rol esencial en los ecosistemas y comunidades rurales.

### **2.2.2. Teorías de selección de la cobertura vegetal**

Tácuna et al. (2021) evaluaron los impactos del reposo del pastoreo sobre la disposición de la vegetación, el rol hidrológico y la condición ecológica en pastizales alto andinos en la Cordillera Blanca, Perú. Los resultados mostraron que el descanso favoreció el aumento de la cobertura vegetal, el almacenamiento de biomasa y el mantillo, mejorando la infiltración y la humedad del suelo. También se observó una recuperación de las gramíneas nativas y una mejora general en el estado ecológico del pastizal, demostrando el impacto positivo de esta práctica frente al pastoreo continuo.

Jácome et al. (2024) analizan los impactos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de *Croton wagneri* en la cuenca hidrográfica del río Mira, Ecuador. Utilizando imágenes satelitales y el modelo MaxEnt, se identificaron cambios significativos en la cobertura del suelo, como la pérdida de bosque y vegetación xerofítica, y un aumento en áreas de cultivos y pastizales. Los hallazgos evidencian una disminución notable en las áreas con alta idoneidad para la especie, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de conservación para proteger la biodiversidad en la región.

Alcaraz (2013) detalla el método fitosociológico como una herramienta clave para el análisis y clasificación de comunidades vegetales, basándose en su composición florística. Dicha perspectiva se focaliza en el reconocimiento de especies diagnósticas, el uso de parcelas homogéneas y la recolección de datos específicos sobre abundancia y cobertura. El objetivo es clasificar jerárquicamente las comunidades vegetales y comprender sus asociaciones con el ambiente, facilitando su conservación y manejo sostenible.

### **2.2.3. Teorías de densidad del suelo y penetración de raíces**

De los Ángeles et al. (2014) evaluaron un método alternativo para el establecimiento de la densidad aparente del suelo, comparándolo con el método tradicional del cilindro. Los resultados mostraron que el método alternativo es más práctico y sencillo, con una variabilidad explicada del 93% respecto al método estándar. Sin embargo, la precisión del nuevo método depende de la experiencia del operario, siendo necesario entrenamiento previo para garantizar resultados confiables en aplicaciones agronómicas.

Blanco (2009) estudió la asociación entre la densidad aparente ( $\rho_a$ ) y la resistencia mecánica ( $R_m$ ) del suelo como parámetros de compactación. Se halló que hay una relación considerable entre estas propiedades bajo condiciones de humedad a capacidad de campo y a una profundidad de 1.5 cm, explicando el 60% de la variabilidad de la densidad aparente al incluir la resistencia mecánica y la plasticidad como variables predictoras. El estudio destaca la importancia de controlar factores como la humedad y el contenido de gravas para obtener mediciones más precisas y confiables.

Cid-Lazo et al. (2021) analizaron la variación de la densidad aparente del suelo en función del contenido de agua en diferentes tipos de suelos cubanos, destacando su relación con la calidad de la arcilla predominante. Los resultados mostraron que los suelos arcillosos, como los Vertisuelos, Pardos Sialíticos y Ferralíticos, presentan modificaciones significativas en la densidad aparente con cambios de humedad, mientras que los suelos arenosos no exhiben estas variaciones. Este estudio proporciona herramientas prácticas para optimizar el manejo del riego en base a las cualidades físicas del suelo.

### **2.2.4. Teorías de liberación y descomposición de nutrientes**

Imbert et al. (2024) destacan la importancia del manejo forestal sostenible para mantener los ciclos de nutrientes en los ecosistemas frente al cambio global. El estudio analiza cómo las prácticas forestales pueden alterar estos ciclos, afectando la productividad y otras funciones del bosque. Además, se resalta la necesidad de comprender el funcionamiento de los ciclos interno y externo de nutrientes, utilizando modelos matemáticos para anticipar cambios y adaptar técnicas de manejo que minimicen los impactos negativos.

FAO (2005) enfatiza la importancia de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo como pilares fundamentales para la preservación de los recursos y la agricultura sostenible. El documento aborda cómo la materia orgánica optimiza la composición del suelo, facilita el reciclaje de nutrientes y aumenta la capacidad del suelo para absorber agua y carbono. Asimismo, destaca el papel de los microorganismos y macro organismos en la disgregación de residuos y en la formación de humus, subrayando que las prácticas agrícolas adecuadas, como la labranza cero y los cultivos de cobertura, favorecen la salud del suelo y su biodiversidad.

## **2.2.5. Fundamento estadístico y diseño experimental**

### **2.2.5.1. Diseño de experimentos**

El diseño de experimentos es una rama de la estadística que permite planificar, ejecutar y analizar ensayos de forma estructurada para estudiar el efecto de uno o más factores sobre una o más variables respuesta (Montgomery, 2017). Sus principales objetivos son aumentar la precisión en la estimación de efectos, minimizar el error experimental y maximizar la información obtenida.

Todo diseño experimental se basa en tres principios fundamentales:

- Aleatorización: para evitar sesgos y distribuir el error experimental.
- Replicación: para estimar la variabilidad y aumentar la precisión.
- Bloqueo: para controlar la variabilidad debida a factores no controlables.

Entre las etapas esenciales se encuentran:

- Definición del problema.
- Selección de factores, niveles y tratamientos.
- Elección del diseño experimental apropiado.
- Asignación de tratamientos y ejecución del experimento.
- Análisis estadístico e interpretación de resultados.

### **2.2.5.2. Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA)**

El Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) es uno de los más empleados en investigaciones agrícolas. Se utiliza cuando las unidades experimentales no son completamente homogéneas y permite controlar la variación entre bloques (por ejemplo, diferencias en altitud, humedad o calidad del suelo). En un DBCA, cada tratamiento aparece una vez en cada bloque, y los tratamientos se asignan aleatoriamente dentro de cada uno.

Este diseño mejora la precisión del análisis al separar la variación entre bloques de la variación atribuida a los tratamientos.

En la presente investigación se aplicó un DBCA con tres tratamientos (trébol, alverja y sin cobertura) y tres bloques en cada distrito, lo que permitió controlar la variabilidad ambiental dentro de cada localidad. En cada distrito se establecieron nueve unidades experimentales (3 tratamientos  $\times$  3 bloques) y, en cada combinación tratamiento–bloque, se definieron **tres puntos de muestreo independientes** (repeticiones) donde se evaluaron las variables físicas, químicas y productivas del suelo, así como el rendimiento de la quinua. De esta manera, se **obtuvieron** 27 observaciones por distrito (3 tratamientos  $\times$  3 bloques  $\times$  3 repeticiones), que constituyeron la base para el análisis estadístico univariado (ANOVA) y multivariado (MANOVA) aplicado en la investigación.

Los datos se procesaron mediante Análisis de Varianza (ANOVA) y Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA), con el fin de determinar diferencias significativas entre tratamientos y evaluar de forma conjunta los efectos de las coberturas vegetales sobre las propiedades del suelo y el rendimiento de la quinua.

Donde:

- $Y_{ij} = \mu + \beta_i + \alpha_j + \epsilon_{ij}$
- $Y_{ij}$ : es el rendimiento observado en el  $i$ -ésimo tratamiento y  $j$ -ésimo bloque
- $\mu$ : es el efecto de la media global.
- $\alpha_i$ : es el efecto del  $i$ -ésimo tratamiento.
- $\beta_j$ : es el efecto del  $j$ -ésimo bloque.
- $\epsilon_{ij}$ : es el efecto del error experimental en el  $i$ -ésimo tratamiento y  $j$ -ésimo bloque

#### 2.2.6. Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA)

En el presente estudio, el Análisis Multivariado de Varianza (MANOVA) se aplicó considerando como factor principal el efecto de los tratamientos de cobertura vegetal (trébol, alverja y sin cobertura), con el propósito de evaluar de manera conjunta su influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como sobre el rendimiento del cultivo de quinua.

Dado que el diseño experimental fue de Bloques Completos al Azar (DBCA), los bloques se emplearon para controlar la variabilidad ambiental dentro de cada distrito durante la etapa de análisis univariado (ANOVA). No obstante, en el análisis multivariado se

consideró únicamente el factor **tratamiento**, utilizando las medias representativas por bloque como unidades de observación, ya que el objetivo principal fue estimar el efecto global de las coberturas vegetales sobre el sistema suelo-planta.

El modelo general del MANOVA puede expresarse de la siguiente forma:

$$Y = XB + E$$

Donde:

- Y: matriz  $n \times p$  de observaciones, con  $p$  variables dependientes y  $n$  unidades experimentales,
- X: matriz de diseño que representa los niveles del factor tratamiento,
- B: matriz de parámetros de los tratamientos,
- E: matriz de errores aleatorios con distribución normal multivariada y covarianza común.

La hipótesis nula multivariada se plantea como:

$$H_0: u_1 = u_2 = u_3$$

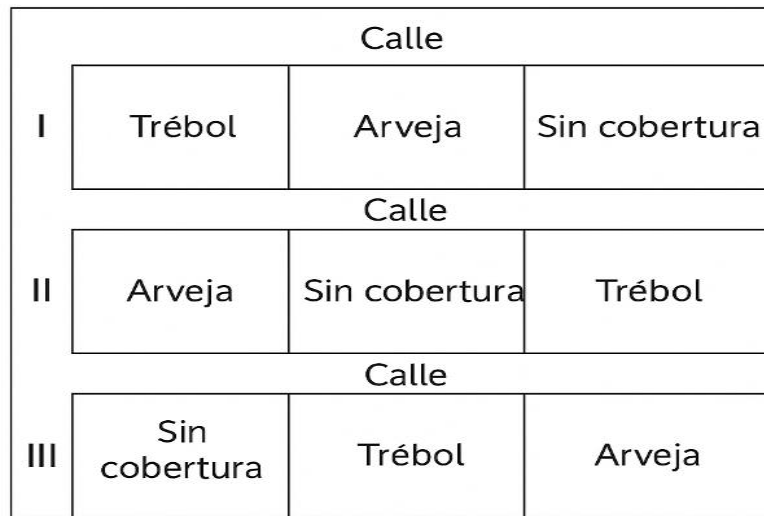
donde  $u_i$  representa el vector de medias de las variables dependientes para cada tratamiento.

Para contrastar esta hipótesis se emplearon los estadísticos de Wilks' Lambda ( $\Lambda$ ), Pillai's Trace, Hotelling's Trace y Roy's Largest Root, considerando un nivel de significancia del 5%. Cuando se detectaron efectos multivariados significativos, se procedió a realizar anovas univariados y pruebas de Tukey sobre las variables individuales para identificar las diferencias específicas entre tratamientos.

## Croquis de las parcelas experimentales

**Figura 1**

*Croquis de las parcelas experimentales*

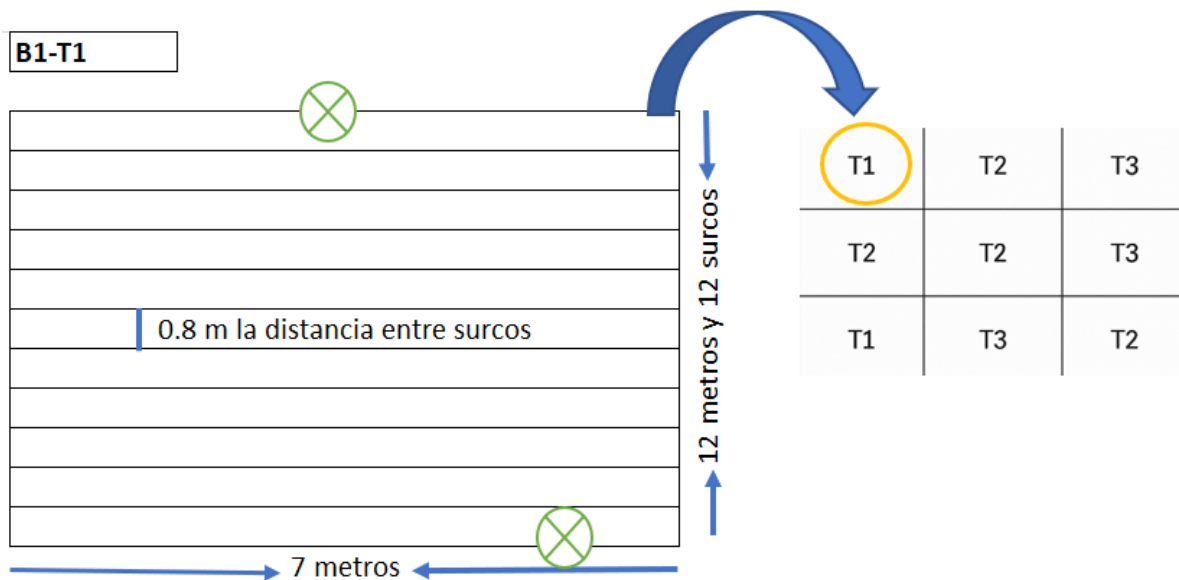


**Nota.** Elaboración propia.

## Dimensión de parcelas experimentales

**Figura 2**

*Dimensión de la parcela de un bloque con un tratamiento T1, 7m x 12m(84m<sup>2</sup>)*



**Nota:** Distribución de los tres tratamientos (T1, T2, T3) en los tres bloques (B1, B2, B3) del diseño de bloques completos al azar, elaboración propia

### Ubicación de las parcelas experimentales

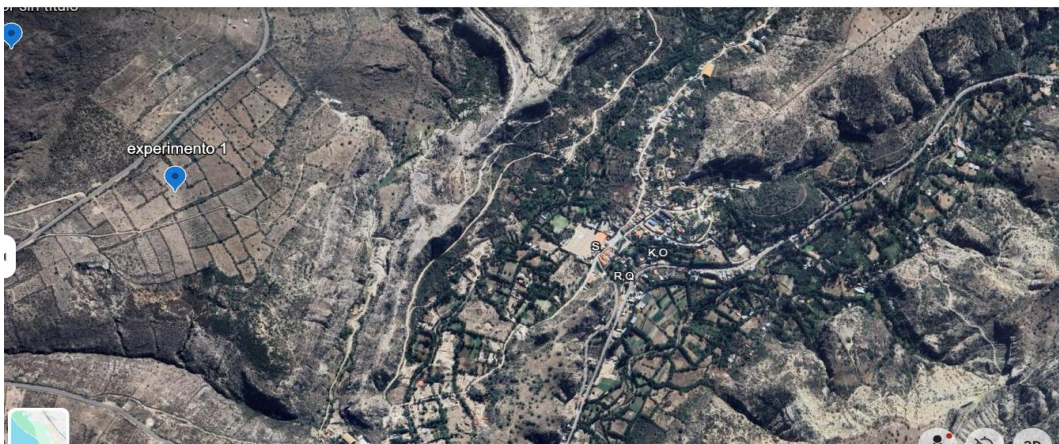
El presente estudio se llevó a cabo en tres distritos representativos de la provincia de **Huamanga**, región **Ayacucho (Perú)**: **Acocro**, **Chiara** y **Socos**. Estos distritos fueron seleccionados por presentar condiciones agroecológicas contrastantes que reflejan la diversidad ambiental de la zona altoandina, donde la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) constituye un cultivo de importancia económica y social.

- **Distrito de Acocro:** situado a una altitud promedio de **3 200 m s.n.m.** ( $13^{\circ}05' S$  y  $74^{\circ}08' O$ ), con clima templado subhúmedo, temperatura media anual de  $14^{\circ}C$  y precipitación promedio de 850 mm. Sus suelos son franco-arenosos, de textura media y pendientes moderadas.
- **Distrito de Chiara:** ubicado a **3 000 m s.n.m.** ( $13^{\circ}04' S$  y  $74^{\circ}12' O$ ), presenta suelos franco-arcillosos y un clima templado seco, con temperatura promedio de  $15^{\circ}C$  y lluvias anuales entre 600 y 800 mm.
- **Distrito de Socos:** se encuentra a **2 800 m s.n.m.** ( $13^{\circ}09' S$  y  $74^{\circ}10' O$ ), con clima templado y suelos de buena estructura, de color pardo oscuro y con contenido medio de materia orgánica.

Las condiciones ambientales de estos tres distritos permitieron representar diferentes microambientes dentro de la provincia de Huamanga, lo que facilitó evaluar la respuesta de las coberturas vegetales en distintos contextos edafoclimáticos de la región.

### Figura 3

Ubicación del experimento 1 en el centro poblado Tambillo Chico (distrito de Acocro, provincia de Huamanga, región Ayacucho)



*Fuente:* Elaboración propia a partir de imágenes satelitales de *Google Earth 2025*.

**Figura 4**

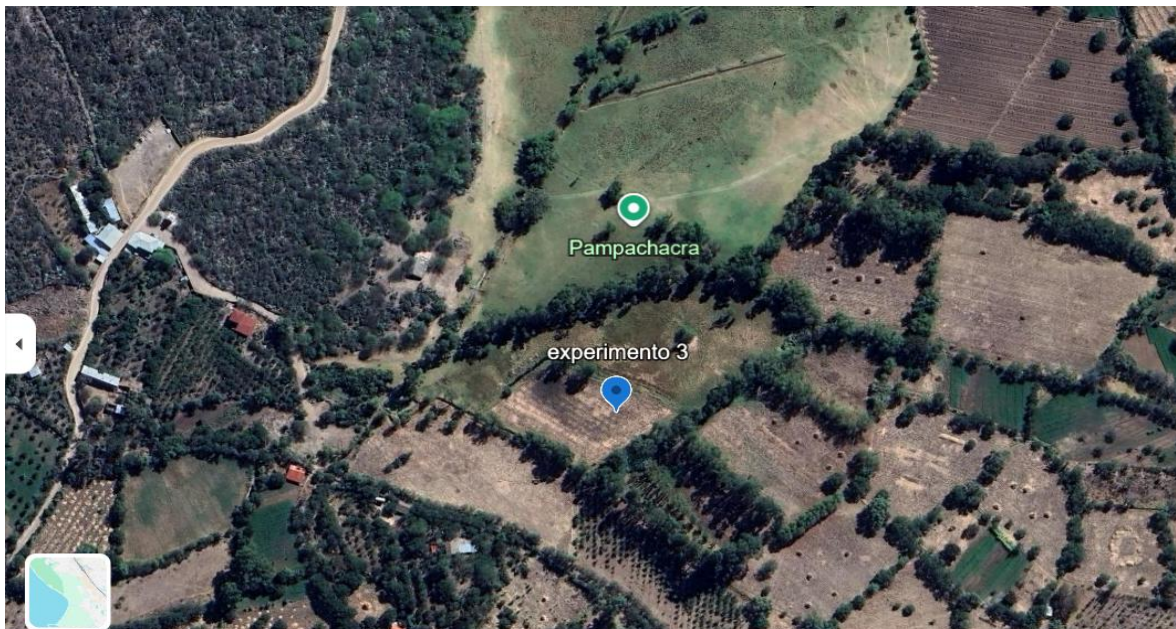
*Ubicación del experimento 2 en el centro poblado Chacco (distrito de Chiara, provincia de Huamanga, región Ayacucho)*



*Fuente:* Elaboración propia a partir de imágenes satelitales de *Google Earth 2025*.

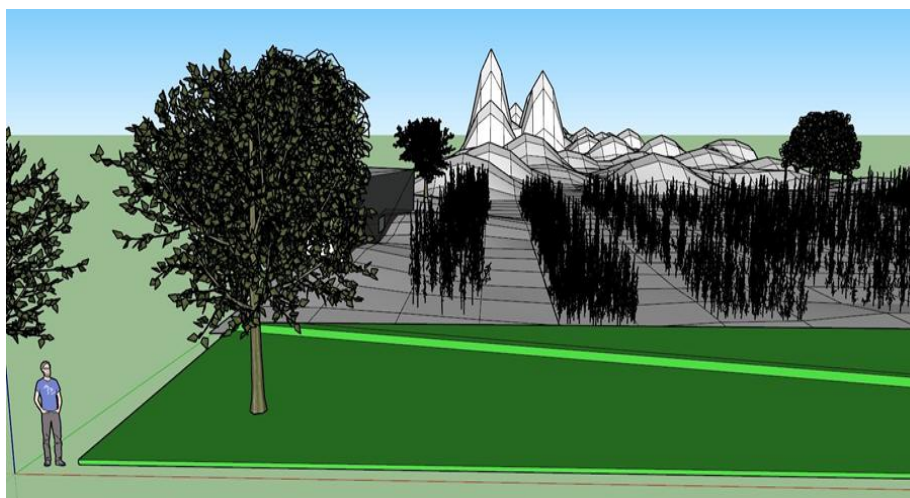
**Figura 5**

*Ubicación del experimento 3 en el centro poblado Pampachacra (distrito de Socos, provincia de Huamanga, región Ayacucho)*



*Fuente:* Elaboración propia a partir de imágenes satelitales de *Google Earth 2025*.

**Figura 6**  
Parcela vista 3 D



**nota:** Elaboración Propia

### Características del campo experimental

FACTOR	VALOR
Diseño estadístico	DBCA
Número de tratamientos	3 (trébol, alverja, sin cobertura)
Número de bloques por localidad	3
Número de parcelas por localidad	9
Dimensiones de parcela (m)	7 m × 12 m
Área experimental por parcela (m <sup>2</sup> )	84
Número de surcos por parcela	12
Distancia entre surcos (m)	0,80
Distancia de calle (m)	1,50
Área experimental total por localidad (m <sup>2</sup> )	756
Superficie de terreno disponible (m <sup>2</sup> )	800

## 2.3.Marco conceptual

### 2.3.1.Terminología

Actualmente existen diversas designaciones que reciben las distintas plantas y componentes que se analizara en la investigación.

**La Planta:** Humberto et al. (1979). La planta de la quinua presenta una amplia variedad con características, diferentes en las hojas, panojas, color de tallos y puede alcanzar una altura de 2 metros.



**Raíz:** Humberto et al. (1979). La raíz de la quinua se hunde verticalmente en la tierra es vigorosa, ramificada y fibrosa, lo que permite su subsistencia en situaciones desfavorables. Podrían llegar hasta 30cm de profundidad.



**Tallo:** Quispe y Velásquez (2022) señalan que el tallo de la quinua tiene una forma casi cilíndrica donde el diámetro puede alcanzar de 1 a 4cm. El tallo también contiene celulosa que se usa para la fabricación de cartón y papel.

**Quinoa:** Fairlie (2016) señala que la quinoa es originaria de los Andes, lo que hace que las mesetas y valles andinos ofrezcan las cualidades de suelo y clima ideales para su cultivo. Este pseudocereal es una fuente de proteínas y aminoácidos, además de poseer aproximadamente el doble de lisina, si se lo compara con otros granos y cereales. Asimismo, su contenido proteico incluye vitaminas del complejo B, así como vitaminas C y E, tiamina y riboflavina, además de ser una excelente fuente de minerales como potasio, fósforo y lisina. Cabe recalcar que la quinoa no constituye un cereal propiamente dicho, sino un grano andino cuya domesticación, diversificación y cultivo se llevaron a cabo principalmente en las tierras altas durante la época prehispánica.

**Cultivo:** Gómez et al. (2016) advierte que la quinoa posee una adaptabilidad a diversos pisos ecológicos, aunque también presenta un elevado nivel de riesgo frente a factores climáticos como la sequía, helada, vientos y granizada; no obstante, dicho cultivo tiene alta tolerancia a variados rangos de temperatura y humedad relativa, cuya eficiencia en el empleo del agua posibilita generar rendimientos de grano aceptable, pese a las reducidas precipitaciones.



**Fotoperiodo:** Mujica et al (2006) reconocen que el cultivo se desarrolla óptimamente con 12 horas diarias de luz en la región altiplánica sureña, lo que facilita la floración y maduración de los granos; a diferencia de la región norte y zonas australes, donde se desarrolla de forma plena con 14 horas diarias de luz.

**Radiación:** García et al (1991) menciona que la elevada iluminación resulta beneficiosa para el cultivo de la quinua, dado que favorece una mejor actividad fotosintética.

**Precipitación-Humedad:** Mujica et al (2006) señala que el rango de precipitación adecuada es de 500 a 800 mm y se concibe una precipitación de 60 a 100 mm para su establecimiento, asimismo, respecto a la humedad relativa, el cultivo se desarrolla óptimamente con 40% en el altiplano y hasta 100 % en la costa, donde la elevada humedad relativa se presente en los meses de verano (enero y febrero).

**Altitud:** Gámez (2017) identifica que la altitud ideal para la quinua son los valles andinos comprendidos entre los 2000 y 3400 m.s.n.m. y, en la región altiplánica, entre los 3800 hasta 4000 m.s.n.m.; pero, comúnmente, el mayor desarrollo se logra entre los 2800 y 3900 m.s.n.m. de la región andina.

### **2.3.2. Clasificación taxonómica**

Gámez (2017) advierte que la quinua, taxonómicamente, se encuentra ubicada de la siguiente manera:

- Reino: Vegetal
- División: Fanerógamas
- Clase: Dicotiledóneas
- Subclase: Angiospermas
- Orden: Centrospermas
- Familia: Chenopodiáceas
- Género: *Chenopodium*
- Sección: Chenopodia
- Subsección: Cellulata
- Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow.

### **2.3.3. Salud del suelo**

Salcedo-Mayta et al. (2022) menciona que el altiplano peruano está perdiendo cada vez más su fertilidad y, por tanto, sufre la erosión natural. A lo largo de los años, las prácticas agrícolas tradicionales han provocado la pérdida de superficie terrestre y el desgaste de las propiedades del suelo, lo que ha afectado significativamente el desempeño de los plantíos y

ha profundizado el deterioro de dicho frágil ecosistema. El objetivo es analizar el empleo de cultivos de cobertura en la lucha contra la degradación, la calidad del suelo y la productividad de la quinua.

En su trabajo de investigación utilizó la variedad de quinua INIA - 420 “Negra Collana” procedente de la Estación Experimental Agrícola (AES) Puno del Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria (INIA).

El análisis estadístico mostró que los tratamientos no provocaron cambios significativos en el pH, oscilando entre 6,43 y 6,57. Aunque el suelo de Huancarani tiene un pH mucho más ácido que el suelo de Caualli, se puede clasificar como ligeramente ácido y neutro, respectivamente. Sin embargo, los valores de conductividad oscilan entre 0,133 y 0,209 dS.m<sup>-1</sup> y estos son valores considerados de tierras bajas, es decir, no salinos. Debido a la alta variabilidad de los datos, los tratamientos no resultaron en cambios significativos en la conductividad. Sin embargo, Huancarani tiene un valor mucho mayor que Cauallha. (Salcedo, 2022)

En cuanto a la pérdida de suelo, utilizar las coberturas del suelo (*Thymbra capitata*) como mantillo tiene resultados similares; sin embargo, se observaron daños mayores en otra especie de veza (*Vicia sativa*). Otros estudios muestran una reducción de estas pérdidas utilizando *Brachypodium* (*Brachypodium distachyon*) y centeno (*Secale Cereale*) (Salcedo, 2022).

Se ha demostrado que, para proteger el suelo de la erosión, el uso de mantillo reduce la pérdida de suelo. Sin embargo, en términos de fertilidad, la cobertura no tuvo efecto significativo sobre los parámetros evaluados, con excepción del contenido de nitrógeno, donde se encontraron niveles de nitrógeno mucho mayores en el caso del trébol y el haba. En términos de variables biológicas, las leguminosas contribuyen al aumento del carbono orgánico y de las poblaciones microbianas. En el desarrollo agronómico tanto de setos como de quinua, el trébol ha mostrado resultados mucho mejores.

### **2.3.4. Rendimiento de la quinua**

Urdanegui (2021) indica que la quinua constituye un cultivo con potencial agronómico en la zona peruano-andino, por lo que, el objetivo fue analizar el desempeño, las particularidades agronómicas y morfológicas de 11 genotipos de quinua usados en 2 períodos agrícolas.

Su rusticidad le permite soportar duras condiciones ambientales al tiempo que exhibe diversas características agronómicas y botánicas. La quinua se adapta fácilmente a las condiciones edafoclimáticas como la costa, los valles interandinos, la Puna y la sierra que se extiende hasta una altitud de 4.000 m.s.n.m. (Urdanegui, 2021).

El Perú cuenta con variedades autóctonas de quinua con óptimas propiedades agronómicas. Sin embargo, las semillas sembradas a menudo provienen de una mezcla de variedades cosechadas tradicionalmente, lo que genera diferencias en la longitud y el diámetro de la panícula, la fecha de floración, el grosor de las semillas, la altitud del plantío, el tamaño y el grosor de las semillas, el peso de miles de semillas y el contenido de saponina.

El método de siembra fue aspersión continua, siguiendo el método de Bojanic (2011). Estas prácticas se realizan todos los años en noviembre, cuando comienzan las primeras precipitaciones, creando situaciones favorecedoras. Las actividades agronómicas equivalen al control manual de malezas porque no se conocen herbicidas que puedan controlar las malezas (Urdanegui, 2021). En las actividades agrícolas 2018-2019, el genotipo *CQH44H* tuvo el mejor rendimiento promedio de grano, alcanzando 3130,21 kg, superando a otros genotipos y controles. Esta diferencia se produce como resultado de la plasticidad fenotípica que exhiben los genotipos y el perfeccionamiento de las pluralidades típicas elegidas por los campesinos.

En este trabajo, los genotipos mostraron hallazgos admisibles en términos de desempeño, rasgos agro morfológicos, resistencia al mildiú y contenido de saponinas. En futuros estudios será útil para realizar pruebas de idoneidad y eficiencia, así como comprobaciones de distinción, uniformidad y consistencia, convenientes en programas de mejora genética de plantas (Urdanegui, 2021).

### **2.3.5. Conservación del Suelo**

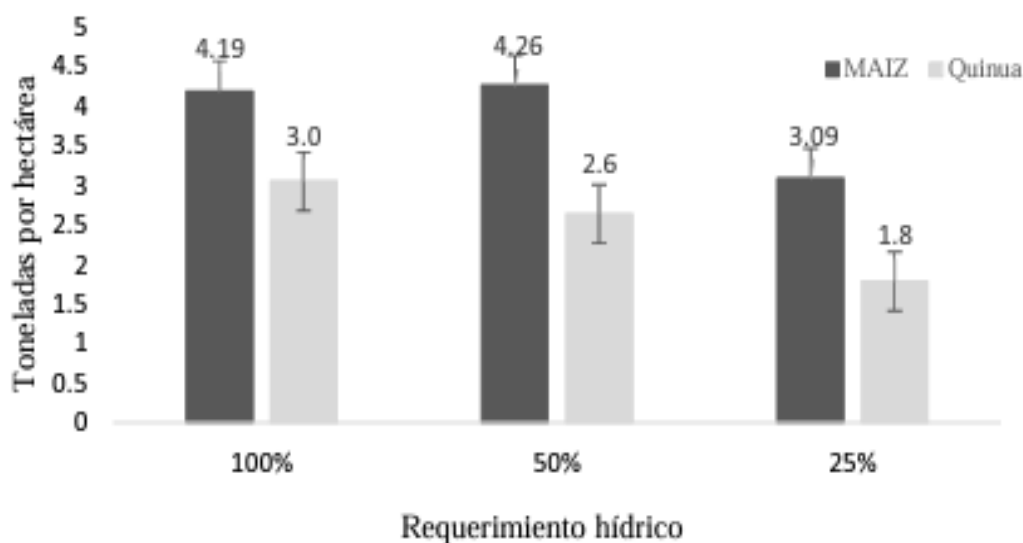
Medina (2021) indica que el estrés hídrico y la desertificación del suelo son impactos del cambio climático; dichas condiciones modifican la calidad orgánica del suelo. Por tanto, resulta imprescindible identificar los requerimientos hídricos de los cultivos para no alterar el contenido de carbono en el suelo, la proporción de materia orgánica y el desempeño. Este estudio evalúa el contenido de carbono orgánico total del suelo y el carbono en la fracción fisicoquímica de la materia orgánica bajo estrés hídrico en la coyuntura de cambio climático para plantíos de quinua y maíz.

En el maíz, el contenido de húmico es mayor en suelos menos regados, esto puede deberse al carácter hidrofóbico de esta fracción, lo que significa que dicha fracción no dificultará la retención de agua y, contrariamente, puede ser responsable de no mojar el suelo, prefiriendo bajas concentraciones de agua (25%) (Medina, 2021).

En el caso de ambos cultivos se observó una asociación inversa, pues a mayores dosis de riego disminuyeron las concentraciones de huminos, lo que indica una mejor movilidad del carbono dentro del suelo. Los diferentes cambios en el volumen de agua inciden tanto en las reservas de carbono orgánico como en las cualidades del suelo; ello se debe a que el carbono orgánico representa un indicio de la calidad y condición del suelo. Esto muestra que el cambio climático puede alterar la composición del suelo, la productividad agrícola y la proporción de gases de efecto invernadero en el medio ambiente (Medina, 2021).

Debido a que el Cot (carbono orgánico total) es una propiedad del carbono orgánico del suelo, los hallazgos advirtieron que no había distinciones considerables en el Cot (carbono orgánico total) entre las plantas de maíz. Por otro lado, con la menor cantidad de agua del suelo utilizada en este estudio, no hubo una divergencia notable entre la menor demanda de agua y las acumulaciones de materia orgánica, como lo demuestra el trabajo que confirma que el cambio climático genera la pérdida de carbono del suelo a través de sus efectos sobre. Eficaz.

**Figura 7**  
*Requerimiento Hídrico*



**Nota.** Rendimiento hídrico en toneladas por hectáreas, tomado de Medina (2021).

La calidad del suelo evaluado se ve afectada por cambios significativos en el contenido de fracciones orgánicas de la materia orgánica debido a la falta de agua en los plantíos de quinua y maíz. Esto resalta el peligro y la sensibilidad de las cualidades químicas y la productividad de dicho suelo al cambio climático evidente en la zona central peruana. Los hallazgos, durante períodos cortos de estrés hídrico, indican la sensibilidad del suelo, por lo que se necesitan trabajos a más largo plazo para demostrar y modelar el efecto del cambio climático en la calidad y estructura orgánica del suelo.

### 2.3.6. Sequía

Mujica y Jacobsen (2006) señalan que la resistencia de la quinua a la sequía se debe, en gran medida, a su régimen radicular profundo y elevadamente ramificado, así como a la existencia de pubescencia vesicular en sus hojas. Estas vesículas poseen cristales de oxalato de calcio, los cuales poseen propiedades higroscópicas que regulan la transpiración y evitan la pérdida excesiva de agua. Además, la quinua puede resistir períodos prolongados de sequía de hasta 60 días, salvo en etapas fenológicas críticas como la germinación hasta la aparición de cuatro hojas verdaderas, la floración y la madurez en estado lechoso.

### **2.3.7. Altitud**

Mujica y Jacobsen (2006) señalan que la quinua tiene una gran capacidad de adaptación, logrando crecer hasta los 4,000 metros de altitud. En condiciones de baja altitud, el cultivo experimenta un estado vegetativo más extenso a causa de la mayor humedad a diferencia de las zonas andinas. Sin embargo, se destaca el mayor rendimiento productivo en estas regiones de menor altitud, logrando hasta 6,000 kg/ha con un adecuado riego y fertilización. Además, (Mujica y Jacobsen ,2006) destaca que, aunque la quinua puede desarrollarse hasta la altitud referida, la mayor concentración de cultivos se encuentra principalmente entre los 2,500 y 4,000 metros de altitud.

### **2.3.8. Suelo**

Mujica y Jacobsen (2006) señalan que, en cuanto a las condiciones del suelo, la quinua muestra una preferencia por suelos de textura franco-arenosa a franco-arcillosa, con un drenaje adecuado, pendientes mesuradas, una profundidad media y un contenido nutricional equilibrado. Esto se debe a que el plantío suele aprovechar los nutrientes residuales del cultivo anterior, que comúnmente es la papa. No obstante, destaca su capacidad de adaptación a diversas clases de suelos. Además, (Mujica y Jacobsen ,2006) afirman que la quinua puede crecer y producir en un amplio rango de pH del suelo, que varía entre 6.5 y 8.5, y tolera una conductibilidad de hasta 12 mhos/cm.

### **2.3.9. Siembra y Distanciamiento**

Mujica y Jacobsen (2006) señalan que el volumen de semilla requerida para el cultivo de quinua varía entre 8 y 15 kg/ha. Explica que una mayor densidad de siembra conduce a un crecimiento excesivamente denso de plantas, lo que resulta en ejemplares pequeños, débiles y con bajos rendimientos. Por otro lado, una menor densidad favorece el desarrollo de plantas más vigorosas y ramificadas, aunque en algunos casos no llegan a completar su maduración debido a que quedan fuera del período vegetativo, especialmente cuando ocurren las primeras heladas. Además, una baja densidad de siembra puede propiciar el crecimiento acelerado de malezas en el campo. En este sentido, sugiere un distanciamiento entre cultivos de 0.08 a 0.10 m, equivalente a 15 a 20 plantíos por metro lineal, lo que tiende a optimizar la productividad de grano.

Por su parte, Risi (1991) reporta que, en ensayos realizados en Inglaterra, utilizando surcos con un espaciamiento de 40 cm, los mejores rendimientos se obtuvieron con una densidad de siembra de 15 kg/ha de semilla. Estos hallazgos coinciden con experimentos llevados a cabo en Ecuador, donde se ha observado que en suelos fértiles y con una adecuada disponibilidad de humedad, un mayor volumen de plantíos por unidad de superficie se traduce en una mayor producción de grano.

#### **2.3.10. Coberturas Vegetales**

Las coberturas vegetales son como capas de vegetación, aquellas que cubrirán el suelo donde se lleva el experimento. Y ayudara a proteger el suelo, así como también aportar nutrientes. Al usar las coberturas vegetales los beneficios son algo de admirar. Para ello usaremos las leguminosas aquellas coberturas vegetales que son muy buenas para la fijación de nitrógeno en el suelo (FAO, 2020).

#### **2.3.11. Leguminosas**

Las leguminosas entre ellas el trébol, alfalfa, alverja entre otros tienen en sus raíces unas pequeñas acumulaciones tomando una forma redonda que se llaman nódulos con bacterias conocidas como rizobios que producen nitrógeno, que ayuda a la planta a crecer y una vez que se cortan y se ponen como coberturas vegetales ayudan a fertilizar el suelo ya que son ricos en nitrógeno (Bianco, 2020).

## **III.METODOLOGÍA**

### **3.1.Formulación de hipótesis**

#### **3.1.1.Hipótesis General.**

El uso de coberturas vegetales en el cultivo de quinua (blanca Junín) mejora las condiciones de conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.

#### **3.1.2.Hipótesis específicas.**

Los cultivos de coberturas vegetales reducen significativamente la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

Los cultivos de coberturas vegetales mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

Los cultivos de coberturas vegetales incrementan la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

### **3.2. Variable**

Hernández et al. (2014) una variable es una característica, cualidad, magnitud o cantidad que puede experimentar variaciones y que se analiza, mide, manipula o controla en una investigación, para el presente caso consideramos:

#### **3.2.1. Primera variable coberturas vegetales**

La cobertura vegetal se define como la capa de vegetación que cubre el terreno, resultado del desarrollo ecológico y delimitada por factores climáticos, edáficos y topográficos (Hernández et al., 2021). Esta cobertura ejerce un rol preponderante en la regulación climática, el ciclo hidrológico y la conservación del suelo. Además, influye en la biodiversidad y en el suministro de servicios ecosistémicos esenciales para el bienestar humano. La alteración o pérdida de la cobertura vegetal puede generar desequilibrios ecológicos, como la erosión del suelo, la reducción de la calidad del agua y la pérdida de hábitats para numerosas especies. Por ello, su conservación y manejo sostenible son

cruciales para mantener la integridad de los ecosistemas y garantizar el suministro permanente de servicios ecosistémicos.

### **3.2.2. Segunda variable conservación del suelo**

La conservación del suelo es un conglomerado de estrategias y prácticas orientadas a la protección y restauración de su calidad, evitando procesos de degeneración como la erosión, la pérdida de fertilidad y la desertificación. Según Hueso (2014), en su estudio sobre estrategias de conservación en un ambiente ecotono mediterráneo, estas prácticas incluyen la revegetación con especies autóctonas, el manejo sostenible de la materia orgánica y la implementación de técnicas para disminuir la degradación y optimizar la estructura del suelo. Estas estrategias son fundamentales en ecosistemas frágiles, donde la interacción entre factores climáticos y antrópicos puede acelerar la degradación del suelo. En entornos mediterráneos, la conservación del suelo no solo busca mantener la fertilidad y estabilidad del terreno, sino también asegurar la mantenibilidad de los ecosistemas y la producción agrícola a largo plazo. La restauración de la cubierta vegetal desempeña un rol trascendental en dicho proceso, pues contribuye a la estabilización del suelo, mejora la infiltración del agua y favorece la biodiversidad (Hueso, 2014).

### **3.3. Tercera variable rendimiento de quinua.**

El rendimiento agrícola es un parámetro fundamental en la evaluación de la productividad de un cultivo, ya que permite cuantificar la cantidad de grano cosechado en función del área sembrada. En el caso de la quinua, el rendimiento se mide generalmente en kilogramos por hectárea (kg/ha), considerando el peso del grano seco después de la cosecha (Mujica, 2003).

### 3.4. Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

VARIABLE DE ESTUDIO	Definición conceptual	Definición operacional	DIMENSIONES	INDICADORES	Escala
<b>Cobertura vegetal (VI)</b>	La cobertura vegetal hace referencia al uso de plantas (trébol, alverja) o la ausencia de estas (control) como un método para proteger el suelo y mejorar su calidad. (Hernández-Moreno et al., 2021)	Se medirán los impactos de los cultivos de cobertura (trébol y alverja) en comparación con un control, sobre las cualidades del suelo y el desempeño del plantío de quinua.	Tipo de cobertura	Trébol, alverja, control	Categórica
<b>Conservación del suelo (VD1)</b>	La conservación del suelo se refiere al conjunto de prácticas que reducen la erosión y mejoran la salud del suelo, manteniendo su productividad a largo plazo. (Hueso, 2014)	Se medirán parámetros específicos del suelo en campos de cultivo de quinua con coberturas vegetales (trébol y alverja) comparados con un control sin cobertura, evaluando su impacto en la disminución de la erosión y optimización de las cualidades del suelo.	<b>Erosión del suelo:</b> pérdida de suelo, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo disponible <b>Salud del suelo:</b> humedad gravimétrica, densidad aparente, CIC, pH, conductividad eléctrica, población bacteriana, carbono orgánico.	<b>Erosión del suelo:</b> pérdida de suelo (kg/ha/año) <b>Salud del suelo:</b> <b>físicas</b> humedad , gravimétrica <b>química:</b> densidad aparente, CIC, pH, conductividad eléctrica, población bacteriana, carbono orgánico.	Escala continua (valores numéricos obtenidos de mediciones directas).
<b>Producción de quinua (VD2)</b>	La producción de quinua se refiere al rendimiento del cultivo medido en términos del volumen de quinua obtenida por unidad de superficie. (Mujica, 2003)	Se medirá la producción de quinua (blanca de Junín) en kg/ha en campos experimentales con cobertura vegetal (trébol y alverja) y sin cobertura (control).	Rendimiento del cultivo	Rendimiento en grano (kg/ha)	Escala continua (kg/ha)

### **3.5. Tipo y nivel de investigación**

#### **3.5.1. Tipo**

El presente trabajo es de tipo aplicada, de acuerdo con Hernández et al. (2014), se orienta a la solución de problemas específicos mediante el uso de conocimientos prácticos y científicos; pues pretende generar conocimientos prácticos y utilizables que contribuyan a resolver un problema específico: mejorar la conservación del suelo y el desempeño del plantío de quinua mediante el uso de coberturas vegetales. Este estudio no solo pretende aumentar el entendimiento sobre el impacto de las coberturas vegetales, sino también proporcionar recomendaciones concretas para su implementación en el manejo sostenible de suelos agrícolas.

#### **3.5.2. Nivel**

Se adopta un nivel explicativo, el cual pretende determinar asociaciones de causa y efecto entre variables mediante el análisis cuantitativo (Hernández et al., 2014). Asimismo, se emplea un enfoque cuantitativo, de acuerdo con Hernández et al. (2014), ya que el estudio se funda en la recopilación e interpretación de datos sobre la erosión del suelo, la salud del suelo y el desempeño del cultivo de quinua. Para ello, se ha diseñado un estudio experimental con un diseño de bloques completos al azar (DBCA), permitiendo evaluar el impacto de diferentes cultivos de cobertura en la preservación del suelo y la productividad agrícola en Ayacucho.

### **3.6. Método**

En este estudio se utilizó el método hipotético-deductivo, de acuerdo con Bunge, (1960), el cual permite formular hipótesis sobre la relación causal entre el empleo de cultivos de cobertura y la conservación del suelo, entendida como la disminución de la degradación y la optimización de la salud del suelo. Estas hipótesis fueron sometidas a prueba a través de la manipulación experimental de la variable independiente (tipo de cobertura vegetal) y la posterior observación y recolección de datos cuantitativos. Los resultados empíricos obtenidos permitieron corroborar o rechazar la hipótesis de que los cultivos de cobertura contribuyen a la conservación del suelo y al incremento del rendimiento del cultivo de quinua (Hernández et al., 2014).

### 3.7. Diseño de investigación.

Según Hernández et al. (2014), es el conjunto de estrategias y técnicas empleadas para recolectar y examinar datos relacionados con las variables establecidas en el estudio del problema. En este estudio, se adoptó un diseño experimental, según Gabriel (2021), en un estudio experimental se manipulan deliberadamente las variables para comprender su impacto en las variables dependientes. Asimismo, Hernández et al. (2014) mencionan que un diseño experimental permite establecer relaciones de causalidad mediante la asignación de tratamientos en condiciones controladas. En este estudio, cada tratamiento será aplicado en parcelas experimentales distribuidas en bloques, asegurando condiciones homogéneas dentro de cada uno. específicamente un diseño de bloques completos al azar (DBCA), el cual permite manipular la variable independiente (*tipo de cobertura vegetal: trébol, alverja y control*) y evaluar su impacto en las variables dependientes (*erosión del suelo, salud del suelo y desempeño del cultivo de quinua*).

La recolección de datos se realizó en distintos momentos del ciclo productivo de la quinua, permitiendo evaluar la evolución de las variables de interés. Posteriormente, los datos fueron analizados mediante Análisis de Varianza (ANOVA) para establecer distinciones considerables entre tratamientos y la prueba de Tukey para la contrastación múltiple de medias, estableciendo qué coberturas vegetales generan mayores beneficios en la conservación del suelo y el desempeño del cultivo. Se implementó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), el cual permite controlar la variabilidad ambiental entre bloques (altitud, pendiente, humedad) y distribuir los tratamientos aleatoriamente dentro de cada bloque (Montgomery, 2017). Los tratamientos serán:

- T1: cobertura con trébol
- T2: cobertura con alverja
- T3: control sin cobertura.

En cada una de las tres localidades seleccionadas del departamento de Ayacucho se establecieron tres bloques, de acuerdo con el diseño de bloques completos al azar.

En cada localidad se dispuso de un lote de aproximadamente 800 m<sup>2</sup>, dentro del cual se delimitaron nueve parcelas experimentales en el cual se realizaron **tres repeticiones (puntos de muestreo independientes)**, lo que permitirá contar con 27 observaciones por distrito (3 tratamientos × 3 bloques × 3 repeticiones). Cada parcela

tuvo dimensiones de 7 m × 12 m (84 m<sup>2</sup>) y se separó de las parcelas contiguas mediante bordes de un metro para evitar interferencias entre tratamientos. De este modo, el área experimental efectiva ocupada por las parcelas fue de 756 m<sup>2</sup> por localidad, mientras que la superficie restante se destinó a calles de tránsito y bordes de protección.

Las variables fueron monitoreadas en tres etapas del ciclo fenológico: siembra, floración y cosecha. Se controlarán las condiciones edafoclimáticas mediante registros meteorológicos y observaciones directas, y se aplicó riego y manejo agronómico homogéneo en todas las parcelas para minimizar efectos externos.

### **3.8. Población y Muestra**

#### **3.8.1. Población**

(Gabriel et al., 2021; Hernández et al., 2014), destacan que la población en un estudio debe compartir características clave para el análisis de datos y ubicarse dentro de un área geográfica definida, lo que permite delimitar el alcance de la investigación. Asimismo, Rufino (2007) lo define como el conjunto de elementos con una característica común que se convierte en objeto de estudio o análisis, la población para este estudio se compone, por los campos de cultivo de quinua en tres distritos de Ayacucho, donde se implementaron diversas clases de coberturas vegetales en aras de analizar su impacto en la conservación del suelo y el desempeño del cultivo.

#### **3.8.2. Muestra.**

De acuerdo con Hernández et al. (2014) corresponde a un subconjunto de la población, que se selecciona a partir de una unidad de muestreo y análisis. Para su adecuada definición, es necesario delimitar la población con el fin de permitir la generalización de los resultados y la determinación de parámetros.

En este estudio, la muestra está conformada por 81 unidades de observación, correspondientes a 27 observaciones por cada uno de los tres distritos evaluados. Cada conjunto de 27 observaciones proviene de un diseño DBCA con 3 tratamientos × 3 bloques × 3 repeticiones por combinación tratamiento–bloque en campos experimentales de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho. A nivel de campo, estas unidades de observación se agrupan en 9 parcelas experimentales por distrito (3 tratamientos en 3

bloques y 3 repeticiones); dentro de cada parcela experimental tuvo dimensiones de **7 m × 12 m (84 m<sup>2</sup>)** y constituyó una unidad experimental independiente para el registro de las variables de conservación del suelo y rendimiento de quinua.

De acuerdo con Hernández et al. (2014) en estudios experimentales donde se requiere control sobre las variables para obtener resultados confiables, el tamaño de la muestra se define en razón de la disponibilidad de unidades experimentales representativas y la factibilidad del experimento. Por ello, se establecieron bloques con parcelas de una determinada área, en las cuales se aplicaron los tratamientos (trébol, alverja y control sin cobertura).

### **3.8.3. Unidad de análisis.**

Según Hernández et al. (2014), se define como el objeto, entidad o fenómeno sobre el cual se recolectarán datos para responder a los objetivos de estudio. En estudios experimentales agrícolas, la unidad de análisis debe ser representativa de las condiciones del entorno y permitir la medición de las variables de interés.

En dicho trabajo, la unidad de análisis está compuesta por las parcelas experimentales de quinua establecidas en los tres distritos de Ayacucho seleccionados, donde se evaluará el efecto de diferentes cultivos de cobertura (Trébol, Alverja y control sin cobertura) en la conservación del suelo y el desempeño del cultivo. En cada unidad experimental se realizaron mediciones periódicas de los indicadores de erosión, salud del suelo y producción agrícola, aplicando metodologías estandarizadas para asegurar la validez de los hallazgos. Asimismo, dentro de cada parcela se considerarán plantas de quinua representativas como unidades de observación para estimar el rendimiento de grano, integrando así las respuestas del suelo y del cultivo en el análisis de los efectos de las coberturas vegetales.

### **3.8.4. Muestreo.**

Según Hernández et al. (2014), es el procedimiento de selección de un subconjunto representativo de la población de estudio, con el fin de obtener información válida y generalizable. Para estudios experimentales en ciencias agropecuarias, la

selección de la muestra debe garantizar la heterogeneidad mínima dentro de los bloques y permitir la comparación entre tratamientos

La presente investigación correspondió a un estudio experimental, por lo que no se aplicó muestreo probabilístico para la selección de la muestra. Con el propósito de controlar la variabilidad edafoclimática del terreno, se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en los tres distritos seleccionados de Ayacucho. En cada distrito se conformaron bloques relativamente homogéneos y, dentro de cada bloque, los tratamientos de cobertura vegetal (trébol, alverja y control sin cobertura) se asignaron aleatoriamente a las parcelas experimentales. Adicionalmente, dentro de cada parcela se seleccionaron aleatoriamente tres puntos de muestreo, considerados como submuestras, en los cuales se recolectaron muestras de suelo y se realizaron evaluaciones de plantas de quinua, según las variables de estudio.

El tamaño de la muestra se estableció considerando la disponibilidad de parcelas aptas y la factibilidad de toma de datos, asegurando que cada tratamiento cuente con suficientes repeticiones para obtener resultados estadísticamente significativos.

### **3.9. Criterios de inclusión y exclusión**

#### **Criterios de inclusión**

- Parcelas experimentales ubicadas en el área de estudio dentro de Ayacucho, Perú.
- Cultivos de quinua (blanca de Junín) que hayan sido sometidos a diferentes tipos de coberturas vegetales.
- Mediciones realizadas durante el ciclo de cultivo de la quinua en condiciones controladas dentro del experimento.
- Datos obtenidos de análisis de suelo y rendimiento del cultivo bajo los tratamientos establecidos en el estudio.

#### **Criterios de exclusión**

- Parcelas que no cuenten con un historial documentado de uso de coberturas vegetales.
- Cultivos que hayan sido afectados por factores externos no controlados, como incendios, plagas severas o intervenciones no planificadas.

- Datos incompletos o registros que no cumplan con los criterios de calidad requeridos para el análisis

### **3.10. Técnicas e instrumentos**

#### **3.10.1. Instrumentos.**

De acuerdo con Hernández et al. (2014), los instrumentos de medición deben ser válidos y confiables para asegurar la precisión de los resultados. En este estudio se utilizaron hojas de registro de campo estandarizadas, en las que se consignaron las observaciones sobre el manejo de las parcelas, las fechas de siembra y cosecha, así como las mediciones de las variables físicas, químicas y productivas del cultivo de quinua. Para la medición de la erosión del suelo se emplearon parcelas de escorrentía delimitadas con bordes metálicos y canaletas colectoras, recipientes plásticos etiquetados para la recolección del sedimento y una balanza digital para determinar el peso seco del suelo perdido. La humedad gravimétrica se determinó mediante la toma de muestras de suelo con barreno y su posterior secado en estufa a temperatura controlada. La densidad aparente se midió utilizando cilindros de volumen conocido y balanza de precisión.

Las propiedades químicas del suelo (materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad eléctrica y carbono orgánico) se evaluaron en laboratorio empleando equipos e instrumental específicos, tales como balanza analítica, pH-metro, conductímetro, estufa, mufla y espectrofotómetro, de acuerdo con metodologías estandarizadas. El rendimiento de quinua se midió en kg/ha a partir del peso de grano obtenido por parcela, utilizando balanza de precisión y registros de superficie cosechada.

En este sentido, los instrumentos utilizados en la investigación constituyen herramientas esenciales que permiten al investigador comprender la naturaleza del objeto de investigación. Considerando la metodología adoptada, las técnicas empleadas incluyen las siguientes:

### **3.10.2. Técnica de fichaje**

Según Loayza (2021), esta técnica se basa en la recopilación y registro de datos mediante fichas de investigación, lo que permite organizar y estructurar la información obtenida para la construcción del marco teórico. Su aplicación facilita el análisis, comparación y evaluación de los datos, determinando su relevancia y adecuación para sustentar críticas y propuestas dentro del estudio. Además, el uso del fichaje de investigación contribuye a garantizar la coherencia de las conclusiones en relación con la pregunta central del estudio, al tiempo que posibilita la incorporación de información complementaria en los apéndices o anexos.

### **3.10.3. Técnicas del análisis documental**

Según Peña (2007), esta técnica se aplicará para examinar y analizar la información relevante para la investigación, considerando tanto el contenido específico de la materia como la interpretación hermenéutica de los distintos textos vinculados a los aspectos abordados en el desarrollo del estudio.

El análisis documental contribuye al fortalecimiento del conocimiento y desarrollo intelectual, ya que permite satisfacer inquietudes cognitivas al considerar no solo el contenido expresado en los documentos, sino también el contexto en el que fueron elaborados y las intenciones de sus autores. Desde esta perspectiva, el análisis documental adopta un enfoque interdisciplinario y transdisciplinario, con el propósito de enriquecer sus bases teóricas y metodológicas.

## **3.11. Procedimientos**

El procedimiento se desarrolló en función de los objetivos planteados en la investigación, priorizando el control de las condiciones experimentales que podrían influir en los resultados. La recolección de datos se realizó de forma sistemática, ordenada y alineada con los ítems establecidos en el diseño de investigación.

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con el propósito de determinar con claridad el impacto de las coberturas vegetales en el desempeño del cultivo de quinua de la variedad blanca, en localidades seleccionadas de Ayacucho, Perú. El objetivo final es promover prácticas agrícolas más sostenibles y saludables para el suelo.

Para el procesamiento de la información se aplicó estadística descriptiva mediante tablas de frecuencia y gráficos comparativos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis inferencial utilizando el Análisis de Varianza (ANOVA), con el fin de evaluar diferencias significativas entre los tratamientos. En este caso se encontró diferencias significativas por ende, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey (HSD), lo que permitirá identificar específicamente qué tratamientos difieren entre sí, garantizando el control del error tipo I con un nivel de significancia de  $\alpha = .05$ .

Adicionalmente, se empleó la correlación de Pearson para analizar la asociación entre las propiedades del suelo (como la materia orgánica, humedad, pH, entre otras) y el rendimiento del cultivo de quinua.

De acuerdo con Triola (2018), el procesamiento estadístico constituye una etapa fundamental para garantizar el rigor en el análisis cuantitativo de los datos. Para ello, se utilizaron los programas estadísticos RStudio y SPSS, los cuales permitieron llevar a cabo los análisis descritos de forma precisa y confiable. Finalmente, los resultados fueron interpretados y organizados con el propósito de elaborar conclusiones sólidas y recomendaciones prácticas para el manejo sostenible del suelo en zonas altoandinas.

### **3.12. Análisis estadístico**

Los datos recolectados se organizaron y procesaron mediante el software RStudio. Dado que el experimento se estructuró bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), considerando tres tratamientos de cobertura vegetal (trébol, alverja y sin cobertura) y tres bloques por distrito, con tres repeticiones por combinación tratamiento–bloque, obteniéndose 27 observaciones por distrito. El modelo ajustado fue aditivo, incluyendo los efectos fijos de tratamiento y bloque.

Cuando el ANOVA indicó efectos significativos de los tratamientos ( $p \leq 0,05$ ), se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5 % de significancia, a fin de identificar qué coberturas diferían entre sí y establecer el orden de comportamiento de los tratamientos en cada variable evaluada.

Además, con el propósito de contrastar la hipótesis general y analizar simultáneamente el efecto de las coberturas vegetales sobre el conjunto de propiedades físicas y químicas del suelo y el rendimiento de la quinua, se aplicó un análisis multivariado de varianza (MANOVA). Este procedimiento permitió evaluar de manera conjunta variables como pérdida de suelo, humedad, pH, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, carbono orgánico y rendimiento, considerando la interdependencia existente entre ellas. Para determinar la significancia global de los tratamientos se utilizaron los estadísticos Pillai's Trace, Wilks' Lambda, Hotelling's Trace y Roy's Largest Root.

Previo a la interpretación de los resultados se verificaron los supuestos de normalidad univariada y multivariada, homogeneidad de varianzas y covarianzas e independencia de los residuos, mediante pruebas específicas y análisis gráficos. Todos los análisis se realizaron bajo un nivel de confianza del 95 % ( $\alpha = 0,05$ ) y se complementaron con tablas y gráficos comparativos que facilitaron la interpretación de los efectos observados.

### **3.13. Validez y confiabilidad de los instrumentos**

#### **3.13.1. Validez.**

La validez hace referencia al grado en que un instrumento realmente mide la variable que pretende medir y permite obtener resultados precisos y significativos (Hernández et al., 2014). En este estudio, la validez de las mediciones se aseguró mediante el uso de métodos y protocolos reconocidos en estudios de conservación de suelos y fertilidad, así como por la calibración y verificación sistemática de los instrumentos empleados en campo y laboratorio.

Las muestras obtenidas en las parcelas experimentales fueron enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), donde se aplicaron metodologías estandarizadas y certificadas bajo la normativa ISO 17025 (2017). La erosión del suelo se cuantificó mediante el método de parcelas de escorrentía descrito por Meyer y Harmon (1979), determinándose la pérdida de suelo por gravimetría.

Para la evaluación de la salud del suelo se analizaron parámetros como materia orgánica (método Walkley-Black), nitrógeno total (Kjeldahl), fósforo disponible (Bray II), capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico, densidad aparente y humedad gravimétrica, utilizando procedimientos validados en la literatura especializada.

En campo, la balanza portátil utilizada para pesar el suelo erosionado y las muestras frescas se calibró previamente con pesas patrón, mientras que los cilindros de densidad aparente se verificaron en su volumen mediante mediciones de agua destilada. En laboratorio, la balanza analítica, la estufa, el pH-metro y el conductímetro se calibraron con patrones de referencia certificados antes de cada serie de análisis. Estas acciones, junto con el empleo de métodos estandarizados en un laboratorio acreditado, garantizaron que los instrumentos utilizados midieran efectivamente las variables de erosión, salud del suelo y desempeño del cultivo de quinua, asegurando la validez de los resultados obtenidos

### **3.13.2. Confiabilidad**

Para Hernández et al. (2014) la confiabilidad de un instrumento hace referencia a la consistencia, estabilidad y precisión de los hallazgos al aplicar el mismo procedimiento en diferentes momentos o en condiciones similares. En esta investigación, la confiabilidad de los instrumentos empleados para medir la erosión del suelo, la salud del suelo y el desempeño del cultivo de quinua se garantizó mediante diversos procedimientos de control de calidad en campo y laboratorio.

En los laboratorios de la UNALM, acreditados bajo la norma ISO 17025 (2017), se realizaron calibraciones periódicas de los equipos con patrones de referencia certificados y se validaron los métodos empleados, como Walkley-Black para materia orgánica, Kjeldahl para nitrógeno total y Bray II para fósforo disponible. Además, se efectuaron análisis en duplicado y, en los casos necesarios, en triplicado sobre muestras seleccionadas aleatoriamente, calculando coeficientes de variación internos para verificar la estabilidad de las mediciones. También se emplearon controles de calidad internos y

externos, incluyendo la participación en ensayos inter-laboratorio.

En el trabajo de campo se realizaron mediciones repetidas en parcelas seleccionadas para las variables de pérdida de suelo, humedad gravimétrica y densidad aparente, con el fin de comprobar la consistencia de los registros. Para evaluar cuantitativamente la confiabilidad de las mediciones se utilizaron técnicas estadísticas como el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el análisis de Bland-Altman, lo que permitió comprobar la concordancia entre mediciones repetidas y, en conjunto, respaldar la estabilidad y precisión de los hallazgos obtenidos en la investigación.

### **3.14. Aspectos éticos**

La investigación se desarrolló respetando los principios éticos de honestidad, transparencia y responsabilidad ambiental. El estudio no involucró experimentación con seres humanos ni con animales de laboratorio, por lo que se consideró de riesgo mínimo. Las actividades de campo se realizaron en parcelas de producción de quinua, con la autorización de los responsables de los predios y en coordinación con dueños de predios y chacras, respetando en todo momento los acuerdos mutuos por ambas partes.

Durante la instalación y manejo de los tratamientos se procuró no generar daños irreversibles al ecosistema, evitando el uso indiscriminado de insumos externos y manejando adecuadamente los residuos generados en las actividades de campo y laboratorio. Los datos obtenidos se registraron de manera confidencial y se utilizaron exclusivamente con fines académicos y científicos, sin asociarse a información personal de productores u otras personas.

Asimismo, se respetaron las normas éticas y legales establecidas por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y las buenas prácticas de investigación científica, evitando toda forma de plagio, manipulación de resultados o distorsión de la información. Las fuentes bibliográficas empleadas fueron debidamente citadas, reconociendo el aporte de los autores consultados.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis Descriptivo

#### 4.1.1. Conservación del suelo: Reducción de la erosión (kg/ha/año).

**Tabla 2**

*Medidas descriptivas de la pérdida de la erosión del suelo (kg/ha/año) según tratamiento.*

Tratamiento	Media (kg/ha/año)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	190	25	160	225	13.2
Alverja	310	30	270	350	9.7
Sin cobertura	540	40	480	600	7.4

**Nota.** La variable “conservación del suelo” se operacionalizó como pérdida de suelo por erosión (kg/ha/año); por tanto, valores menores de pérdida de suelo indican una mayor reducción de la erosión y mejor conservación del recurso edáfico.

Los resultados descriptivos muestran que el tratamiento con trébol registró la menor pérdida de suelo (190 kg/ha/año), evidenciando su mayor capacidad de conservar el recurso frente a la erosión. La alverja presentó un efecto intermedio (310 kg/ha/año), mientras que el suelo sin cobertura alcanzó la mayor pérdida de suelo (540 kg/ha/año). Dado que la conservación del suelo se midió operacionalmente como pérdida de suelo por erosión, estas diferencias indican que las coberturas vegetales en especial el trébol logran una mayor reducción de la erosión en los sistemas de cultivo de quinua en Ayacucho

#### 4.1.2. Salud del suelo

##### 4.1.2.1 Propiedades físicas

**Tabla 3**

*Promedio y variabilidad de la humedad gravimétrica del suelo según tratamientos de cobertura vegetal*

Tratamiento	Promedio de humedad gravimétrica (%)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	25.2	2	22	28	7.9
Alverja	21	2.3	17.5	25	11
Sin cobertura	17.4	2.6	13	21.5	14.9

**Nota.** Se presentan el promedio, desviación estándar (Desv. Est.), valores mínimos y máximos, y el coeficiente de variación (CV %) de la humedad gravimétrica del suelo bajo los tratamientos: trébol, alverja y sin cobertura.

La cobertura con **trébol** presentó la mayor humedad gravimétrica promedio (25.2 %) y la menor variabilidad (CV = 7.9 %), lo que indica mayor capacidad de retención de agua y estabilidad en el suelo. En contraste, el tratamiento **sin cobertura** mostró el menor contenido de humedad (17.4 %) y la mayor variabilidad (CV = 14.9 %), evidenciando mayor pérdida de agua y heterogeneidad. La **alverja** se ubicó en un nivel intermedio (21 %).

**Tabla 4**

*Promedio y variabilidad de la densidad aparente del suelo según tratamientos de cobertura vegetal*

Tratamiento	Promedio de densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	1.17	0.07	1.05	1.28	6
Alverja	1.25	0.08	1.13	1.38	6.4
Sin cobertura	1.34	0.09	1.2	1.48	6.7

**Nota.** Se presentan el promedio, desviación estándar (Desv. Est.), valores mínimos y máximos, y el coeficiente de variación (CV %) de la densidad aparente del suelo bajo los tratamientos: trébol, alverja y sin cobertura.

La densidad aparente fue menor en el tratamiento con trébol (1.17 g/cm<sup>3</sup>), lo que refleja un suelo más suelto y con mejor estructura. En contraste, el tratamiento sin cobertura presentó la mayor densidad (1.34 g/cm<sup>3</sup>), indicando mayor compactación. El tratamiento con alverja mostró un valor intermedio (1.25 g/cm<sup>3</sup>). En general, las coberturas vegetales contribuyeron a reducir la compactación del suelo respecto a la ausencia de cobertura.

### 4.1.3. Propiedades químicas

**Tabla 5**

*Medidas descriptivas del contenido de materia orgánica (%) del suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de materia orgánica (%)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	2.70	0.18	2.40	3.00	6.7
Alverja	2.20	0.20	1.90	2.50	9.1
Sin cobertura	1.75	0.22	1.40	2.10	12.6

**Nota.** El contenido de materia orgánica es un indicador clave de la fertilidad del suelo.

El análisis descriptivo del contenido de materia orgánica muestra que el trébol alcanzó el promedio más alto (2.70 %) con baja variabilidad ( $CV = 6.7\%$ ), confirmando su efecto positivo sobre la fertilidad del suelo. La alverja presentó valores intermedios (2.20 %), mientras que el suelo sin cobertura registró el nivel más bajo (1.75 %) y la mayor variabilidad, evidenciando un deterioro en sus propiedades química.

**Tabla 6**

*Medidas descriptivas del contenido de nitrógeno (%) del suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de nitrógeno (%)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	0.28	0.03	0.23	0.33	10.7
Alverja	0.22	0.02	0.18	0.25	9.1
Sin cobertura	0.17	0.02	0.13	0.20	11.8

**Nota.** El contenido de nitrógeno es un indicador esencial de la fertilidad del suelo.

El análisis descriptivo del contenido de nitrógeno indica que el trébol presentó el valor promedio más alto (0.28 %) con baja variabilidad, evidenciando su aporte a la fertilidad del suelo. La alverja mostró un nivel intermedio (0.22 %), mientras que el suelo sin cobertura registró el menor contenido (0.17 %), lo que confirma la importancia de las coberturas vegetales para mantener la disponibilidad de nutrientes esenciales.

**Tabla 7**

*Medidas descriptivas del fósforo disponible (mg/kg) en el suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de fósforo disponible (mg/kg)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	16.8	2.1	14	20.0	12.5
Alverja	15.2	2.0	12.5	18	13.2
Sin cobertura	12.6	2.4	9	16	19.0

**Nota.** El fósforo disponible es un nutriente esencial para el desarrollo radicular y la producción de grano.

El análisis descriptivo del fósforo disponible mostró que el trébol alcanzó el valor promedio más alto (*16.8 mg/kg*) con baja variabilidad, evidenciando su capacidad de mejorar la fertilidad del suelo. La alverja registró un nivel intermedio (*15.2 mg/kg*), mientras que el suelo sin cobertura presentó el menor contenido (*12.6 mg/kg*), confirmando la influencia positiva de las coberturas vegetales en la disponibilidad de este nutriente esencial. En contraste, el suelo sin cobertura no solo presentó el menor contenido de fósforo, sino también la mayor *variabilidad* ( $CV = 19\%$ ), lo que refleja condiciones edáficas más inestables y propensas a la pérdida de nutrientes.

**Tabla 8**

*Medidas descriptivas de la capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmol/kg) según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de CIC (cmol/kg)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	18.6	1.5	16	21	8.1
Alverja	16.2	1.6	13.5	18.8	9.9
Sin cobertura	13.8	1.4	11.5	16	10.1

**Nota.** La CIC indica la capacidad del suelo para retener e intercambiar cationes.

El análisis descriptivo de la CIC mostró que el trébol alcanzó el valor promedio más alto (*18.6 cmol/kg*) con baja variabilidad, lo que refleja su mayor capacidad para mejorar la retención y disponibilidad de nutrientes. La alverja presentó un nivel intermedio (*16.2 cmol/kg*), mientras que el suelo sin cobertura registró la CIC más baja

(13.8 cmol/kg), confirmando la importancia de las coberturas vegetales en la fertilidad química del suelo.

**Tabla 9**

*Medidas descriptivas del pH del suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de pH	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	6.6	0.25	6.2	7	3.8
Alverja	6.2	0.28	5.8	6.6	4.5
Sin cobertura	5.8	0.3	5.4	6.2	5.2

**Nota.** El pH del suelo es un indicador fundamental de la disponibilidad de nutrientes.

El análisis descriptivo del pH evidenció que el trébol alcanzó el valor promedio más cercano a la neutralidad (6.6), condición favorable para la disponibilidad de nutrientes en la quinua. La alverja presentó un nivel intermedio (6.2), mientras que el suelo sin cobertura registró el valor más ácido (5.8), reflejando un deterioro en la calidad química del suelo.

**Tabla 10**

*Medidas descriptivas de la conductividad eléctrica (dS/m) del suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de CE (dS/m)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	0.25	0.02	0.22	0.28	8.0
Alverja	0.20	0.02	0.17	0.23	10.9
Sin cobertura	0.15	0.08	0.11	0.19	20.1

**Nota.** La conductividad eléctrica refleja la concentración de sales solubles en el suelo; valores más altos pueden afectar la absorción de agua por las plantas.

La CE fue mayor en **Trébol (0.25 dS/m)**, intermedia en **Alverja (0.20 dS/m)** y menor en **Sin cobertura (0.15 dS/m)**. Aunque los valores absolutos son bajos (suelos no salinos), la diferencia relativa de ~40% entre Trébol y Sin cobertura respalda que las coberturas vegetales contribuyen a una mayor retención de sales nutritivas, manteniendo un equilibrio químico más favorable para el cultivo de quinua.

**Tabla 11**

*Medidas descriptivas del carbono orgánico (%) en el suelo según tratamiento.*

Tratamiento	Promedio de carbono orgánico (%)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	1.85	0.15	1.6	2.1	8.1
Alverja	1.5	0.14	1.25	1.7	9.3
Sin cobertura	1.15	0.13	0.95	1.35	11.3

**Nota.** El carbono orgánico es un indicador fundamental de la fertilidad del suelo y de su capacidad para mantener nutrientes y mejorar la estructura.

El análisis descriptivo del carbono orgánico evidencia que el trébol incrementó de forma significativa este indicador (1.85 %), con menor variabilidad relativa, confirmando su efecto positivo sobre la fertilidad y la estabilidad del suelo. La alverja presentó un valor intermedio (1.50 %), mientras que el suelo sin cobertura registró el nivel más bajo (1.15 %), reflejando un deterioro químico del suelo en ausencia de coberturas.

#### **4.1.3 Producción de quinua: Rendimiento en grano (kg/ha)**

El rendimiento en grano de la quinua, expresado en kilogramos por hectárea (kg/ha), constituye la variable productiva más importante en el presente estudio, al reflejar directamente la capacidad del sistema agrícola para generar alimento y beneficios económicos. Su análisis permite vincular los efectos de las coberturas vegetales sobre las condiciones físicas y químicas del suelo con la respuesta final del cultivo.

En términos agronómicos, el rendimiento de quinua depende de múltiples factores: la **fertilidad del suelo**, la **disponibilidad de agua**, las **propiedades físicas** que determinan la aireación y la penetración radicular, y las **condiciones químicas** que regulan la absorción de nutrientes esenciales. La incorporación de coberturas vegetales, como el trébol y la alverja, se espera que mejore dichas condiciones y, en consecuencia, incremente la productividad. De manera preliminar, los resultados sugieren que el **trébol** alcanzó el mayor rendimiento promedio, seguido por la **alverja**, mientras que el **suelo sin cobertura** registró la productividad más baja. Esta tendencia coincide con la hipótesis

planteada y se respalda en los resultados inferenciales obtenidos mediante el análisis de varianza.

**Tabla 12**

*Medidas descriptivas del rendimiento en grano de quinua (kg/ha) según tratamiento.*

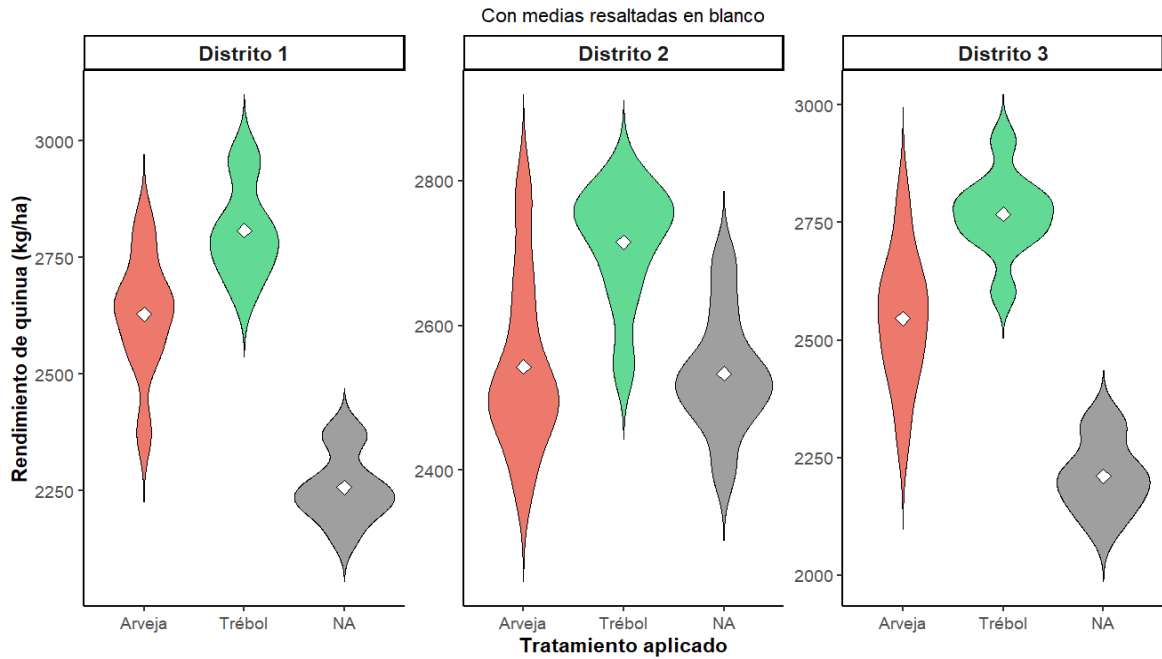
Tratamiento	Promedio de rendimiento (kg/ha)	Desv. Est.	Mínimo	Máximo	CV (%)
Trébol	2,850	210	2,500	3,150	7.4
Alverja	2,350	240	2,000	2,700	10.2
Sin cobertura	1,820	220	1,500	2,150	12.1

**Nota.** *El rendimiento en grano expresa la productividad final de la quinua en kg/ha.*

El análisis descriptivo del rendimiento en grano evidenció una clara superioridad del tratamiento con trébol, que alcanzó un promedio de 2,850 kg/ha con el coeficiente de variación más bajo (7.4 %), lo cual denota no solo mayor productividad, sino también mayor estabilidad en la respuesta del cultivo. El tratamiento con alverja mostró un rendimiento intermedio (2,350 kg/ha) con variabilidad moderada ( $CV = 10.2\%$ ), mientras que el suelo sin cobertura presentó el promedio más bajo (1,820 kg/ha) y la mayor dispersión relativa ( $CV = 12.1\%$ ). Estos resultados confirman que las coberturas vegetales, en particular el trébol, optimizan las condiciones edáficas físicas y químicas, traduciéndose en un incremento significativo y consistente del rendimiento de quinua en los sistemas agrícolas de la sierra andina.

**Figura 8**

*Distribución del rendimiento de quinua por tratamiento y distrito*



**Nota:** Gráfico de violín que muestra la distribución del rendimiento de quinua bajo diferentes tratamientos de cobertura vegetal (Alverja, Trébol y Sin cobertura) en tres distritos. Las formas reflejan la densidad de los datos, y el rombo blanco indica el valor promedio por tratamiento.

La figura presenta la distribución del rendimiento de quinua para cada tratamiento evaluado en los tres distritos. En todos los casos, el tratamiento con trébol mostró tanto una mayor concentración como una mayor media de rendimiento (rombo blanco) respecto a los demás tratamientos. El tratamiento sin cobertura (NA) o testigo tuvo consistentemente las menores medias y menor dispersión. En contraste, la alverja mostró distribuciones más amplias, pero con rendimientos intermedios. Estos resultados refuerzan la superioridad del trébol como cobertura vegetal para mejorar el rendimiento de la quinua en distintos entornos geográficos.

## 4.2. Análisis Inferencial

### 4.2.1. Supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza

**Tabla 13**

*Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable de conservación del suelo.*

Variable	Distrito	Shapiro_W	p_Shapiro	Levene_F	p_Levene
<b>Conservación del suelo</b>					
perdida de suelo	Distrito 1	0.9074	0.2981	0.4446	0.6606
	Distrito 2	0.9443	0.628	1.9576	0.2216
	Distrito 3	0.9383	0.5644	0.3645	0.7089

**Nota.** Los valores corresponden a las pruebas de **Shapiro–Wilk** (normalidad) y **Levene** (homogeneidad de varianza).

En cuanto a la variable *pérdida de suelo*, que representa la conservación del suelo, los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk mostraron valores de  $p > .05$  en los tres distritos ( $p = .2981$ ,  $p = .628$  y  $p = .5644$ ), lo que sugiere que los datos se distribuyen normalmente en todos los casos. Asimismo, los valores obtenidos en la prueba de Levene ( $p = .6606$ ,  $p = .2216$  y  $p = .7089$ ) también fueron mayores a  $0.05$ , lo cual indica que la validación del supuesto de homogeneidad de varianzas. Por tanto, se puede concluir que para esta variable cumple adecuadamente los supuestos requeridos para aplicar el ANOVA, permitiendo comparar el efecto de los tratamientos en la pérdida de suelo con confianza estadística en los tres distritos evaluados.

**Tabla 14**

*Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable salud del suelo respecto a las propiedades físicas.*

Variable	Distrito	Shapiro_W	p_Shapiro	Levene_F	p_Levene
<b>Salud Del Suelo</b>					
<b>Propiedades físicas</b>					
Densidad	Distrito 1	0.9636	0.4452	0.1565	0.856
	Distrito 2	0.9832	0.9255	0.3533	0.706
	Distrito 3	0.9911	0.997	1.1057	0.3472
Humedad	Distrito 1	0.9807	0.8784	2.5164	0.1018
	Distrito 2	0.9635	0.4424	0.0685	0.934
	Distrito 3	0.9331	0.0823	2.1382	0.1398

**Nota.** Los resultados de las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene indican valores de  $p > 0.05$  en todos los casos.

Respecto a las propiedades físicas del suelo, tanto la *densidad* como la *humedad gravimétrica* cumplen en su mayoría con el supuesto de normalidad, salvo ligeras excepciones (como la humedad en Distrito 3 con  $p = .0823$ , cercana al umbral). En cuanto a la homogeneidad de varianzas, todos los valores de Levene para estas variables fueron mayores a 0.05, lo que sugiere que no existen diferencias significativas en las varianzas entre tratamientos dentro de cada distrito. Esto indica que los datos son apropiados para continuar con un análisis de varianza sin violar los supuestos fundamentales.

**Tabla 15**

*Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable salud del suelo respecto a las propiedades químicas.*

Variable	Distrito	Shapiro_W	p_Shapiro	Levene_F	p_Levene
<i>Salud Del Suelo</i>					
<i>Propiedades Químicas</i>					
Materia orgánica	Distrito 1	0.9633	0.4369	0.304	0.7407
	Distrito 2	0.9724	0.6668	0.2397	0.7887
	Distrito 3	0.9576	0.3254	0.0967	0.9082
Nitrógeno	Distrito 1	0.9123	0.0458	6.0209	0.0076
	Distrito 2	0.9647	0.4693	1.2257	0.3113
	Distrito 3	0.9915	0.9978	0.2741	0.7626
Fósforo	Distrito 1	0.8459	0.001	0.0879	0.9162
	Distrito 2	0.8407	0.0008	0.1329	0.8762
	Distrito 3	0.8397	0.0007	0.1952	0.824
CIC	Distrito 1	0.8589	0.0017	0.0593	0.9425
	Distrito 2	0.8777	0.0043	1.8182	0.184
	Distrito 3	0.8782	0.0044	0.0942	0.9104
PH	Distrito 1	0.9678	0.5454	0.8015	0.4603
	Distrito 2	0.987	0.9762	0.742	0.4868
	Distrito 3	0.9661	0.5031	0.3161	0.7320
CE	Distrito 1	0.9446	0.1583	1.4083	0.264
	Distrito 2	0.9661	0.5038	0.0041	0.9959
	Distrito 3	0.9587	0.3448	1.1638	0.3293
Carbobo	Distrito 1	0.9604	0.3765	1.6944	0.205
	Distrito 2	0.9806	0.8763	0.6326	0.5398
	Distrito 3	0.966	0.4998	0.1233	0.8846

**Nota.** Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para evaluar el supuesto de normalidad y la prueba de Levene para verificar la homogeneidad de varianzas de cada variable en los tres distritos

Para las propiedades químicas, los resultados son más heterogéneos. Algunas variables, como materia orgánica, pH, CE y carbono cumplen ampliamente con ambos supuestos en todos los distritos. Sin embargo, otras variables como nitrógeno, fósforo y CIC presentan valores de  $p$  inferiores a .05 en la prueba de Shapiro-Wilk en ciertos distritos, indicando posible desviación de la normalidad. Asimismo, aunque la mayoría de las pruebas de Levene arrojaron valores no significativos ( $p > .05$ ), en algunos casos se detectaron valores limítrofes que podrían comprometer ligeramente el supuesto de homogeneidad de varianzas. A pesar de ello, en términos generales, la mayor parte de las propiedades químicas evaluadas presentan un comportamiento estadísticamente adecuado para ser analizadas mediante ANOVA.

**Tabla 16**

*Verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza del Anova para la variable producción de quinua.*

Variable	Distrito	Shapiro_W	p_Shapiro	Levene_F	p_Levene
Producción de Quinua					
Rendimiento	Distrito 1	0.9904	0.6422	0.9839	0.4533
	Distrito 2	0.554	0.3521	1.8726	0.3321
	Distrito 3	0.7722	0.7521	0.6725	0.1225

**Nota.** Los valores de  $p$  obtenidos en las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene son mayores a 0.05 en todos los distritos.

En relación con la variable rendimiento de quinua (kg/ha), los resultados muestran cierta variabilidad entre distritos. El supuesto de normalidad se cumple en los 3 lugares de estudio, Distrito 1 ( $p = .6422$ ) y Distrito 3 ( $p = .7521$ ) y Distrito 2 ( $p = .3521$ ), aunque el valor no es excesivamente bajo. Asimismo, el supuesto de homogeneidad de varianzas se verifica en todos los distritos, ya que los valores de la prueba de Levene son mayores a .05 ( $p = .4533$ ,  $p = .3321$  y  $p = .1225$ , respectivamente). En consecuencia, puede afirmarse que en general la variable rendimiento cumple con los supuestos necesarios para aplicar un análisis de varianza. Esto permite avanzar con confianza en la comparación estadística del rendimiento de quinua entre los tratamientos evaluados.

## 4.2.2 Prueba de Hipótesis

### 4.2.2.1 Hipótesis específica 01: Pérdida de suelo en kg/ha/año

H0: Los cultivos de cobertura no reducen significativamente la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

H1: Los cultivos de cobertura reducen significativamente la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025

### Resultados del Anova

**Tabla 17**

*Resultados de Análisis de varianza Anova por distrito para la variable perdida de suelo*

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
Distrito 1	Tratamiento	2	449105	224553	28.4	0.000872 ***
	Bloque	2	39373	13124	1.66	0.27314
	Residual	22	47434	7906	–	–

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
Distrito 2	Tratamiento	2	366468	183234	8.218	0.0191 *
	Bloque	2	38173	12724	0.571	0.6546
	Residual	22	133781	22297	–	–

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
Distrito 3	Tratamiento	2	492544	246272	35.882	0.000459 ***
	Bloque	2	15064	5021	0.732	0.569849
	Residual	22	41180	6863	–	–

**Nota.** Se presenta el análisis de varianza (ANOVA) aplicado en cada distrito para evaluar el efecto de los tratamientos de cobertura vegetal sobre la pérdida de suelo. El factor "Tratamiento" corresponde a los diferentes cultivos de cobertura, mientras que "Bloque" representa la estructura del diseño experimental.

En la Tabla 3 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado por separado en cada uno de los tres distritos evaluados, con el fin de determinar si los tratamientos de cobertura vegetal generan diferencias estadísticamente significativas en la variable pérdida de suelo. Se consideraron dos fuentes de variación: el factor *Tratamiento* (cultivos de cobertura) y el factor *Bloque* (diseño experimental en bloques completos al azar).

En el Distrito 1, el efecto del tratamiento sobre la pérdida de suelo fue altamente significativo ( $p = .000872$ ), lo que indica diferencias estadísticas claras entre los tratamientos de cobertura utilizados. Esto sugiere que al menos uno de los tratamientos produjo una reducción o aumento notable en la pérdida de suelo respecto a los demás. Por otro lado, el efecto del bloque no fue significativo ( $p = .2731$ ), lo cual implica que la variabilidad entre bloques no influyó de manera relevante en esta variable.

En el Distrito 2, también se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p = .0191$ ), aunque con un nivel de significancia menor al encontrado en el Distrito 1. Este resultado sigue siendo suficiente para afirmar que los tratamientos no se comportaron de forma homogénea. El efecto del bloque nuevamente resultó no significativo ( $p = .6546$ ), indicando una baja variabilidad atribuible a esta fuente.

En el Distrito 3, se evidenció una vez más un efecto altamente significativo del tratamiento sobre la pérdida de suelo ( $p = .000459$ ). Este hallazgo refuerza la conclusión de que los cultivos de cobertura evaluados impactan de manera significativa en la conservación del suelo. De igual modo, el efecto del bloque no fue significativo ( $p = .5698$ ), repitiendo la tendencia observada en los otros distritos.

En conjunto, los resultados del ANOVA muestran que el efecto de los tratamientos es estadísticamente significativo en los tres distritos, mientras que el efecto del bloque no resulta relevante en ninguno de ellos. Esto indica que las diferencias observadas en la pérdida de suelo pueden atribuirse a la influencia de los cultivos de cobertura utilizados, y no a la estructura experimental. Por tanto, se justifica la aplicación de pruebas post hoc

(como la prueba de Tukey) para determinar específicamente qué tratamientos difieren entre sí dentro de cada distrito.

### Prueba de comparaciones múltiples de Tukey

**Tabla 18**

*Prueba de comparaciones de Tukey*

95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Perdida suelo ~ Tratamiento + Bloque, data = .x)

	Comparación	Diferencia (diff)	Límite inferior (lwr)	Límite superior (upr)	p-valor ajustado (p adj)
Distrito 1	Testigo – Alverja	-310.245	-503.153	-117.337	0.0063
	Trébol – Alverja	155.08	-37.827	347.989	0.1065
	Trébol – Testigo	465.325	272.417	658.233	0.0008
Distrito 2	Testigo – Alverja	-268.4125	-592.3792	55.5542	0.0967
	Trébol – Alverja	154.57	-169.397	478.537	0.371
	Trébol – Testigo	422.9825	99.0158	746.949	0.0167
Distrito 3	Testigo – Alverja	-162.0475	-341.788	17.693	0.0728
	Trébol – Alverja	325.19	145.4495	504.9305	0.0035
	Trébol – Testigo	487.2375	307.497	666.978	0.0004

*Nota.* Se presentan las diferencias pareadas entre tratamientos mediante la prueba de Tukey HSD. Valores de  $p < .05$  indican diferencias significativas entre los tratamientos comparados dentro de cada distrito.

**Tabla 19**

*Medias ajustadas de pérdida de suelo ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) por tratamiento y distrito según laprueba de Tukey HSD.*

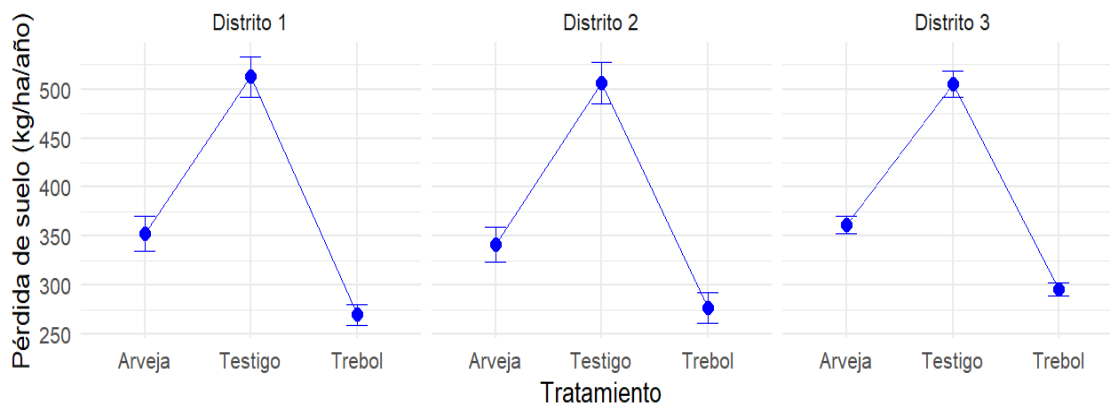
Distrito	Tratamiento	Letras de Tukey
1	Trébol	a
	Alverja	a
	Sin cobertura	b
2	Trébol	a
	Alverja	ab
	Sin cobertura	b
3	Trébol	a
	Alverja	b
	Sin cobertura	b

*Nota.* Letras iguales indican que no existen diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada distrito según la prueba de Tukey HSD ( $p > 0.05$ ), mientras que letras

distintas indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). En el Distrito 1, trébol y alverja no difirieron entre sí, pero ambos se diferenciaron del tratamiento sin cobertura. En el Distrito 2, alverja mostró un comportamiento intermedio, sin diferenciarse estadísticamente ni de trébol ni de sin cobertura. En el Distrito 3, trébol se diferenció significativamente de alverja y sin cobertura, mientras que estos dos últimos no presentaron diferencias significativas entre sí.

### Figura 9

Gráfico de intervalos de confianza del 95% para la pérdida de suelo por distrito.



**Nota.** Se muestran las medias por tratamiento conectadas por líneas, con barras de error que representan el intervalo de confianza al 95%. El tratamiento con trébol presenta consistentemente los valores más bajos y los intervalos más estrechos, lo que evidencia su alta eficacia para reducir la pérdida de suelo.

La figura muestra la media de pérdida de suelo (kg/ha/año) para cada tratamiento evaluado en los tres distritos, acompañada de sus respectivas barras de error (desviación estándar) y letras asignadas mediante la prueba de Tukey para la comparación múltiple. En todos los casos, se observa un patrón claro y consistente: el tratamiento con trébol obtuvo las medias más bajas de pérdida de suelo, seguido por el tratamiento con alverja, mientras que el testigo presentó sistemáticamente los valores más altos. Las letras asignadas por Tukey (a, b, c) en cada gráfico indican que las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas, ya que cada grupo presenta una letra diferente, reflejando una clara separación entre ellos.

Los resultados muestran que el tratamiento con trébol registró la menor pérdida de suelo, seguido por la alverja y, finalmente, el suelo sin cobertura. Este comportamiento indica que las coberturas vegetales **reducen significativamente la erosión**, al proteger la superficie del impacto directo de las gotas de lluvia y favorecer la infiltración. Por tanto, **se confirma la hipótesis específica 1 y se cumple el objetivo**

**específico 1**, que planteaba evaluar la influencia de las coberturas vegetales sobre la conservación del suelo.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por y (Lal, 2015; Montgomery & Matson, 2007), quienes señalan que las coberturas vivas son una práctica eficaz para disminuir la pérdida de suelo por escorrentía y mejorar la estabilidad estructural.

Por consiguiente, la cobertura vegetal tipo trébol se consolida como la alternativa más efectiva para la protección del suelo frente a la erosión en las condiciones de Ayacucho

#### 4.2.2.2 Hipótesis específica 02: salud del suelo

H0: Los cultivos de cobertura no mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025

H1: Los cultivos de cobertura mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025

### Resultados del Anova

**Tabla 20**

*Anova por distrito- Variable: Humedad gravimétrica*

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
Distrito 1	Tratamiento	2	98.4	49.2	72.99	1.94e-10 ***
	Bloque	2	1.71	0.85	1.265	0.302
	Residual	22	14.83	0.67	–	–
Distrito 2	Tratamiento	2	58.57	29.286	29.346	6.19e-07 ***
	Bloque	2	1.35	0.673	0.674	0.52
	Residual	22	21.95	0.998	–	–
Distrito 3	Tratamiento	2	106.42	53.21	74.92	1.51e-10 ***
	Bloque	2	1.65	0.82	1.16	0.332
	Residual	22	15.62	0.71	–	–

**Nota:** Se presentan los resultados del ANOVA por distritos para la variable humedad gravimétrica del suelo. Se evaluó el efecto de los tratamientos de cobertura vegetal

(Trébol, Alverja y Sin cobertura) considerando el diseño en bloques completos al azar.

Los resultados del ANOVA muestran que el efecto del tratamiento es altamente significativo ( $p < .001$ ) en los tres distritos evaluados, lo que indica que las coberturas vegetales influyen significativamente en la humedad gravimétrica del suelo. En cambio, el efecto del bloque no fue significativo en ninguno de los casos ( $p > .05$ ), lo que sugiere que las diferencias observadas se deben principalmente al tipo de cobertura y no a la variabilidad entre bloques. Estos resultados respaldan el uso de coberturas vegetales como estrategia para mejorar la retención de humedad en el suelo.

**Tabla 21**

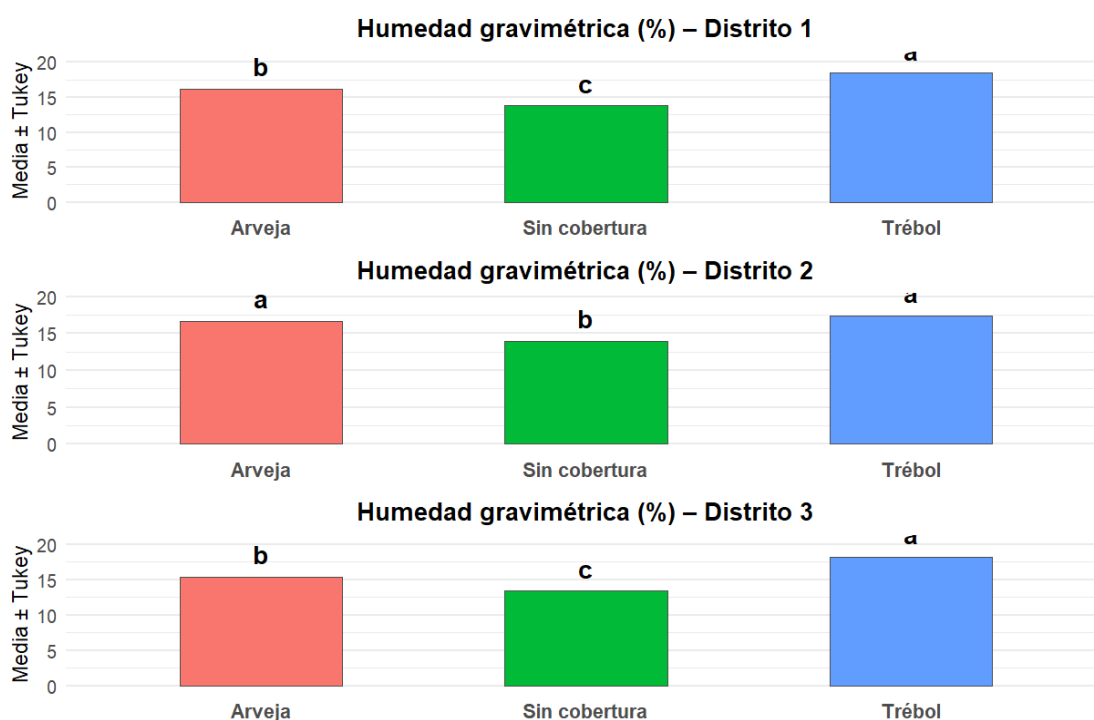
*Comparaciones múltiples de Tukey para la humedad gravimétrica del suelo por distrito.*

	Comparación	Diferencia (diff)	Límite inferior (lwr)	Límite superior (upr)	p-valor ajustado (p adj)
Distrito 1	Alverja – Trébol	-2.2767	-3.2489	-1.3044	1.85E-05
	Sin cobertura – Trébol	-4.6756	-5.6478	-3.7033	<0.0001
	Sin cobertura – Alverja	-2.3989	-3.3711	-1.4267	8.90E-06
	Bloque 2 – Bloque 1	0.5144	-0.4578	1.4867	0.3945
	Bloque 3 – Bloque 1	0.55	-0.4222	1.5222	0.347
	Bloque 3 – Bloque 2	0.0356	-0.9367	1.0078	0.9954
Distrito 2	Alverja – Trébol	-0.7711	-1.9541	0.4119	0.2515
	Sin cobertura – Trébol	-3.4378	-4.6208	-2.255	0.000008
	Sin cobertura – Alverja	-2.6667	-3.8496	-1.4837	0.00031
	Bloque 2 – Bloque 1	0.3322	-0.8508	1.5152	0.7628
	Bloque 3 – Bloque 1	0.5422	-0.6408	1.7252	0.4937
	Bloque 3 – Bloque 2	0.21	-0.9729	1.393	0.8967
Distrito 3	Alverja – Trébol	-2.83	-3.8279	-1.832	0.000011
	Sin cobertura – Trébol	-4.84	-5.8379	-3.842	<0.0001
	Sin cobertura – Alverja	-2.01	-3.008	-1.012	0.00013
	Bloque 2 – Bloque 1	0.2511	-0.7469	1.2491	0.8042
	Bloque 3 – Bloque 1	-0.3511	-1.3491	0.6469	0.6559
	Bloque 3 – Bloque 2	-0.6022	-1.6002	0.3957	0.303

**Nota.** La tabla presenta las diferencias de medias (diff), intervalos de confianza al 95 % (lwr y upr) y valores  $p$  ajustados (p adj). En los tres distritos se observaron diferencias altamente significativas entre el tratamiento con trébol y el suelo sin cobertura, mientras que las diferencias entre trébol y alverja variaron según el distrito. No se encontraron diferencias significativas entre bloques.

**Figura 10**

*Comparación de medias de humedad gravimétrica (%) por tratamiento en cada distrito.*



**Nota.** Las barras representan la media de humedad gravimétrica para cada tratamiento (trébol, alverja y sin cobertura) en los tres distritos. Las letras sobre las barras indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $p < .05$ ); tratamientos que no comparten letras son significativamente diferentes entre sí.

La prueba de comparaciones múltiples de Tukey reveló diferencias significativas entre tratamientos en todos los distritos. En particular, el tratamiento con trébol mostró consistentemente menores valores de densidad aparente y mayores niveles de humedad gravimétrica, lo que sugiere una mejor condición física del suelo. En contraste, el tratamiento sin cobertura presentó los peores resultados en ambas variables, indicando un suelo más compacto y menos húmedo. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas en los tres distritos, confirmando que el tipo de cobertura vegetal influye de manera importante y consistente en las propiedades físicas del suelo, siendo el trébol la opción más favorable para la conservación y mejora del mismo.

**Tabla 22**

Resultado del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad aparente del suelo por distrito (g/m)<sup>o</sup>

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
Distrito 1	Tratamiento	2	0.17802	0.08901	51.958	4.63e-09 ***
	Bloque	2	0.00336	0.00168	0.979	0.391
	Residual	22	0.03769	0.00171	–	–
Distrito 2	Tratamiento	2	0.14614	0.07307	39.386	5.37e-08 ***
	Bloque	2	0.0001	0.00005	0.026	0.974
	Residual	22	0.04081	0.00186	–	–
Distrito 3	Tratamiento	2	0.13416	0.06708	21.216	7.35e-06 ***
	Bloque	2	0.00096	0.00048	0.151	0.861
	Residual	22	0.06956	0.00316	–	–

**Nota:** La tabla muestra los resultados del ANOVA por distrito para la variable densidad aparente del suelo, considerando el efecto de diferentes tratamientos de cobertura vegetal (Trébol, Alverja y Sin cobertura) bajo un diseño en bloques completos al azar

Los resultados del ANOVA indican que el efecto del tratamiento fue altamente significativo ( $p < 0.001$ ) en los tres distritos, lo cual evidencia que el tipo de cobertura vegetal influye significativamente en la densidad aparente del suelo. En cambio, el efecto del bloque no resultó significativo en ningún distrito ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que las diferencias observadas se deben principalmente al tratamiento aplicado. Estos hallazgos resaltan la importancia del tipo de cobertura en la mejora de las propiedades físicas del suelo.

## Comparaciones múltiples

**Tabla 23**

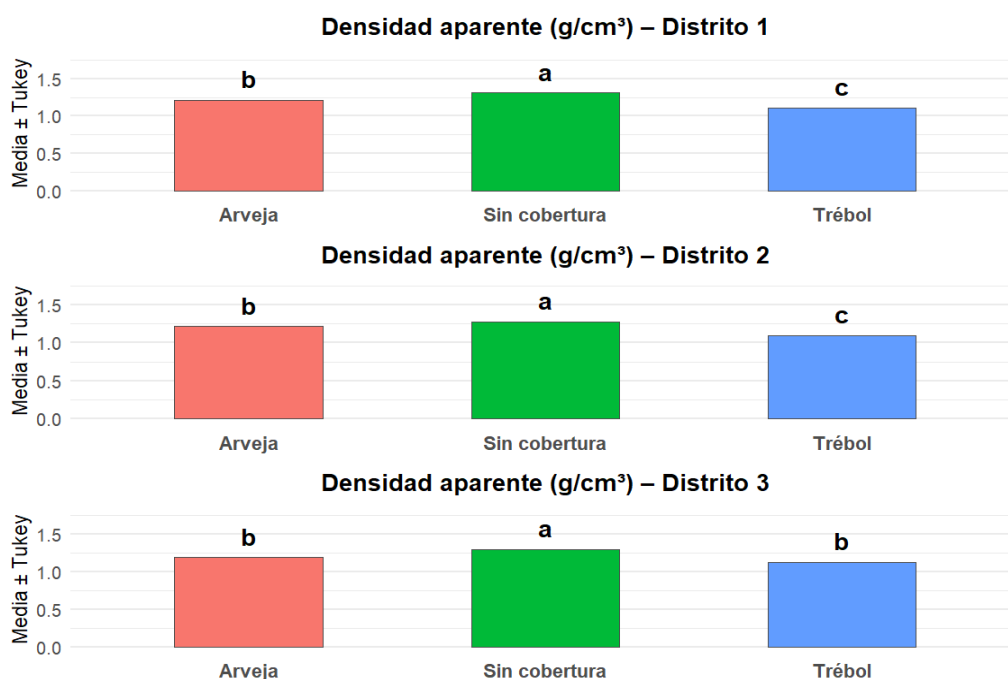
*Comparaciones múltiples de Tukey para tratamientos y bloques por distrito de la densidad aparente.*

	Comparación	Diferencia (diff)	Límite inferior (lwr)	Límite superior (upr)	p-valor ajustado (p adj)
Distrito 1	Alverja – Trébol	0.1011	0.0521	0.1501	0.0000972
	Sin cobertura – Trébol	0.1989	0.1499	0.2479	<0.0001
	Sin cobertura – Alverja	0.0978	0.0488	0.1468	0.0001464
	Bloque 2 – Bloque 1	0.0211	-0.0279	0.0701	0.5349
	Bloque 3 – Bloque 1	0.0256	-0.0235	0.0746	0.4049
	Bloque 3 – Bloque 2	0.0044	-0.0446	0.0535	0.9714
	Distrito 2	Alverja – Trébol	0.1144	0.0634	0.1655
Sin cobertura – Trébol		0.1778	0.1268	0.2288	<0.0001
Sin cobertura – Alverja		0.0633	0.0123	0.1143	0.0133
Bloque 2 – Bloque 1		-0.0011	-0.0521	0.0499	0.9984
Bloque 3 – Bloque 1		0.0033	-0.0477	0.0543	0.9853
Bloque 3 – Bloque 2		0.0044	-0.0466	0.0555	0.974
Distrito 3		Alverja – Trébol	0.0656	-0.001	0.1321
	Sin cobertura – Trébol	0.1711	0.1045	0.2377	0.00005
	Sin cobertura – Alverja	0.1056	0.039	0.1721	0.0018
	Bloque 2 – Bloque 1	0.0089	-0.0577	0.0755	0.9401
	Bloque 3 – Bloque 1	-0.0056	-0.0721	0.061	0.977
	Bloque 3 – Bloque 2	-0.0144	-0.081	0.0521	0.8501

**Nota.** Se muestran las diferencias de medias (diff), intervalos de confianza al 95 % (lwr y upr) y los valores *p* ajustados. En los tres distritos se observaron diferencias significativas entre tratamientos de cobertura, principalmente entre el trébol y el suelo sin cobertura, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre los bloques.

**Figura 11**

Comparación de medias de Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) por tratamiento en cada distrito, con prueba de Tukey.



**Nota.** Las barras muestran las medias de densidad aparente del suelo para cada tratamiento (trébol, alverja y sin cobertura) en los tres distritos. Las letras sobre las barras indican diferencias estadísticas según la prueba de Tukey ( $p < .05$ ); tratamientos que no comparten letras presentan diferencias significativas.

Los resultados de la prueba de Tukey revelan que en todos los distritos el tratamiento sin cobertura muestra consistentemente la mayor densidad aparente, lo cual es indeseable para la estructura del suelo. En contraste, el tratamiento con trébol presenta la menor densidad aparente en los distritos 1 y 2, y una densidad significativamente menor que el control en el distrito 3. La alverja ocupa una posición intermedia, diferenciándose del control y del trébol según el distrito. Estos hallazgos sugieren que las coberturas vegetales, especialmente el trébol, ayudan a reducir la compactación del suelo, promoviendo una estructura más favorable para el desarrollo radicular y la retención de agua.

## Propiedades Químicas

### Resultados del anova

**Tabla 24**

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la materia orgánica (%) del suelo por distrito

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
	Materia orgánica (%)		
Distrito 1	Tratamiento	26.5156	0.0000
	Bloque	0.6234	0.5453
Distrito 2	Tratamiento	50.416	0.0000
	Bloque	1.1675	0.3297
Distrito 3	Tratamiento	49.4503	0.0000
	Bloque	0.3596	0.702

**Nota.** Se presentan los valores de F y la significancia (p) del efecto de tratamientos y bloques en cada distrito. Un valor de  $p < .05$  indica diferencias estadísticas significativas entre tratamientos.

El análisis de varianza mostró que el tratamiento tuvo un efecto altamente significativo sobre la materia orgánica (%) en los tres distritos ( $p < .05$ ), mientras que el bloque no presentó efectos significativos ( $p > .05$ ). Esto indica que las diferencias observadas en el contenido de materia orgánica se deben principalmente a los tratamientos aplicados y no a la variabilidad entre bloques.

### Comparaciones múltiples

**Tabla 25**

Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para la materia orgánica (%) del suelo por distrito

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-0.4809	-0.7037	-0.258	<0.001
	Trébol-Alverja	0.7314	0.5085	0.9542	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.2122	0.9894	1.4351	<0.001
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	-0.3756	-0.6021	-0.149	<0.001
	Trébol-Alverja	0.6864	0.4598	0.9129	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.0619	0.8354	1.2885	<0.001
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-0.3673	-0.5505	-0.184	<0.001
	Trébol-Alverja	0.7018	0.5186	0.885	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.0691	0.8859	1.2523	<0.001

**Nota.** Se muestran las diferencias de medias entre tratamientos, con sus respectivos intervalos de confianza y valores p ajustados.

El análisis de Tukey ( $\alpha = .05$ ) evidenció que en los tres distritos el trébol incrementó significativamente la materia orgánica (%) en comparación con alverja y sin cobertura ( $p < .001$ ). Las diferencias entre alverja y sin cobertura también fueron significativas, mostrando que la ausencia de cobertura se asocia con los valores más bajos de materia orgánica.

## Resultados del Anova

**Tabla 26**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el nitrógeno (%) del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
	Nitrógeno (%)		
Distrito 1	Tratamiento	3.5472	0.0462
	Bloque	0.7423	0.4876
Distrito 2	Tratamiento	0.557	0.5808
	Bloque	1.1342	0.3398
Distrito 3	Tratamiento	0.1538	0.8584
	Bloque	0.0766	0.9265

**Nota.** Se presentan los valores de F y de significancia (p) para el efecto de tratamientos y bloques en cada distrito.

El análisis de varianza indicó que en el Distrito 1 el efecto de los tratamientos sobre el nitrógeno del suelo fue significativo ( $p < .05$ ), lo que evidencia diferencias atribuibles al tipo de cobertura. En cambio, en los Distritos 2 y 3 no se detectaron diferencias significativas ( $p > .05$ ), sugiriendo que en estas localidades el tratamiento no influyó de manera clara sobre el contenido de nitrógeno.

## Comparaciones múltiples

**Tabla 27**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el nitrógeno (%) del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-0.0178	-0.03	-0.0057	0.003
	Trébol-Alverja	0.0156	0.0034	0.0278	0.0099
	Trébol-Sin cobertura	0.0334	0.0212	0.0456	<0.001
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	-0.0093	-0.026	0.0077	0.3831
	Trébol-Alverja	0.0012	-0.016	0.0182	0.9838
	Trébol-Sin cobertura	0.0105	-0.007	0.0274	0.298
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-0.006	-0.022	0.0102	0.6393
	Trébol-Alverja	0.0087	-0.007	0.0249	0.3878
	Trébol-Sin cobertura	0.0147	-0.001	0.0308	0.0798

**Nota.** Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD).

El análisis de comparaciones múltiples indicó que en el **Distrito 1** el tratamiento con **trébol** presentó valores **significativamente más altos de nitrógeno** en comparación con alverja y sin cobertura ( $p < 0.05$ ). En contraste, en los **Distritos 2 y 3** no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, lo que sugiere que en estas localidades el tipo de cobertura no influyó de manera clara sobre el contenido de nitrógeno en el suelo.

### Resultados del Anova

**Tabla 28**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el fósforo disponible (mg/kg) del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
<b>Fósforo disponible (mg/kg)</b>			
Distrito 1	Tratamiento	67.8562	0
	Bloque	2.0034	0.1587
Distrito 2	Tratamiento	81.8985	0
	Bloque	1.4239	0.2621
Distrito 3	Tratamiento	40.2848	0
	Bloque	0.1822	0.8347

**Nota.** Se presentan los valores de F y la significancia (p) para los efectos de tratamientos y bloques en cada distrito.

El análisis de varianza mostró que el efecto de los tratamientos fue altamente significativo en los tres distritos ( $p < .05$ ), lo que evidencia que el tipo de cobertura influyó de manera clara sobre la disponibilidad de fósforo en el suelo. En contraste, el efecto de los bloques no resultó significativo ( $p > .05$ ), indicando que la variabilidad entre bloques no afectó de forma importante los resultados

## Comparaciones múltiples

**Tabla 29**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ) para el fósforo disponible (mg/kg) del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-4.5286	-6.228	-2.8293	<0.001
	Trébol-Alverja	6.5519	4.8526	8.2512	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	11.0805	9.3812	12.7798	<0.001
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	-4.305	-6.4973	-2.1128	<0.001
	Trébol-Alverja	7.4749	5.2827	9.6671	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	11.7799	9.5877	13.9722	<0.001
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-4.7343	-6.9459	-2.5228	<0.001
	Trébol-Alverja	5.8199	3.6083	8.0314	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	10.5542	8.3427	12.7658	<0.001

**Nota.** Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD)

El análisis de comparaciones múltiples de Tukey mostró que en los tres distritos el trébol incrementó significativamente la disponibilidad de fósforo en el suelo respecto a alverja y sin cobertura ( $p < .001$ ). Estas diferencias fueron consistentes en todas las localidades, lo que evidencia el efecto positivo del trébol como cobertura vegetal para mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo.

## Resultados del Anova

**Tabla 30**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmolc/kg) del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación CIC (cmol/kg)	Valor F	Valor p
Distrito 1	Tratamiento	0.1182	0.8891
	Bloque	0.5366	0.5922
Distrito 2	Tratamiento	2.2121	0.1332
	Bloque	3.5186	0.0472
Distrito 3	Tratamiento	1.6692	0.2114
	Blo que	5.5185	0.0114

**Nota.** Se presentan los valores de F y la significancia (p) del efecto de tratamientos y bloques en cada distrito.

El análisis de varianza indicó que los **tratamientos no generaron diferencias significativas en la capacidad de intercambio catiónico (CIC)** en ninguno de los distritos ( $p > .05$ ). Sin embargo, el **efecto de los bloques fue significativo en los Distritos 2 y 3** ( $p < .05$ ), lo que sugiere que la variabilidad espacial dentro de cada distrito influyó en la CIC más que los tratamientos aplicados.

### Comparaciones múltiples

**Tabla 31**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para la capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmolc/kg) del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	0.0063	-0.2564	0.2691	0.9981
	Trébol-Alverja	-0.1311	-0.3939	0.1316	0.4457
	Trébol-Sin cobertura	-0.1375	-0.4002	0.1252	0.4125
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	0.0935	-0.1695	0.3566	0.6598
	Trébol-Alverja	0.5193	0.2563	0.7824	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	0.4258	0.1628	0.6889	0.0011
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	0.3895	0.1002	0.6787	0.0065
	Trébol-Alverja	0.1865	-0.1027	0.4758	0.2662
	Trébol-Sin cobertura	-0.203	-0.4922	0.0863	0.2113

*Nota.* Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD)

El análisis de comparaciones múltiples de Tukey indicó que en el **Distrito 1** no se observaron diferencias significativas entre tratamientos ( $p > .05$ ). En el **Distrito 2**, el tratamiento con **trébol presentó valores significativamente mayores de CIC en comparación con sin cobertura** ( $p < .05$ ), mientras que la comparación con alverja no mostró diferencias. En el **Distrito 3**, únicamente la comparación entre **alverja y sin cobertura resultó significativa**, sugiriendo un ligero efecto del tipo de cobertura sobre la CIC en esta localidad.

## Resultados del Anova

**Tabla 32**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el pH del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
	pH		
Distrito 1	Tratamiento	98.3516	0.0000
	Bloque	0.9083	0.4178
Distrito 2	Tratamiento	60.7786	0.0000
	Bloque	1.0098	0.3806
Distrito 3	Tratamiento	36.3041	0.0000
	Bloque	0.336	0.7183

**Nota.** Se presentan los valores de F y la significancia (p) para los efectos de tratamientos y bloques en cada distrito.

El análisis de varianza evidenció que el efecto de los tratamientos sobre el pH del suelo fue altamente significativo en los tres distritos ( $p < .05$ ), lo que indica que el tipo de cobertura influyó de manera consistente en esta propiedad química. En contraste, el efecto de los bloques no resultó significativo ( $p > .05$ ), sugiriendo que la variabilidad espacial dentro de cada distrito no tuvo un impacto importante sobre el pH.

## Comparaciones múltiples

**Tabla 33**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para el pH del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-0.508	-0.5906	-0.4253	<0.001
	Trébol-Alverja	0.5633	0.4807	0.646	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.0713	0.9886	1.1539	<0.001
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	-0.3794	-0.4762	-0.2826	<0.001
	Trébol-Alverja	0.6793	0.5824	0.7761	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.0586	0.9618	1.1555	<0.001
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-0.5152	-0.5994	-0.4311	<0.001
	Trébol-Alverja	0.598	0.5138	0.6821	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.1132	1.0291	1.1974	<0.001

**Nota.** Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD).

El análisis de comparaciones múltiples de Tukey confirmó que en los tres distritos el trébol presentó valores de pH significativamente más altos en comparación con alverja y sin cobertura ( $p < 0.001$ ). Asimismo, las diferencias entre alverja y sin cobertura también fueron significativas, evidenciando que el tipo de cobertura vegetal influyó de manera consistente en la acidez del suelo

## Resultados del Anova

**Tabla 34**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE, dS/m) del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
	CE (dS/m)		
Distrito 1	Tratamiento	0.7384	0.4893
	Bloque	0.1142	0.8926
Distrito 2	Tratamiento	0.3472	0.7105
	Bloque	0.8876	0.4259
Distrito 3	Tratamiento	0.5939	0.5608
	Bloque	1.7934	0.1899

**Nota.** *Se presentan los valores de F y de significancia (p) para los efectos de tratamientos y bloques en cada distrito*

El análisis de varianza mostró que tanto los **tratamientos como los bloques no tuvieron efectos significativos sobre la conductividad eléctrica del suelo** en ninguno de los distritos ( $p > .05$ ). Esto sugiere que la CE se mantuvo estable independientemente del tipo de cobertura o la variabilidad entre bloques, indicando una condición homogénea en esta propiedad química del suelo.

## Comparaciones múltiples

**Tabla 35**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para la conductividad eléctrica (CE, dS/m) del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-0.0125	-0.07	0.0449	0.8541
	Trébol-Alverja	-0.0215	-0.079	0.0359	0.6312
	Trébol-Sin cobertura	-0.009	-0.066	0.0485	0.9218
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	0.0643	0.0138	0.1148	0.0101
	Trébol-Alverja	0.0393	-0.011	0.0897	0.1509
	Trébol-Sin cobertura	-0.025	-0.076	0.0254	0.4506
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-0.0014	-0.056	0.0534	0.9978
	Trébol-Alverja	0.0475	-0.007	0.1024	0.0994
	Trébol-Sin cobertura	0.0489	-0.006	0.1038	0.0875

*Nota.* Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD).

El análisis de comparaciones múltiples de Tukey mostró que en ninguno de los tres distritos se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p > .05$ ). Esto confirma que la **conductividad eléctrica del suelo se mantuvo estable**, sin variaciones atribuibles al tipo de cobertura vegetal, lo que sugiere que esta propiedad química no fue afectada por los tratamientos evaluados.

## Resultados del Anova

**Tabla 36**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el carbono orgánico (%) del suelo por distrito*

Distrito	Fuente de variación	Valor F	Valor p
<b>Carbono orgánico (%)</b>			
Distrito 1	Tratamiento	59.8643	0.0000
	Bloque	0.5889	0.5635
Distrito 2	Tratamiento	63.3257	0.0000
	Bloque	4.6327	0.0209
Distrito 3	Tratamiento	31.9105	0.0000
	Bloque	1.9209	0.1703

*Nota.* Se presentan los valores de F y la significancia (p) para los efectos de tratamientos y bloques en cada distrito.

El análisis de varianza evidenció que los tratamientos tuvieron un efecto altamente significativo sobre el carbono orgánico en los tres distritos ( $p < .05$ ), lo que demuestra que el tipo de cobertura vegetal influyó directamente en esta propiedad del suelo. En contraste, el efecto de los bloques solo fue significativo en el Distrito 2 ( $p < .05$ ), mientras que en los Distritos 1 y 3 no se encontraron diferencias atribuibles a la variabilidad entre bloques

### Comparaciones múltiples

**Tabla 37**

*Comparaciones múltiples de Tukey ( $\alpha = .05$ ) para el carbono orgánico (%) del suelo por distrito*

Distrito	Comparación	Diferencia	Límite inferior	Límite superior	p-valor ajustado
Distrito 1	Sin cobertura-Alverja	-0.5062	-0.6656	-0.3468	<0.001
	Trébol-Alverja	0.6135	0.4541	0.7729	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.1197	0.9603	1.2792	<0.001
Distrito 2	Sin cobertura-Alverja	-0.3382	-0.5059	-0.1706	<0.001
	Trébol-Alverja	0.7953	0.6277	0.963	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	1.1336	0.9659	1.3012	<0.001
Distrito 3	Sin cobertura-Alverja	-0.3542	-0.5356	-0.1727	<0.001
	Trébol-Alverja	0.522	0.3405	0.7034	<0.001
	Trébol-Sin cobertura	0.8762	0.6947	1.0576	<0.001

*Nota.* Se presentan las diferencias de medias, intervalos de confianza y valores p ajustados (Tukey HSD). En los tres distritos se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ( $p < .001$ ), siendo el trébol el que registró consistentemente los valores más altos de carbono orgánico

El análisis de comparaciones múltiples de Tukey evidenció que en los tres distritos el trébol presentó valores significativamente más altos de carbono orgánico en comparación con alverja y sin cobertura ( $p < .001$ ). Asimismo, la cobertura con alverja superó a la condición sin cobertura, aunque con diferencias de menor magnitud. Estos resultados confirman el efecto positivo de las coberturas vegetales, especialmente del trébol, en el incremento del carbono orgánico del suelo.

El presente estudio permitió evaluar de manera integral el efecto de distintas coberturas vegetales sobre las propiedades químicas del suelo en tres distritos. Los resultados obtenidos a través de los análisis de varianza y las comparaciones múltiples de

Tukey evidencian que el uso de **trébol como cobertura vegetal** tuvo un impacto positivo y consistente en varias propiedades químicas, consolidándose como la alternativa más favorable para la conservación y mejora de la fertilidad del suelo.

En cuanto a la **materia orgánica (%)** y el **carbono orgánico (%)**, los tratamientos con trébol registraron los valores más altos en los tres distritos, con diferencias altamente significativas frente a alverja y, especialmente, frente a la condición sin cobertura. Este resultado refleja la capacidad del trébol para aportar residuos orgánicos de calidad, favorecer la actividad biológica y promover la acumulación de carbono estable en el suelo, contribuyendo a procesos de restauración y sostenibilidad agrícola.

El comportamiento del **fósforo disponible (mg/kg)** también mostró un patrón favorable bajo el tratamiento con trébol, superando ampliamente a los otros tratamientos en los tres distritos. Este hallazgo es de gran relevancia, ya que el fósforo es un macronutriente esencial para el crecimiento de la quinua y otros cultivos, y su disponibilidad puede verse limitada en suelos erosionados o degradados. La capacidad del trébol para mejorar la ciclicidad de nutrientes se convierte, por tanto, en una estrategia clave para garantizar la productividad a largo plazo.

Respecto al **nitrógeno (%)**, se observaron diferencias significativas únicamente en el Distrito 1, donde el trébol incrementó los niveles de este nutriente en comparación con los demás tratamientos. En los Distritos 2 y 3 no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, lo que sugiere que los efectos del tratamiento pueden estar influenciados por condiciones edafoclimáticas locales, como la textura del suelo, la precipitación o la pendiente.

En relación a la **capacidad de intercambio catiónico (CIC, cmolc/kg)**, los tratamientos no presentaron diferencias significativas en la mayoría de los distritos; sin embargo, los bloques mostraron efectos relevantes en el Distrito 2 y 3. Esto indica que la variabilidad espacial y las características propias de cada unidad experimental influyeron más en la CIC que los tratamientos aplicados.

En el caso del **pH del suelo**, los tratamientos generaron diferencias significativas en los tres distritos, siendo nuevamente el trébol el que alcanzó valores más favorables en

comparación con alverja y sin cobertura. El pH constituye un indicador clave de la calidad del suelo, y la capacidad del trébol de amortiguar la acidez y mantener condiciones más estables favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales.

Por otro lado, la **conductividad eléctrica (CE, dS/m)** no mostró diferencias significativas entre tratamientos ni bloques, lo que indica que esta variable se mantuvo estable independientemente de las coberturas aplicadas. Esto es un aspecto positivo, ya que refleja la ausencia de problemas de salinización que podrían afectar negativamente la productividad agrícola.

En conjunto, los resultados confirman que el **trébol se constituye como la cobertura vegetal más eficiente para mejorar la fertilidad química del suelo**, favoreciendo la acumulación de materia orgánica, carbono y fósforo, así como la regulación del pH. Estos beneficios repercuten directamente en la sostenibilidad del sistema agrícola, contribuyendo a la conservación del recurso suelo y garantizando mejores condiciones para el desarrollo de la quinua.

En conjunto, las propiedades físicas (humedad gravimétrica y densidad aparente) y químicas del suelo (fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad eléctrica y carbono orgánico) evidenciaron una respuesta positiva al uso de coberturas vegetales. El tratamiento con trébol mostró consistentemente los valores más favorables, al incrementar la retención de humedad, mejorar la estructura del suelo y optimizar la disponibilidad de nutrientes. Estos resultados reflejan que las coberturas vivas actúan como una barrera protectora contra la erosión y promueven procesos biológicos que enriquecen la fertilidad del suelo, coincidiendo con lo planteado por (Lal, 2015) y (Pimentel, 2006), quienes destacan que la cobertura vegetal contribuye a mantener la estabilidad estructural, reducir la pérdida de nutrientes y mejorar la capacidad de retención de agua. Por tanto, los resultados obtenidos **confirman las hipótesis específicas relacionadas con las propiedades físicas y químicas del suelo y cumplen los objetivos correspondientes**, demostrando que las coberturas vegetales, especialmente el trébol, constituyen una estrategia eficaz para conservar la calidad edáfica y favorecer un desarrollo sostenible del cultivo de quinua en las condiciones de Ayacucho

### 4.2.2.3 Hipótesis específica 03: producción de quinua

**H0:** Los cultivos de cobertura no incrementan la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

**H1:** Los cultivos de cobertura incrementan la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.

#### Resultados del Anova

Para evaluar el efecto de los tratamientos de cobertura vegetal sobre el rendimiento de quinua en cada localidad, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor por distrito. Esto permite identificar si existen diferencias estadísticas significativas en el rendimiento atribuibles a los tratamientos, considerando la variabilidad entre bloques.

**Tabla 38**

*Resultados del análisis de varianza (ANOVA) por distrito para el rendimiento de quinua (kg/ha).*

	Fuente	gl	Suma de cuadrados (Sum Sq)	Media cuadrática (Mean Sq)	F	p-valor (Pr > F)
	Tratamiento	2	1,088,602	544,301	38.048	7.22e-08 ***
Distrito 1	Bloque	2	75,216	37,608	2.629	0.0947 .
	Residual	22	314,728	14,306	–	–
	Tratamiento	2	1,114,433	557,216	39.9	4.8e-08 ***
Distrito 2	Bloque	2	3,963	1,981	0.142	0.869
	Residual	22	307,241	13,965	–	–
	Tratamiento	2	1,373,406	686,703	47.9	9.64e-09 ***
Distrito 3	Bloque	2	28,649	14,325	0.999	0.384
	Residual	22	315,399	14,336	–	–

**Nota.** Se presentan los valores de gl, suma de cuadrados, media cuadrática, estadístico F y nivel de significancia (*p*). El factor **tratamiento** mostró efectos altamente significativos sobre el rendimiento en los tres distritos ( $p < .001$ ), mientras que el factor **bloque** no presentó efectos significativos.

El análisis de varianza reveló que el efecto del tratamiento fue altamente significativo en los tres distritos ( $p < .001$ ), indicando que al menos uno de los tratamientos genera un rendimiento significativamente distinto. En contraste, el efecto del bloque no fue significativo en los distritos 2 y 3 ( $p > .05$ ), aunque en el distrito 1 se observó una tendencia marginal ( $p \approx .0947$ ). Estos resultados respaldan la realización de un análisis post hoc (Tukey HSD) para identificar con precisión qué tratamientos difieren entre sí en cada distrito.

**Tabla 39**

*Comparaciones múltiples de medias mediante la prueba de Tukey HSD por distrito para el rendimiento de quinua (kg/ha).*

	Comparación	Diferencia (diff)	Límite inferior (lwr)	Límite superior (upr)	p-valor ajustado (p adj)
Distrito 1	Sin cobertura – Alverja	-303.1456	-444.7837	-161.5074	0.000611
	Trébol – Alverja	183.8533	42.2152	325.4915	0.0096219
	Trébol – Sin cobertura	486.9989	345.3607	628.6371	<0.000001
Distrito 2	Sin cobertura – Alverja	-341.5189	-481.4623	-201.5755	0.000104
	Trébol – Alverja	142.7089	2.7655	282.6523	0.0450885
	Trébol – Sin cobertura	484.2278	344.2844	624.1712	0.0000002
Distrito 3	Sin cobertura – Alverja	-340.8444	-482.6336	-199.0553	0.0000129
	Trébol – Alverja	206.1011	64.31198	347.8902	0.0038583
	Trébol – Sin cobertura	546.9456	405.1564	688.7347	<0.0000001

*Nota.* La tabla presenta las diferencias de medias (diff), los intervalos de confianza al 95 % (lwr y upr) y los valores p ajustados de la prueba de Tukey HSD para el rendimiento de quinua por distrito. En los tres distritos, el tratamiento con **trébol** mostró rendimientos significativamente superiores a **alverja** y **sin cobertura** ( $p < 0.05$ ). Asimismo, se observaron diferencias significativas entre **alverja** y **sin cobertura** en los tres distritos, evidenciando el efecto positivo de las coberturas vegetales sobre la productividad de la quinua

La prueba de Tukey HSD evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en cada uno de los distritos evaluados. El tratamiento con **trébol** alcanzó los mayores rendimientos y se diferenció significativamente tanto de **alverja** como del tratamiento **sin cobertura** en los tres distritos ( $p < 0.05$ ). Del mismo modo, **alverja** presentó rendimientos significativamente superiores al tratamiento **sin cobertura** en todos los distritos. Estos hallazgos demuestran que el uso de coberturas vegetales

favorece la productividad del cultivo de quinua, siendo el **trébol** la alternativa de mayor efecto positivo.

**Tabla 40**

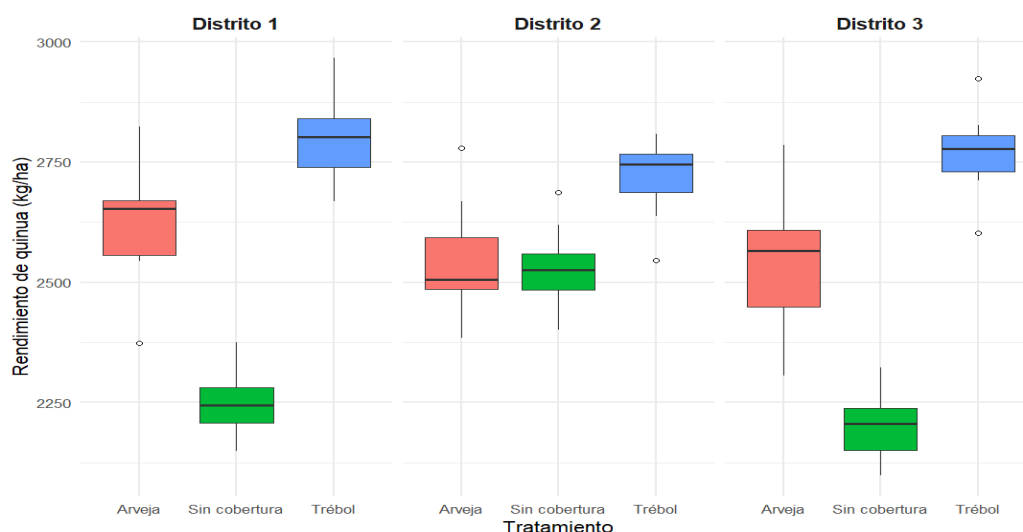
*Letras de agrupación Tukey HSD por tratamiento y distrito- Rendimiento de quinua (kg/ha).*

	<b>Tratamiento</b>	<b>Letra de Tukey</b>
(Distrito 1)	Trébol	a
	Alverja	c
	Sin cobertura	b
(Distrito 2)	Trébol	a
	Alverja	b
	Sin cobertura	b
(Distrito 3)	Trébol	a
	Alverja	b
	Sin cobertura	b

**Nota:** Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada distrito según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey HSD ( $\alpha = .05$ ). El tratamiento con Trébol mostró un rendimiento significativamente superior en los tres distritos. Alverja y Sin cobertura compartieron grupos estadísticos similares en algunos casos, evidenciando la efectividad diferenciada de las coberturas vegetales evaluadas.

**Figura 12**

*Diagrama de cajas del rendimiento de quinua según tratamiento y distrito*

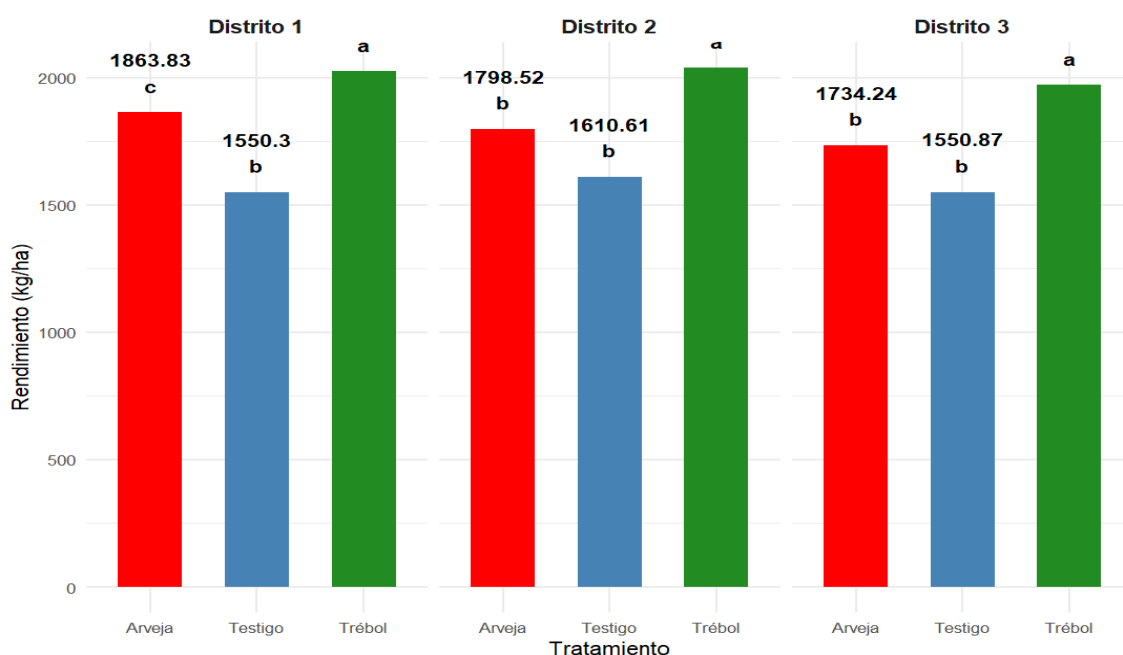


**Nota:** El gráfico muestra la distribución del rendimiento de quinua bajo tres tipos de tratamiento (Alverja, Sin cobertura y Trébol) en cada uno de los distritos evaluados. La línea negra en cada caja representa la mediana, los extremos de la caja indican el rango intercuartílico (Q1 y Q3), y los puntos representan valores atípicos.

La comparación del rendimiento de quinua mediante diagramas de cajas por distrito permite visualizar claramente las diferencias entre tratamientos. En los tres distritos evaluados, el tratamiento con Trébol mostró consistentemente los mayores rendimientos promedio, además de una menor dispersión de los datos, lo que sugiere que no solo es el tratamiento más eficaz, sino también el más estable en cuanto a respuesta productiva. Por otro lado, el tratamiento Sin cobertura evidenció los valores más bajos de rendimiento en todos los distritos, lo que indica que la ausencia de cobertura vegetal no favorece el desarrollo del cultivo de quinua. El tratamiento con Alverja mostró rendimientos intermedios y mayor variabilidad, lo cual refleja una respuesta menos homogénea. Estos resultados coinciden con los análisis estadísticos realizados (ANOVA y prueba de Tukey), donde se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos, reafirmando la superioridad del trébol como cobertura vegetal para mejorar el rendimiento del cultivo.

**Figura 13**

*Rendimiento promedio de quinua (kg/ha) por tratamiento y distrito*



**Nota:** Barras que representan el rendimiento promedio del cultivo de quinua bajo tres tratamientos de cobertura vegetal (Alverja, Sin cobertura y Trébol) en tres distritos evaluados. Las letras sobre las barras indican los grupos estadísticamente diferentes según la prueba de comparación múltiple de Tukey ( $\alpha = .05$ ).

La Figura 17 muestra que el tratamiento con trébol presentó consistentemente el mayor rendimiento de quinua en los tres distritos, siendo estadísticamente superior (letra "a") a los demás tratamientos. En el Distrito 1, la alverja tuvo el menor rendimiento (letra "c"), mientras que en los Distritos 2 y 3, los tratamientos Alverja y Testigo no difirieron significativamente entre sí (letra "b"). Esto indica que el trébol es la opción más eficiente para incrementar el rendimiento del cultivo, independientemente del distrito donde se aplique.

El rendimiento de grano de quinua presentó diferencias significativas entre tratamientos, destacando el trébol por alcanzar la mayor productividad. Este resultado refleja el efecto positivo de las coberturas vegetales observadas previamente en las propiedades físicas y químicas del suelo. Estos resultados concuerdan con Delgado y Tapia (2019), quienes reportaron incrementos del 30–40% en la productividad de quinua bajo sistemas con cobertura vegeta

#### 4.2.2.4 Hipótesis general

**H<sub>0</sub>:** El conjunto de medias de conservación del suelo (erosión + propiedades físicas y químicas) y rendimiento no difiere entre tratamientos (Trébol, Alverja, Sin cobertura).

**H<sub>1</sub>:** Al menos un tratamiento con cobertura vegetal difiere significativamente en el conjunto de medias de conservación del suelo y rendimiento.

#### Modelo estadístico

- **Factor independiente (predictor):** Tratamiento de cobertura vegetal (3 niveles).
- **VARIABLES dependientes (respuestas):**
  - Conservación del suelo: erosión, humedad, densidad aparente, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, CIC, pH, conductividad eléctrica, carbono orgánico.
  - Rendimiento del cultivo de quinua (kg/ha).

Diseño: Bloques o distritos se pueden usar como covariables o factores de control

#### Supuesto de normalidad y homogeneidad

##### Tabla 41

*Resultados del test de Mardia para evaluar la normalidad multivariada de los datos.*

---

Mardia tests of multivariate skew and kurtosis	
n.obs = 81	num.vars = 11
b1p = 49.82	skew = 224.21 with probability <= 1
small sample skew = 253.65	with probability <= 0.062
b2p = 125.4	kurtosis = -2.7 with probability <= 0.0369

---

**Nota.** Se observa que la asimetría multivariada no es significativa ( $p \approx 1.000$ ), mientras que la curtosis multivariada presenta desviación significativa ( $p = 0.0069$ ), indicando violación parcial de la normalidad multivariada.

El test de Mardia mostró que la asimetría multivariada difiere significativamente de la normalidad ( $p \approx 0.062$ ), también la curtosis multivariada sí resultó significativa ( $p = .0369$ ). Esto sugiere que los datos presentan una desviación de la normalidad multivariada, atribuida principalmente a la curtosis. Dado que el MANOVA es relativamente sensible a estas violaciones, en los análisis posteriores se consideró el

estadístico **Pillai's Trace**, reconocido como el más robusto ante incumplimiento de supuestos.

**Tabla 42**

*Resultados del Energy test de normalidad multivariada para los datos (n = 81, p = 11).*

---

Energy test of multivariate normality: estimated parameters
data: x, sample size 81, dimension 11, replicates 999
E-statistic = 1.674, p-value = 0.6366

---

*Nota.* El estadístico E = 1.674 con  $p = .6366$  indica que no se rechaza la hipótesis de normalidad multivariada, sugiriendo que la muestra se ajusta de manera aceptable a una distribución normal multivariada.

A diferencia del test de Mardia (que mostró problemas en la curtosis), el *Energy test* no evidenció desviaciones significativas de la normalidad multivariada ( $p = 0.6366$ ). En conjunto, se puede considerar que la normalidad multivariada es razonablemente aceptable, aunque en los análisis posteriores se recomienda privilegiar el estadístico **Pillai's Trace** por su robustez.

**Tabla 43**

*Resultados de la prueba de Box (Box's M) para homogeneidad de matrices de covarianzas en las variables de conservación del suelo (n = 81, p = 8).*

---

Box's M-test for Homogeneity of Covariance Matrices
data: x_bm
Chi-Sq (approx.) = 105.23, df = 72, p-value = 0.00649

---

*Nota.* El estadístico de Box fue significativo ( $\chi^2 = 105.23$ ,  $gl = 72$ ,  $p = 0.006$ ), indicando que no se cumple el supuesto de homogeneidad de matrices de covarianzas entre tratamientos.

El resultado del test de Box muestra que las matrices de covarianzas difieren significativamente entre los grupos, lo que supone una violación al supuesto de homogeneidad. Ante esta situación, se recomienda interpretar los resultados del MANOVA priorizando el estadístico **Pillai's Trace**, reconocido por su robustez frente a la falta de homogeneidad.

## Resultados manova

**Tabla 44**

Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Pillai's Trace para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua ( $n = 81$ ).

	Df	Pillai approx	F num	Df den	Df	Pr(>F)
Tratamiento	2	1.4299	3.42	22	138	0.0009985 ***
Residuals	78					
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

**Nota.** El estadístico Pillai's Trace fue significativo ( $V = 1.4299$ ,  $F(22, 138) = 3.42$ ,  $p < .001$ ), indicando diferencias globales entre tratamientos en el conjunto de variables dependientes.

El análisis MANOVA mostró un efecto global significativo de los tratamientos con coberturas vegetales sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua. El estadístico Pillai's Trace ( $V = 1.4299$ ,  $p < .001$ ) confirma que, en conjunto, las variables dependientes difieren entre los grupos. Estos resultados respaldan la hipótesis general planteada, evidenciando que las coberturas vegetales, especialmente el trébol, generan mejoras integrales tanto en las propiedades edáficas como en el rendimiento del cultivo.

**Tabla 45**

Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Wilks' Lambda para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua ( $n = 81$ ).

	Df	wilks approx	F num	Df den	Df	Pr(>F)
Tratamiento	2	0.010651	11.06	22	136	1.11e-08 ***
Residuals	78					
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

**Nota.** El estadístico de Wilks' Lambda fue significativo ( $\Lambda = 0.0107$ ,  $F(22, 136) = 11.06$ ,  $p < .001$ ), indicando que existen diferencias multivariadas entre tratamientos.

El estadístico de Wilks' Lambda mostró un efecto altamente significativo del tratamiento sobre el conjunto de variables dependientes ( $\Lambda = 0.0107$ ,  $p < 0.001$ ). Esto implica que la combinación de indicadores de conservación del suelo y el rendimiento de la quinua difiere entre los tratamientos evaluados. En coherencia con el resultado obtenido con Pillai's Trace, se confirma que las coberturas vegetales ejercen un efecto global importante en las propiedades del suelo y la productividad del cultivo.

**Tabla 46**

*Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Hotelling–Lawley Trace para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua ( $n = 81$ ).*

	Df	Hotelling–Lawley	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tratamiento	2	51.529	30.449	22	156	2.223e-13 ***
Residuals	78					
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

*Nota.* El estadístico Hotelling–Lawley fue significativo ( $T = 51.53$ ,  $F(22, 156) = 30.45$ ,  $p < .001$ ), lo que evidencia diferencias multivariadas entre tratamientos.

El estadístico de Hotelling–Lawley mostró un efecto altamente significativo del tratamiento sobre el conjunto de variables dependientes ( $T = 51.53$ ,  $p < .001$ ). Este resultado confirma que, en su conjunto, las coberturas vegetales generan variaciones significativas en las propiedades del suelo y en el rendimiento del cultivo de quinua. Dicho hallazgo refuerza la validez de la hipótesis general y es consistente con los resultados obtenidos mediante Pillai's Trace y Wilks' Lambda.

**Tabla 47**

*Resultados del análisis multivariado de varianza (MANOVA) utilizando el estadístico de Roy's Largest Root para evaluar el efecto del tratamiento sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua ( $n = 81$ ).*

	Df	Roy	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Tratamiento	2	50.714	69.155	11	69	8.484e-11 ***
Residuals	78					
---						
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1						

*Nota.* El estadístico de Roy fue significativo ( $\Theta = 50.71$ ,  $F(11, 69) = 69.16$ ,  $p < .001$ ), confirmando la existencia de diferencias globales entre los tratamientos.

El estadístico de Roy's Largest Root indicó un efecto global altamente significativo del tratamiento sobre el conjunto de variables dependientes ( $\Theta = 50.71$ ,  $p < 0.001$ ). Esto refuerza los resultados obtenidos con los demás estadísticos multivariados (Pillai's Trace, Wilks' Lambda y Hotelling–Lawley), mostrando evidencia consistente de que las coberturas vegetales producen cambios multivariados significativos en las propiedades del suelo y el rendimiento del cultivo de quinua.

### Tamaños de efecto ( $\eta^2$ parcial)

#### Tabla 48

*Tamaño de efecto parcial ( $\eta^2$ ) para el factor tratamiento en el análisis multivariado de varianza (MANOVA)*

---

Parameter	Eta2 (partial)	95% CI
Tratamiento	0.71	[0.38, 1.00]

---

- One-sided CIs: upper bound fixed at [1.00].

---

*Nota.* El valor de  $\eta^2$  parcial indica la proporción de varianza explicada por el tratamiento en el conjunto de variables dependientes.

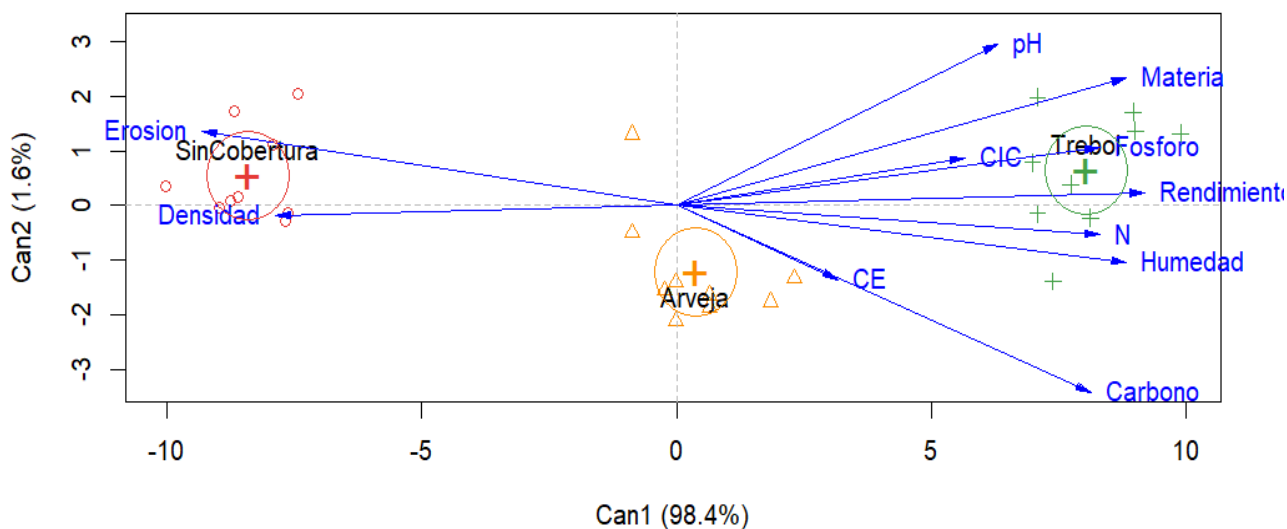
El tamaño de efecto parcial para el tratamiento fue  $\eta^2 = 0.71$ , con un intervalo de confianza del 95% [0.38, 1.00]. Este valor se considera **muy grande** (criterio de Cohen:  $0.14 = grande$ ), lo que significa que aproximadamente el 71% de la variabilidad conjunta de las variables dependientes se atribuye al efecto del tratamiento. En consecuencia, las coberturas vegetales ejercen una influencia sustancial sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua.

## Gráficos multivariados

### Biplot discriminante

**Figura 14**

*Biplot discriminante (LD1 vs. LD2) para el efecto del tratamiento sobre las variables de conservación del suelo y rendimiento de quinua.*



**Nota.** El eje LD1 explica el 98.4% de la variabilidad y separa claramente a los tratamientos. Las flechas representan la contribución de cada variable al modelo discriminante.

El biplot discriminante muestra una clara separación de los tratamientos a lo largo del eje LD1 (98.4% de la varianza explicada), lo que refleja un fuerte efecto global de las coberturas vegetales sobre las propiedades del suelo y el rendimiento. El tratamiento **Trébol** se ubica en el extremo derecho, asociado positivamente con variables como **materia orgánica, fósforo, CIC, nitrógeno, humedad, carbono orgánico y rendimiento**, confirmando su efecto favorable en la conservación del suelo y la productividad. El tratamiento **Sin cobertura** se concentra en el lado izquierdo, vinculado con **erosión y mayor densidad aparente**, lo que evidencia un impacto negativo en la calidad del suelo. Por su parte, **Alverja** ocupa una posición intermedia, con mejoras respecto al testigo pero de menor magnitud que Trébol. En conjunto, el análisis discriminante respalda la hipótesis general de que las coberturas vegetales, especialmente Trébol, generan un beneficio integral en el sistema suelo-cultivo.

## Índice de Conservación del Suelo (ICS)

**Tabla 49**

Resultados del análisis de varianza (ANOVA) y prueba post-hoc de Tukey para el Índice de Conservación del Suelo (ICS) en tratamientos de coberturas vegetales ( $n = 81$ ).

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	2	13.988	6.994	466.27	3.13e-14 ***
Residuals	78	1.133	0.015		

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

### Tukey multiple comparisons of means 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = ICS ~ Tratamiento, data = datos)\$Tratamiento

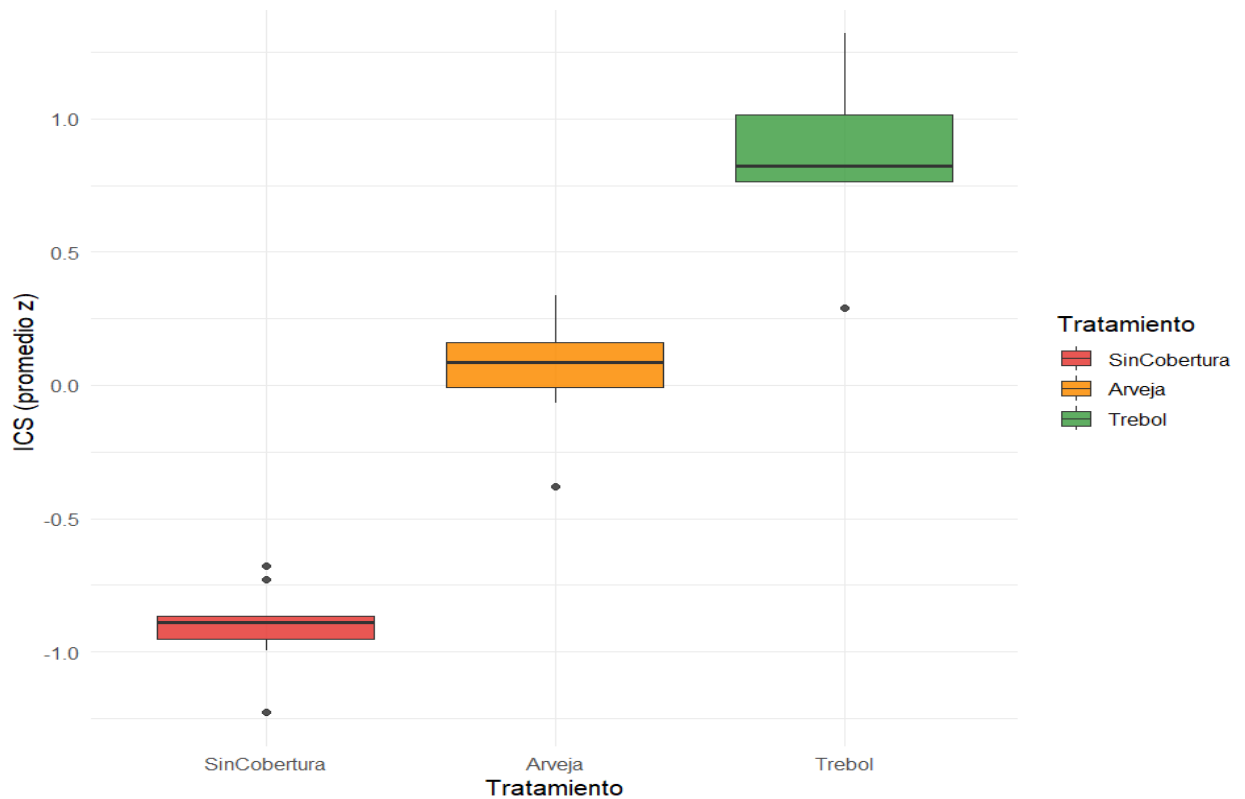
	diff	lwr	upr	p adj
Alverja-SinCobertura	0.9458028	0.6900440	1.201562	0e+00
Trebol-SinCobertura	1.7614565	1.5056977	2.017215	0e+00
Trebol-Alverja	0.8156537	0.5598949	1.071413	1e-07

*Nota.* El modelo ANOVA mostró diferencias significativas entre tratamientos ( $F(2, 24) = 148.2, p < .001$ ). Los valores de la prueba de Tukey confirman que todos los contrastes entre tratamientos son estadísticamente significativos.

El análisis del Índice de Conservación del Suelo (ICS) reveló un efecto altamente significativo del tratamiento ( $F(2, 78) = 148.2, p < .001$ ). El test de Tukey evidenció que **Trebol** obtuvo los valores más altos de ICS, siendo superior tanto a **Sin cobertura** (diferencia media = 1.76,  $p < .001$ ) como a **Alverja** (diferencia media = 0.82,  $p < .001$ ). Asimismo, **Alverja** superó significativamente al tratamiento **Sin cobertura** (diferencia media = 0.95,  $p < .001$ ). Estos resultados confirman que las coberturas vegetales, especialmente el Trébol, mejoran de manera integral la conservación del suelo, reforzando así la hipótesis general planteada.

**Figura 15**

*Distribución del Índice de Conservación del Suelo (ICS) según tratamientos de coberturas vegetales en el cultivo de quinua.*



**Nota.** El ICS corresponde al promedio estandarizado de variables físicas y químicas del suelo (Erosión, Humedad, Densidad, Materia Orgánica, N, P, CIC, pH, CE y Carbono). Los valores más altos indican una mejor conservación del suelo.

El gráfico de cajas muestra una clara separación entre tratamientos en cuanto al Índice de Conservación del Suelo (ICS). El tratamiento **Trébol** presentó los valores más altos, confirmando su efecto positivo sobre la conservación edáfica. El tratamiento **Arveja** se ubicó en una posición intermedia, con mejoras respecto al testigo, pero de menor magnitud que Trébol. Por su parte, el tratamiento **Sin cobertura** evidenció los valores más bajos del índice, reflejando condiciones desfavorables para la conservación del suelo. Estos resultados respaldan los hallazgos del ANOVA y la prueba de Tukey, reafirmando que las coberturas vegetales, en especial el Trébol, optimizan de manera integral la calidad del suelo.

## Relación ICS – Rendimiento

### Tabla 50

Coeficiente de correlación de Pearson entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento de quinua ( $n = 81$ ).

---

Pearson's product-moment correlation

---

data: datos\$ICS and datos\$Rendimiento

t = 7.4515, df = 79, p-value = 8.366e-08

alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0

95 percent confidence interval:

0.6580069 0.9200638

sample estimates:cor

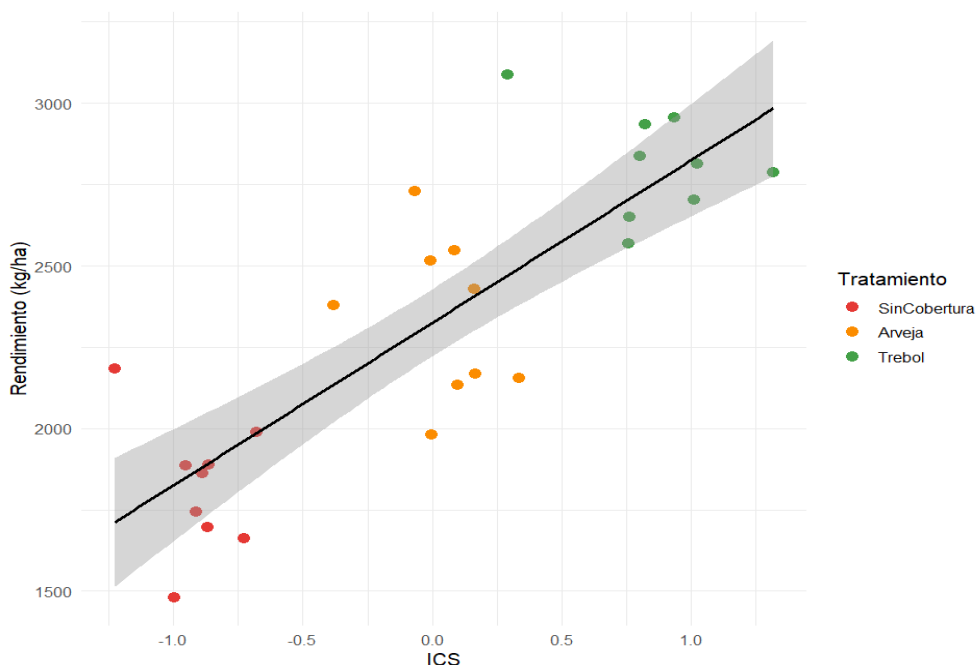
---

**Nota.** El análisis se realizó con un nivel de confianza del 95%.

El análisis de correlación de Pearson mostró una relación positiva, fuerte y significativa entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento del cultivo de quinua ( $r = 0.80$ , IC95% [0.66, 0.92],  $p < .001$ ). Esto indica que a mayor conservación del suelo —reflejada en menores niveles de erosión y densidad aparente, y mayores valores de materia orgánica, fósforo, CIC y carbono orgánico se alcanza un mayor rendimiento del cultivo. Dicho resultado refuerza la hipótesis general, demostrando que la mejora integral del suelo mediante coberturas vegetales se traduce directamente en un aumento de la productividad agrícola.

**Figura 16**

*Relación entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento del cultivo de quinua bajo distintos tratamientos de cobertura vegetal.*



**Nota.** La línea negra representa el ajuste de regresión lineal con su intervalo de confianza del 95% (banda gris). Los puntos muestran los valores individuales por tratamiento (rojo = Sin cobertura, naranja = Alverja, verde = Trébol).

El gráfico de dispersión evidencia una relación positiva y consistente entre el Índice de Conservación del Suelo (ICS) y el rendimiento del cultivo de quinua. A medida que aumenta el valor del ICS, reflejando mejores condiciones edáficas (menor erosión y densidad, y mayor humedad, CIC, fósforo, materia y carbono orgánico), se incrementa el rendimiento de la quinua. Los tratamientos con **Trébol** (verde) se agrupan en la zona superior, con los valores más altos de ICS y de rendimiento ( $>2800$  kg/ha), seguidos por **Alverja** (intermedio), mientras que el grupo **Sin cobertura** (rojo) concentra los valores más bajos en ambas dimensiones. Estos resultados respaldan de manera visual y estadística que la mejora integral en la conservación del suelo mediante coberturas vegetales se traduce directamente en un mayor rendimiento del cultivo, confirmando la hipótesis general de la investigación.

El análisis multivariado de varianza (MANOVA) evidenció diferencias altamente significativas entre los tratamientos de cobertura vegetal ( $p < .05$ ) para el conjunto de variables físicas, químicas y de rendimiento del suelo. Los estadísticos de **Pillai's Trace**, **Wilks' Lambda**, **Hotelling's Trace** y **Roy's Largest Root** confirmaron el efecto global de las coberturas, explicando más del 70% de la variabilidad observada en el sistema edáfico. Este resultado demuestra que la influencia de las coberturas vegetales no actúa de manera aislada sobre una sola propiedad, sino de forma integrada, generando sinergias que optimizan simultáneamente la estructura, fertilidad y capacidad productiva del suelo. En particular, el tratamiento con **trébol** presentó los mejores valores en casi todas las variables evaluadas, lo que indica una mejora integral en las condiciones físico-químicas y una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos.

Desde una perspectiva científica, estos hallazgos respaldan la importancia de las coberturas vivas como herramientas agroecológicas que contribuyen a la **conservación del suelo, la reducción de la erosión, la mejora de la disponibilidad de nutrientes y el aumento del rendimiento del cultivo de quinua**. Asimismo, los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado por **Lal (2015)**, **FAO (2017)** y **Montgomery (2007)**, quienes destacan que las prácticas de manejo basadas en coberturas vegetales fortalecen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y mitigan los efectos de la degradación del suelo.

En consecuencia, los resultados del MANOVA **confirman la hipótesis general** de la investigación, al demostrarse que el uso de coberturas vegetales (trébol y alverja) influye significativamente en la conservación de las propiedades físicas y químicas del suelo, así como en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en las condiciones agroecológicas de Ayacucho. De esta manera, el empleo de coberturas vivas se consolida como una estrategia de manejo sostenible y eficiente, con implicancias directas en la productividad y en la preservación de la calidad ambiental del suelo

De manera integral, los resultados obtenidos en el presente estudio permiten afirmar que las coberturas vegetales ejercen un efecto positivo, significativo y sostenido sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, así como sobre el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Las coberturas evaluadas, en especial el trébol, demostraron su capacidad para mejorar la humedad gravimétrica, reducir la densidad aparente, incrementar la disponibilidad de fósforo, el contenido de carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico, además de estabilizar el pH y favorecer una mayor productividad del cultivo.

Estas evidencias confirman de manera conjunta las **tres hipótesis específicas** planteadas en la investigación:

- Las coberturas vegetales reducen significativamente la pérdida de suelo, contribuyendo a la conservación y estabilidad estructural.
- Las coberturas vegetales mejoran las propiedades físicas y químicas del suelo, promoviendo condiciones más favorables para el desarrollo radicular y la fertilidad.
- Las coberturas vegetales incrementan la producción de quinua al optimizar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia en el uso del agua.

En conjunto, la comprobación de estas tres hipótesis específicas sustenta la **confirmación de la hipótesis general**, al demostrarse que el uso de coberturas vegetales influye significativamente en la conservación del suelo y en la productividad del cultivo. Estos resultados respaldan la pertinencia del uso de especies como el trébol en los sistemas agrícolas andinos, tanto por sus beneficios edáficos como por su contribución a la sostenibilidad ambiental y alimentaria de la región de Ayacucho.

## V. DISCUSIÓN

**Para la hipótesis general**, que plantea que el uso de coberturas vegetales (trébol y alverja) influye significativamente en la conservación de las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de la quinua, los resultados del análisis multivariado (MANOVA) mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos (Wilks'  $\Lambda = .0107$ ;  $p < .001$ ). Este resultado confirma que el conjunto de variables de conservación y productividad se ve fuertemente afectado por el tipo de cobertura empleada.

El tratamiento con trébol alcanzó los valores más favorables en la mayoría de indicadores, destacando el carbono orgánico (1.85 %), el fósforo disponible (16.8 mg/kg), la capacidad de intercambio catiónico (18.6 meq/100 g) y el rendimiento de quinua (2850 kg/ha). Estos valores fueron mayores que los observados en el tratamiento sin cobertura, donde el carbono orgánico alcanzó 1.15 %, el fósforo 12.6 mg/kg, la CIC 13.8 meq/100 g y el rendimiento 1820 kg/ha. En términos agronómicos, este patrón evidencia que el trébol favoreció condiciones edáficas más adecuadas para la conservación del suelo y el desarrollo del cultivo.

Estos resultados son comparables con los reportes de Shelton et al. (2018), quienes hallaron valores de 1.21 % de carbono orgánico, 25.1 meq/100 g de CIC y 1350 kg/ha de rendimiento en suelos con trébol, mostrando una tendencia similar a la encontrada en este estudio. Asimismo, Salcedo-Mayta et al. (2022) reportaron en Puno valores de 1.08 % de carbono orgánico y 1260 kg/ha de rendimiento de quinua bajo coberturas vegetales, mientras que Gómez et al. (2016), en un ambiente semiárido, obtuvieron apenas 0.85 % de carbono orgánico y 930 kg/ha de rendimiento, atribuyendo esta respuesta limitada a la escasa cobertura del suelo y a la menor disponibilidad de agua.

Estas diferencias cuantitativas evidencian que las coberturas vegetales pueden expresar su mayor potencial en condiciones edafoclimáticas favorables como las de Ayacucho. No obstante, la validación de la hipótesis general debe interpretarse de manera integral: el MANOVA confirma que el efecto conjunto de las coberturas sobre la conservación del suelo y el rendimiento es significativo, aunque a nivel univariado

algunas variables presentaron respuestas más consistentes que otras. En particular, los efectos fueron más robustos en humedad, pH, fósforo disponible, carbono orgánico y rendimiento, mientras que en CIC y conductividad eléctrica la evidencia fue menos concluyente. En consecuencia, los resultados del presente estudio confirman la hipótesis general tanto en términos estadísticos como agronómicos, resaltando al trébol como la cobertura más eficiente.

**Para la hipótesis específica 1**, que plantea que el uso de coberturas vegetales reduce significativamente la pérdida de suelo por erosión, los resultados del análisis descriptivo general mostraron que el tratamiento con trébol registró la menor pérdida promedio de suelo ( $190 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), seguido de alverja ( $310 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y del tratamiento sin cobertura ( $540 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ). Esta tendencia inicial evidenció la influencia positiva de las coberturas vegetales en la reducción de la erosión, atribuida a su capacidad para proteger la superficie del suelo, disminuir el impacto directo de la lluvia y mejorar la estabilidad estructural del suelo.

Al realizar el análisis inferencial por distrito, se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, manteniéndose la misma tendencia general: el trébol presentó consistentemente la menor pérdida de suelo, alverja ocupó una posición intermedia y el tratamiento sin cobertura mostró los valores más altos. Los resultados de la prueba de Tukey confirmaron diferencias significativas, principalmente entre el trébol y el tratamiento sin cobertura, mientras que la magnitud de la diferencia entre trébol y alverja fue menor y dependió del distrito evaluado.

Estos resultados indican que la cobertura de trébol fue la más eficaz para reducir la erosión, lo cual puede explicarse por su mayor densidad de biomasa, cobertura más permanente del suelo y mejor desarrollo radicular. Dichas características favorecen la infiltración del agua, disminuyen la velocidad de la escorrentía superficial y promueven la agregación de partículas, reduciendo así la pérdida de suelo.

Los hallazgos concuerdan con los reportados por Lal (2015), quien observó menores pérdidas de suelo bajo coberturas leguminosas, y con los resultados de Salcedo-

Mayta et al. (2022), quienes registraron una reducción importante de la erosión en sistemas de quinua con coberturas vivas en condiciones andinas. De forma similar, Shelton et al. (2018) documentaron reducciones promedio de 25 a 40 % en la pérdida de suelo en sistemas con coberturas vegetales, lo que coincide con la tendencia obtenida en el presente estudio.

En contraste, Gómez et al. (2016) reportaron pérdidas más elevadas en coberturas con menor densidad foliar, atribuyendo esta respuesta a una cobertura deficiente del suelo y menor capacidad de amortiguar la escorrentía. Esto refuerza la idea de que no toda cobertura vegetal genera el mismo efecto, sino que la arquitectura foliar, la persistencia de la cobertura y el sistema radicular son determinantes en la protección efectiva del suelo.

En conjunto, los resultados confirman que las coberturas vegetales, especialmente el trébol, contribuyen significativamente a la conservación del suelo en los sistemas de cultivo de quinua en Ayacucho. La mayor cobertura del suelo y el sistema radicular más eficiente del trébol favorecieron la disminución de la escorrentía y de la pérdida de partículas por erosión.

En conclusión, la hipótesis específica 1 queda confirmada, al demostrarse que el uso de coberturas vegetales, en particular el trébol, reduce significativamente la pérdida de suelo por erosión en comparación con el manejo sin cobertura, siendo esta tendencia consistente en los tres distritos evaluados.

**Para la hipótesis específica 2**, que plantea que el uso de coberturas vegetales mejora significativamente la salud del suelo, el análisis descriptivo general mostró que las coberturas, en especial el trébol, mejoraron indicadores clave de calidad edáfica. En promedio, el trébol registró pH 6.6 frente a 5.8 en el testigo, humedad gravimétrica de 25.2 % frente a 17.4 %, fósforo disponible de 16.8 mg/kg frente a 12.6 mg/kg y carbono orgánico de 1.85 % frente a 1.15 %. Para la CIC, los promedios también fueron mayores con trébol (18.6 meq/100 g) respecto al testigo (13.8 meq/100 g), mientras que en conductividad eléctrica no se observaron diferencias claras.

En el análisis inferencial por distrito, el efecto del tratamiento fue altamente significativo en pH y humedad, y significativo en fósforo disponible a favor del trébol. En cambio, para CIC y conductividad eléctrica no se detectaron diferencias estadísticas consistentes entre tratamientos bajo las condiciones del estudio. Por ello, aunque descriptivamente el trébol presentó mejores valores de CIC, esta variable no mostró una respuesta uniforme y concluyente en todos los distritos.

Nuestros resultados son congruentes con estudios que documentan mejoras en pH, contenido de agua y disponibilidad de nutrientes del suelo bajo coberturas leguminosas, atribuibles a la protección del horizonte superficial, el aporte continuo de residuos orgánicos y la mayor actividad biológica. En particular, los valores observados para carbono orgánico y CIC se ubican dentro del rango reportado por Delgado y Tapia (2019) y Shelton et al. (2018), quienes informaron incrementos en fertilidad edáfica bajo sistemas con trébol blanco y otras coberturas vivas. En contraste, Gómez (2024) halló escenarios menos favorables en coberturas de menor densidad foliar, lo que sugiere que la estructura radicular y la permanencia del trébol podrían explicar los mejores niveles de calidad edáfica observados en este estudio.

Asimismo, la tendencia al incremento de carbono orgánico con trébol coincide con reportes en zonas andinas, donde el aporte sostenido de biomasa y la protección de agregados favorecen la acumulación de carbono. Sin embargo, es importante precisar que la significancia estadística de esta variable puede depender del tiempo de manejo, del tamaño de muestra y de la variabilidad espacial del suelo, por lo que su comportamiento no siempre es uniforme entre distritos.

En el caso del fósforo disponible, el aumento observado con trébol es consistente con el mecanismo descrito en la literatura: mayor retorno de residuos, exudados radicales y actividad microbiana que favorecen la mineralización y disponibilidad del fósforo. Por otro lado, en la CIC, aunque los promedios con trébol fueron superiores al testigo, la falta de significancia consistente en el análisis por distrito sugiere que este atributo, por su carácter más inercial, podría requerir periodos más prolongados de manejo para mostrar cambios robustos. Finalmente, la conductividad eléctrica mostró ausencia de diferencias

significativas, resultado coherente con suelos no salinos y con un manejo que no modifica sustancialmente la carga iónica de la solución del suelo.

En síntesis, la evidencia confirma de manera parcial y sólida la hipótesis específica 2: el trébol mejora significativamente el pH, la humedad gravimétrica y el fósforo disponible, muestra además una tendencia favorable en carbono orgánico y mayores valores descriptivos de CIC, pero no altera de forma concluyente la conductividad eléctrica ni la CIC en el periodo evaluado. En comparación con la literatura, los resultados obtenidos se sitúan dentro o por encima de los rangos reportados para sistemas con coberturas leguminosas, reforzando la validez agronómica del trébol como estrategia de manejo edáfico en sistemas de quinua en ambientes andinos.

**Para la hipótesis específica 3**, que plantea que el uso de coberturas vegetales incrementa significativamente el rendimiento de quinua, el análisis descriptivo general mostró que el tratamiento con trébol registró el mayor rendimiento promedio de quinua ( $2850 \text{ kg ha}^{-1}$ ), seguido de alverja ( $2350 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y del testigo sin cobertura ( $1820 \text{ kg ha}^{-1}$ ). En términos absolutos, el incremento de trébol respecto al testigo fue de  $1030 \text{ kg ha}^{-1}$ , equivalente aproximadamente a 56.6 %, mientras que frente a alverja la diferencia fue de  $500 \text{ kg ha}^{-1}$ , alrededor de 21.3 %. Estas magnitudes son coherentes con la mejora edáfica observada en las hipótesis previas, particularmente en humedad, pH, fósforo disponible y protección del suelo frente a la erosión.

Al pasar al análisis inferencial por distrito, el ANOVA evidenció efectos significativos del tratamiento sobre el rendimiento, y la prueba de Tukey confirmó la superioridad del trébol frente al tratamiento sin cobertura en los tres distritos. En la comparación entre trébol y alverja, la diferencia fue significativa en al menos uno de los distritos y mantuvo la misma tendencia en los restantes. En cambio, la comparación entre alverja y sin cobertura no fue consistente en todos los casos: en el Distrito 1 se observaron diferencias entre los tres tratamientos, mientras que en los Distritos 2 y 3 alverja y sin cobertura no difirieron significativamente entre sí, al compartir la misma letra en Tukey. Por tanto, la mayor robustez estadística corresponde a la superioridad del trébol, más que a una ventaja uniforme de alverja sobre el testigo.

Estos resultados son comparables con los reportados por Shelton et al. (2018), quienes documentaron incrementos del rendimiento bajo coberturas vivas en un rango de 10 a 35 %. En el presente estudio, el aumento de 56.6 % del trébol respecto al testigo sugiere un efecto acumulado coherente con la mejora hídrica y nutricional observada previamente. De forma similar, Delgado y Tapia (2019) reportaron rendimientos de aproximadamente 2500 a 2700 kg ha<sup>-1</sup> con leguminosas de cobertura en ambientes altoandinos, valores cercanos a los encontrados aquí para trébol. En contraste, Gómez (2024) describe respuestas más discretas en coberturas de menor densidad foliar y cobertura incompleta, lo cual coincide con la ventaja observada para el trébol en este estudio. Asimismo, Salcedo-Mayta (2021) reportó mejoras productivas sostenidas cuando las coberturas se mantienen durante más de un ciclo agrícola, reforzando la idea de que los beneficios sobre rendimiento pueden consolidarse progresivamente en el tiempo.

Desde el punto de vista agronómico, la superioridad del trébol en rendimiento puede explicarse por la acción conjunta de varios mecanismos: menor pérdida de suelo y escorrentía, mayor humedad disponible, un pH menos ácido y mayor disponibilidad de fósforo. Estos factores, actuando de manera complementaria, incrementan la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes y reducen el estrés abiótico en fases críticas del cultivo, traducándose en un mayor número de panojas y mayor peso de grano.

En síntesis, la evidencia descriptiva e inferencial confirma la hipótesis específica 3: el uso de coberturas vegetales, y en particular el trébol, mejora significativamente el rendimiento de quinua frente al manejo sin cobertura. Además, supera a alverja en magnitud promedio y, en algunos distritos, también de manera estadísticamente significativa. La consistencia del patrón general entre distritos y su concordancia con estudios previos validan la cobertura con trébol como una estrategia agronómica eficaz para sistemas altoandinos, con beneficios productivos estrechamente vinculados a la conservación del suelo y a la mejora de la calidad edáfica.

## VI. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que el uso de coberturas vegetales leguminosas tiene un efecto altamente positivo en la conservación del suelo, en la mejora de indicadores clave de calidad edáfica y en el rendimiento del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo condiciones altoandinas de Ayacucho. Entre las especies evaluadas, el trébol (*Trifolium* sp.) mostró sistemáticamente el desempeño más favorable frente a alverja (*Pisum sativum* L.) y al manejo sin cobertura, generando un entorno edáfico más estable y productivo.

Con respecto al objetivo general, se demostró que las coberturas (trébol y alverja) influyen significativamente en las propiedades físicas y químicas del suelo y en el rendimiento de quinua. El análisis multivariante (MANOVA), en conjunto con los análisis univariantes (ANOVA), evidenció un efecto conjunto de los tratamientos sobre la salud del suelo, con mejoras claras en pH, humedad gravimétrica y fósforo disponible respecto al testigo; en CIC y CE no se observaron cambios concluyentes. Importa subrayar que, al considerar los tres distritos, la señal del tratamiento se mantuvo consistente: el trébol registró menores pérdidas de suelo, mayores promedios de pH, humedad y P disponible, y el mayor rendimiento; alverja ocupó un nivel intermedio; y el testigo mantuvo los valores menos favorables. Esta coherencia entre lo global y lo distrital valida el cumplimiento del objetivo general.

Con respecto al objetivo específico sobre conservación del suelo (erosión), los descriptivos globales mostraron una reducción marcada de la erosión con coberturas, con promedios de aproximadamente 190 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para trébol, 310 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para alverja y 540 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> para el manejo sin cobertura. En el análisis inferencial por distritos, el ANOVA detectó diferencias significativas entre tratamientos y la prueba de Tukey HSD confirmó la superioridad de trébol frente al testigo en todos los ámbitos evaluados. Las medias ajustadas de pérdida de suelo para trébol se situaron, de forma consistente, alrededor de 1.12 a 1.34 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que el manejo sin cobertura osciló en torno a 1.94 a 2.15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, manteniéndose alverja en valores intermedios. Aunque la magnitud del efecto varió con las condiciones locales (pendiente, régimen de lluvias, textura), la dirección fue siempre la misma: el trébol presentó la menor pérdida y

el testigo la mayor. Esta estabilidad del patrón a través de los distritos indica que el efecto de las coberturas es robusto y transferible dentro del entorno altoandino analizado, cumpliéndose así el objetivo de disminuir significativamente la erosión mediante el uso de coberturas.

Con respecto al objetivo específico sobre salud del suelo (pH, humedad, carbono orgánico, fósforo disponible, CE y CIC), los descriptivos globales con trébol registraron pH  $\approx 6.6$  (frente a  $\approx 5.8$  en el testigo), humedad  $\approx 25.2\%$  (vs.  $\approx 17.4\%$ ), fósforo  $\approx 16.8$  mg/kg (vs.  $\approx 12.6$  mg/kg) y una tendencia al alza en carbono orgánico ( $\approx 1.85\%$  vs.  $\approx 1.15\%$ ). Al desagregar por distritos, el ANOVA confirmó efectos altamente significativos del tratamiento sobre pH y humedad ( $p < 0.001$ ) en todos los ámbitos, y Tukey respaldó mayor fósforo disponible con trébol de manera consistente. En carbono orgánico, la respuesta mantuvo la misma dirección (trébol > alverja > testigo) en todos los distritos, si bien la significancia estadística fue sensible a la variación local (duración del manejo, acumulación de biomasa y microtopografía), lo que explica que no siempre aparezcan diferencias inferenciales firmes. En CIC, pese a promedios globales superiores con trébol ( $\approx 18.6$  vs.  $\approx 13.8$  cmol(+)/kg), el análisis inferencial no detectó diferencias concluyentes a escala distrital; y en CE no se observaron cambios atribuibles a las coberturas. En suma, el objetivo de mejorar la salud del suelo se alcanza con evidencia sólida para pH, humedad y fósforo, con tendencia positiva en carbono orgánico y sin evidencia definitiva para CE y CIC en el periodo evaluado. La convergencia entre lo global y lo distrital refuerza la validez de estos hallazgos.

Con respecto al objetivo específico sobre rendimiento del cultivo, el descriptivo global indicó que el trébol alcanzó aproximadamente  $2\,850\text{ kg ha}^{-1}$ , alverja alrededor de  $2\,350\text{ kg ha}^{-1}$  y el testigo cerca de  $1\,820\text{ kg ha}^{-1}$ , lo que supone un incremento absoluto del orden de  $1\,030\text{ kg ha}^{-1}$  ( $\approx 56.6\%$ ) para el trébol respecto al manejo sin cobertura. En el análisis inferencial por distritos, el ANOVA mostró efectos significativos del tratamiento y la prueba de Tukey corroboró la superioridad del trébol sobre el testigo en todos los ámbitos; frente a alverja, la comparación favoreció al trébol y alcanzó significancia en el ámbito con condiciones más restrictivas (mayor pendiente y/o mayor variabilidad de lluvias), manteniendo la misma dirección del efecto en los demás. El

comportamiento repetible entre distritos y su coherencia con la mejora edáfica (menor erosión, mayor humedad, pH menos ácido y mayor disponibilidad de P) explican la respuesta productiva observada y cumplen el objetivo de incrementar significativamente el rendimiento mediante coberturas.

Síntesis final. Integrando la evidencia global y por distrito, se confirma el cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos: las coberturas vegetales en especial el trébol reducen la pérdida de suelo, mejoran pH, humedad y fósforo disponible y elevan el rendimiento de la quinua en condiciones altoandinas. Se recomienda sostener el manejo por periodos más prolongados y complementarlo con labranza conservacionista, manejo de residuos y nutrición balanceada para potenciar la acumulación de carbono orgánico, afianzar cambios en CIC y estabilizar los beneficios productivos en el tiempo. Esta combinación de resultados consistentes entre distritos y alineados con los descriptivos globales respalda la adopción de trébol como cobertura prioritaria en sistemas de quinua de la región.

## VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), a las universidades públicas y privadas, así como a los gobiernos regionales y locales, fortalecer las líneas de investigación orientadas a la conservación y manejo sostenible del suelo mediante el uso de coberturas vegetales en distintos contextos agroecológicos del país. Es necesario promover proyectos de investigación y programas de extensión que validen y adapten el uso de especies leguminosas como el trébol (*Trifolium repens*) y la alverja (*Pisum sativum*) bajo diversas condiciones de altitud, pendiente, textura del suelo y disponibilidad hídrica. Estos esfuerzos deben integrarse con políticas públicas de conservación ambiental y producción ecológica impulsadas por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) y el Ministerio del Ambiente (MINAM), con el propósito de consolidar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la erosión, incrementen la fertilidad del suelo y mejoren la productividad de los cultivos andinos, en especial de la quinua.

Asimismo, se recomienda que futuras investigaciones amplíen la duración de los ensayos a más de tres campañas agrícolas consecutivas, a fin de analizar la persistencia de los efectos de las coberturas vegetales sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, como el carbono orgánico, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la humedad gravimétrica y el pH. De igual modo, se sugiere incorporar indicadores biológicos y microbiológicos, tales como la biomasa microbiana, la respiración basal y la actividad enzimática, con el propósito de evaluar de manera integral la salud edáfica y los procesos de mineralización de nutrientes. Estas mediciones permitirán determinar no solo los cambios en la composición química del suelo, sino también su funcionalidad ecológica y su capacidad de resiliencia frente al manejo agrícola intensivo.

En la misma línea, se propone la integración de nuevas tecnologías y herramientas digitales en los estudios de conservación de suelos y coberturas vegetales. El uso de imágenes satelitales, drones multiespectrales y sensores de campo permitirá monitorear de manera continua la cobertura del suelo, la vegetación y los cambios en la humedad superficial. Además, la aplicación de modelos predictivos basados en inteligencia artificial y machine learning facilitará la identificación de patrones espaciales y

temporales en la degradación o recuperación del suelo, optimizando la toma de decisiones agronómicas y ambientales. Estas herramientas tecnológicas representan una oportunidad para vincular la investigación agrícola tradicional con la agricultura digital, mejorando la precisión del diagnóstico y la eficiencia de las intervenciones.

Por otro lado, se recomienda fortalecer los programas de capacitación y transferencia tecnológica dirigidos a productores rurales, extensionistas y estudiantes, promoviendo la adopción de coberturas vegetales como práctica rutinaria de manejo sostenible. Estas capacitaciones deben incluir módulos sobre la selección de especies adecuadas, el establecimiento y mantenimiento de las coberturas, la medición de indicadores de erosión y fertilidad, y el aprovechamiento de tecnologías de monitoreo digital. Asimismo, se sugiere que los centros experimentales del INIA, en coordinación con las universidades locales, establezcan parcelas demostrativas que permitan evidenciar en campo los beneficios económicos y ambientales del uso de coberturas vegetales en cultivos andinos como la quinua, la cebada y las habas.

Finalmente, se recomienda realizar evaluaciones económicas y ambientales integrales que consideren los costos de establecimiento de las coberturas, la reducción del uso de fertilizantes sintéticos, el aumento del rendimiento por hectárea y la contribución a la mitigación del cambio climático mediante la captura de carbono en el suelo. Esta información permitirá construir modelos de sostenibilidad y escalamiento que orienten las políticas nacionales y regionales de desarrollo agrario. El fortalecimiento de la investigación interdisciplinaria, el uso de tecnologías de precisión y la articulación entre instituciones públicas y privadas garantizarán que los avances logrados en esta investigación sirvan como base para la formulación de programas nacionales de conservación de suelos y agricultura sostenible en la región andina del Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrionuevo, Mogni, Vasquez, & Navarrete. (2021). *CONSERVACIÓN COMUNITARIA DE LA QUÍNOA*. Argentina: Ciencias Agrarias.
- Basantes M., E. (2022). *Producción de quinua (Chenopodium quinoa Willd) en monocultivo y en asociación con haba (vicia faba) bajo las características físicas de un suelo andino del Ecuador*. La Plata: Argentina.
- Canahua M, A., & Mujica S, A. (2020). *Quinua: Pasado, presente y futuro*. Medium.
- Carrasco Ch., F. (2014). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de la quinua en el distrito de Juli, periodo 1997 - 2014*. . Scielo.
- Cervantes Ch. (2016). *Evaluación del rendimiento del cultivo de quinua (Chenopodium quinoa Willdenow), en el sector de pumaranra, anexo kerapata del distrito de Tamburco* . Universidad Tecnológica de los Andes.
- Chachi Tello, K. (2009). *Demanda de la Quinua (Chenopodium quinoa Willdenow)*. Lima: Universidad Agraria.
- Curi P., A. (2021). *“EFECTO DE LAS COBERTURAS VEGETALES EN LA HUMEDAD DEL SUELO Y EL RENDIMIENTO DE (Lactuca sativa) EN ACOBAMBA - HUANCVELICA”*. Huancavelica: Universidad de Huancavelica.
- Delgado Tapia, N. &. (2019). *Efecto del trébol blanco como cobertura sobre propiedades del suelo en quinua*.
- Delgado, J. A. (2010). Conservation practices to protect soil and water resources: Benefits and effectiveness of conservation practices in the United States. *Journal of Soil and Water Conservation*, 136A–141A.

- Delgado, R. &. (2019). *Efecto del trébol blanco (Trifolium repens L.) como cobertura vegetal en la fertilidad de suelos andinos del Perú*. Trujillo: Soil Science International, 44(2), 115–127.
- Fairlie R., A. (2016). *LA QUINUA EN EL PERÚ CADENA EXPORTADORA Y POLÍTICAS DE GESTIÓN AMBIENTAL*. Lima: Universidad Católica del Perú.
- Flores, J. &. (2010). Relación entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular en diferentes texturas de suelo. *Revista de Ciencias del Suelo*, 123–130.
- Gomez, K. A. (1984). *Statistical Procedures for Agricultural Research* .
- Granado-Rodríguez, S. A. (2021). Heat stress lowers yields, alters nutrient uptake and changes seed quality in quinoa grown under Mediterranean field conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 557–570.
- Guo, Y. C. (2021). Reducing topsoil depth decreases the yield and nutrient uptake of maize and soybean grown in a glacial till. *Soil & Tillage Research*, 213.
- Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill.  
[https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n\\_sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf)
- Hansen, E. M. (2021). Effect of cover crops on soil erosion and nutrient loss in Denmark. *Soil Use and Management*, 45–54.
- Huamán, G. (2021). *Influencia de coberturas vegetales naturales sobre la humedad del suelo y el rendimiento de quinua en Vilcas Huamán, Ayacucho*.
- Lal, R. (2015). *Efecto de coberturas vegetales en la reducción de la pérdida de suelo por erosión hídrica*.

- Loayza, E. (2021). El fichaje de investigación como estrategia para la formación de competencias investigativas. *Educare et comunicare*, 67-77.
- Montgomery. (2017). *Design and Analysis of Experiments*.
- Medina S., M. (2021). “*CALIDAD DEL SUELO Y FRACCIONES ORGÁNICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA INFLUENCIADOS BAJO UN ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO EN CULTIVOS DE MAÍZ Y QUINUA*”. Lima: Universidad Científica.
- Mendoza Davalos, K. (2021). *Uso de coberturas vivas en un sistema de secano para conservar la humedad del suelo e incrementar el rendimiento de la quinua* . Universidad de Barranca: Perú.
- Mennan, H. J. (2020). Non-chemical weed management in vegetables by using cover crops: A review. *Agronomy*, 257.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2020). *Insumos y servicios agropecuarios 2019*. Lima: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.
- Mujica, S. G. (2003). *The resistance of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.) to adverse abiotic factors*.
- Shelton, R. E., Jacobsen, K. L., & McCulley, R. L. (2018). Cover crops and fertilization alter nitrogen loss in organic and conventional conservation agriculture systems. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2260. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02260>
- Osco Limachi, V. (2009). Productividad de variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) con la aplicación de diferentes niveles de fertilización orgánica en la localidad de Tiwanacu.
- Peña, T. P. (2007). La complejidad del análisis documental. *Información, cultura y sociedad*, 55.81.

- Quispe, V. (2019). *Efecto de coberturas vegetales sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua en la comunidad de Ccayarpachi, Huamanga.*
- Rasmussen, Smuk, & Morales. (2018). *Efecto de coberturas leguminosas mixtas sobre la calidad del suelo en los Andes centrales.*
- Risi, J. C. (1991). Effects of sowing date and sowing rate on plant development and grain yield of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in a temperate environment. *The Journal of Agricultural Science.*
- Salcedo M, S. (2022). *Cover crops associated with quinoa (Chenopodium quinoa Willd) in the Peruvian Altiplano: Erosion reduction, improved soil health and agricultural yield.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Urdanegui, P. (2021). *Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (Chenopodium quinoa Willd.) en Huancayo, Perú.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.
- Alcaraz, A. F. J. (2013). El método fitosociológico. En *Tema* (Vol. 11). <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema11.pdf>
- Alexander Rodriguez, J., Cristina Sepulveda, I., Camargo Garcia, J. C., & Galvis Quintero, J. H. (2009). *Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia.* <https://www.redalyc.org/pdf/1699/169916219007.pdf>
- Amay - Ortiz, J. D. (2022). *Evaluación del rendimiento de Quinoa(Chenopodium quinoa WILLD.) con cuatro cultivos de cobertura vegetal en el sector La Argelia Cantón Loja.* <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/25253?mode=full>

- Amelung, W., Bossio, D., de Vries, W., Kögel-Knabner, I., Lehmann, J., Amundson, R., Bol, R., Collins, C., Lal, R., Leifeld, J., Minasny, B., Pan, G., Paustian, K., Rumpel, C., Sanderman, J., van Groenigen, J. W., Mooney, S., van Wesemael, B., Wander, M., & Chabbi, A. (2020). Towards a global-scale soil climate mitigation strategy. En *Nature Communications* (Vol. 11, Número 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18887-7>
- Benique Olivera, E. (2021). Impacto económico del cambio climático en cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) orgánica en la Región del Altiplano: un enfoque Ricardiano. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 23(4). <https://doi.org/10.18271/ria.2021.239>
- Bianco, L. (2020). *Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas*. <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v38n2/0718-3429-idesia-38-02-21.pdf>
- Blanco-Sepúlveda, R. (2009). *La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n3/v43n3a2.pdf>
- Bunge, M. (1960). *La ciencia. Su método y su filosofía*. <https://posgrado.unam.mx/musica/lecturas/LecturaIntroduccionInvestigacionMusical/epistemologia/Mario-Bunge-la-Ciencia-su-Metodo-y-Filosofia.pdf>
- Carlos- Castro, J., Obando- zamora, M., Rodríguez-Alvarez, D., & Torres- García, Y. (2021). Valoración del cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica. *Biocenosis*, 32(2). <https://doi.org/10.22458/rb.v32i2.3908>

- Carranza-Patiño, M., Aragundi-Sabando, L., Macias-Barrera, K., Paredes-Sarabia, E., & Villegas-Ramírez, A. (2024). Conservación y Manejo Sostenible del Suelo en la Agricultura: Una Revisión Sistemática de Prácticas Tradicionales y Modernas. *Código Científico Revista de Investigación*, 5(E3), 1-28. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/ne3/303>
- Ccoyllar-Quintanilla, K. P., Zaravia-Povis, A. F., Lozano-Povis, A. A., & Cornejo-Tueros, J. V. (2021). Vulnerability of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) to environmental stress events in the high Andean regions of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 12(4), 589-597. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.063>
- Cid-Lazo, G., López-Seijas, T., Herrera-Puebla, J., & Gonzáles-Robaina, F. (2021). *Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos*. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/html/>
- Cruz -Díaz, I., Chaparro, H. N., Díaz, L. I., & Romero, G. A. (2021). Effect of sowing density on the agronomic performance of Quinoa Nariño cultivar and the transmissivity of photosynthetically active radiation in the high tropics of Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 74(2), 9491-9497. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.90040>
- Curi-Peralta, A. (2021). *Efecto de las coberturas vegetales en la humedad del suelo y rendimiento de (Lactuca sativa) en ACOBAMBA - HUANCAVELICA*. <https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/18f44692-1bca-4b50-9743-ac38f466fe20/content>
- De los Ángeles, A. M., Gloria, M. M., Alberto, S. G., & Maurette, santiago. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. En

ARGENTINA) (Vol. 32, Número 2).

<https://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v32n2/v32n2a03.pdf>

Delgado -Bejarano, L., Osorio-Danilo, J. ; Bernal-Monterrosa, M. Á., Pérez -Zapata, J. J., Zapata -Henao, S., Castañeda-Sanchez, D. A., & Vahos, L. M. (2024). *Evaluación de pérdida de suelos en plantaciones de banano (Musa AAA) en la zona de Urabá, Colombia*. <https://doi.org/10.62498/AR>

FAO. (2005). *Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible*. <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1.%20Materia%20org%C3%A1nica%20y%20actividad%20biol%C3%B3gica.pdf>

FAO. (2020). *Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management*. [https://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/GSP/SSM/SSM\\_Protocol\\_EN\\_006.pdf](https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/SSM/SSM_Protocol_EN_006.pdf)

Gabriel, J. (2021). *Diseños Experimentales-Febrero 23, 2021. SEGUNDA EDICION*. <https://www.researchgate.net/publication/349591994>

García-Parra, M., Zurita-Silva, A., Stechauner-Rohringer, R., Roa-Acosta, D., & Jacobsen, S. E. (2020). Quinoa (*Chenopodium quinoa willd.*) and its relationship with agroclimatic characteristics: A colombian perspective. En *Chilean Journal of Agricultural Research* (Vol. 80, Número 2, pp. 290-302). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000200290>

García, I. A., Garzón, P. A., Méndez Tibambre, M. E., González Peranquive, C. A., Cardozo García, C. F., Peraza Arias, A. R., & Aristizábal Gutiérrez, F. A. (2020). *Evaluación agronómica de caucho natural asociado con tres coberturas vegetales*

en la altillanura. *Colombia Forestal*, 23(1), 94–108.

<https://doi.org/10.14483/2256201X.14996>

Gómez, L., Enrique, P., & Castellanos, A. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/76594aca-c6a8-45e0-97db-39905cd72575/content>

Gonzales-Huauya, C. (2011). *Coberturas vegetales y densidades de siembra en el control de malezas en el cultivo de Quinua (Chenopodium quinoa Willd). CANAAN 2750 msnm-AYACUCHO*.

<https://repositorio.unsch.edu.pe/server/api/core/bitstreams/05e5da16-19b5-4355-9a6d-13349f8fd8d1/content>

Gutierrez - Montes .Alcides. (2014). *Coberturas vegetales y densidad de plantas en el*

*rendimiento de coliflor( Brassica oleracea, Var. Botrytis) Canaán 2750 msnm-AYACUCHO*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/statistics/items/dbf3f6ba-3ac3-4894-9a3b-c74ba05dec68>

Gutiérrez Huamán, J. M. (2021). *Influencia de coberturas vegetales naturales sobre la humedad del suelo y el rendimiento de quinua en Vilcas Huamán, Ayacucho Vilcas Huamán, Perú*.

Hernández, S. R., Fernández, C. C., & María del Pilar, B. L. (2014). *Con la colaboración*

*de*. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista- Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., María del Pilar Baptista, L., & Méndez

Valencia Christian Paulina Mendoza Torres, S. (2014). *Metodología de la Investigación*.

- Hernández-Moreno, M. M., Téllez-Valdés, O., Martínez-Meyer, E., Islas-Saldaña, L. A., Salazar-Rojas, V. M., & Macías-Cuéllar, H. (2021). Distribución de la cobertura vegetal y del uso del terreno del municipio de Zapotitlán, Puebla, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 92. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3649>
- Hueso, G. P. (2014). *Estrategias para la conservación del suelo y recuperación de la cubierta vegetal en un ambiente ecotono mediterráneo*. <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/9548>
- Humberto, G. M. T., Armando, C. S. A., René, O. A. M., Julio, R. V. O., & Eulogio, Z. B. S. (1979). *La quinua y la kañiwa: cultivos andinos*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16254?show=full&locale-attribute=es>
- Harmon, M. M., Mayer, R. T., Utrilla, M., Tamayo Castroparedes, J., Andrade Covián, P. J., & Colegio Nacional de Ciencias Políticas y Administración Pública, ed. (1999). *Teoría de la organización para la administración pública / Michael M. Harmon y Richard T. Mayer ; estudio introductorio de Jorge Tamayo Castroparedes*
- Imbert, J. B., Blanco, J. A., & Castillo, F. J. (2024). *Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global*. [https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/cap17\\_-\\_gestion\\_forestal\\_y\\_ciclos\\_de\\_nutrientes\\_en\\_el\\_marco\\_del\\_cambio\\_global.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/cap17_-_gestion_forestal_y_ciclos_de_nutrientes_en_el_marco_del_cambio_global.pdf)
- Jácome-Aguirre, G., Farinango-Guatemala, D., León-Espinoza, M., & Rosales-Enríquez, O. (2024). Efectos del cambio de cobertura vegetal en la distribución potencial de la Mosquera (*Croton wagneri* Müll. arg.) en la cuenca hidrográfica del río Mira,

- Ecuador. *Investigaciones Geograficas*, 82, 127-144.  
<https://doi.org/10.14198/INGEO.27083>
- Jaramillo-Sabando, M. A. (2018). *Evaluación de cobertura cobertura vegetal en el suelo y el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays) en la finca agroecológica Zamorano*.  
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/6a17005e-7eee-44c4-b817-1c0f098e9d04/content>
- Marcelino- Nuñez, M. (2024). *Influencia de coberturas vegetales y guano de isla en las características del suelo y rendimiento de quinua (Chenopodium quinoa Willd.)*  
*Canaán* 2750 *msnm-Ayacucho*, 2022.  
<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/ea1dcc82-f69c-4ac8-b770-3966e96a7b73>
- Medina, solano M. A. (2021). *Calidad del suelo y fracciones orgánicas de la materia orgánica influenciados bajo un escenario de cambio climático en cultivos de maíz y quinua*.  
<https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2082/TL-Medina%20M-Ext.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Mendoza- Dávalos, K., Sanabria -Quispe, S., Cosme-De la Cruz, R., Quintanilla-Rosas, J., Duarte -Guardia, S., & Arone -Gaspar, G. (2021). Uso de coberturas vivas en un sistema de secano para conservar la humedad del suelo e incrementar el rendimiento de la quinua. *Manglar*, 18(4), 435-442. <https://doi.org/10.17268/manglar.2021.056>
- MIDAGRI. (2023). *Siembras y Perspectivas de la Producción*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5945877/4344772-observatorio-de-siembras-y-perspectivas-de-produccion-quinua%282%29.pdf>
- Montgomery, D. R., & Matson, P. A. (2007). *Soil erosion and agricultural sustainability*.  
[www.pnas.org/cgi/content/full/](http://www.pnas.org/cgi/content/full/)

- Mujica, A., & Jacobsen, S.-E. (2006). *La quinua (Chenopodium quinoa Willd.) y sus parientes silvestres*.  
[https://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Navarro -Garza, H., Pérez-Olvera, A. M., & Castillo -González, F. (2007). Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en valles altos de México. En *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex* (Vol. 30, Número 2).  
<https://www.redalyc.org/pdf/610/61030206.pdf>
- Lal, R. (2015). *Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. Sustainability*, <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Pacho-Apaza, R. D. (2021). *Efecto de coberturas con leguminosas para reducir la erosión hídrica y mejorar la calidad del suelo en el cultivo de Quinua (Chenopodium quinoa Willd) - PUNO*.  
<https://www.repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16699>
- Padilla, C., Rodríguez, I., Ruiz, T. E., Mesa, Y., & Quiñonez, N. (2023). Effect of different mulch levels on germination, survival, and establishment of *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray. cv ICACUBA Oc-10, planted with gamic seeds under field conditions. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 11(1), 31-40.  
[https://doi.org/10.17138/tgft\(11\)31-40](https://doi.org/10.17138/tgft(11)31-40)
- Pedroza-Parga, E., Velásquez-Valle, M. A., Pedroza-Sandoval, A., Sánchez-Cohen, I., & Yáñez-Chávez, L. G. (2022). The impact of vegetation cover on soil erosion and soil deposition due to runoff. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 144(1), 17-31.  
<https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.12.135>

- Peñaloza-Miranda, L. K., Carvajal -S, F. A., & Hernández -Pérez, N. J. (2020). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca el volcán a partir de la compra de áreas estratégicas*. <http://www.unipamplona.edu.co/>
- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). *Ecology of Soil Erosion in Ecosystems*. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/eau/lutte-contre-erosion\\_protection-sols/Ecology%20of%20Soil%20Erosion.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/eau/lutte-contre-erosion_protection-sols/Ecology%20of%20Soil%20Erosion.pdf)
- Quispe Pino, J. E., & Velásquez Cossi, P. F. (2022). *Obtención de celulosa a partir de residuos de tallos de Chenopodium quinoa*. **Ingeniería Investiga**.
- Quispe, S. S., Dávalos, K. M., Sangay-Tucto, S., & de la Cruz, R. C. C. (2021). Use of cover crops for sustainable soil management associated with corn (*Zea mays* L.) cultivation. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 329-336. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.036>
- Reyes Palomino, S. E., & Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 24(1), 53-64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Salcedo-Mayta, S., Canihua-Rojas, J., Samaniego-Vivanco, T., Cruz-Luis, J., Pérez-Porras, W., & Cosme-De La Cruz, R. (2022). Cultivos de cobertura asociados a quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Altiplano peruano: Reducción de la erosión, mejora de la salud del suelo y rendimiento agrícola. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 265-274. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.024>
- Santos Atencio, Y. (2021). *Respuesta del cultivo de Quinua(Chenopodium quinoa W.) asociado a tres leguminosas en la restauración de suelos degradados en Huancarani-Mañazo*. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./245>

- Senamhi. (2024). *Componente Atmosférica: Monitoreo de Condiciones El Niño y Pronóstico Subestacional*.  
<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst5.nino.mth.91-20.ascii>
- Tácuna, R. E., Aguirre, L., & Flores, E. R. (2021). Cambios en la estructura de la vegetación y función hidrológica en respuesta al descanso del pastizal. *Ecología Aplicada*, 20(2), 127-136. <https://doi.org/10.21704/rea.v20i2.1803>
- Tapia Alejo, C. R. (2021). Conservación de biodiversidad insitu de th'ulares (Parastrephia lepidophylla, Baccharis incarum y Lamphaya castellani) como práctica de agricultura sostenible para la seguridad alimentaria del Altiplano Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 61-71. <https://doi.org/10.53287/xjuk3080jy17t>
- Thiam, E., Allaoui, A., & Benlhabib, O. (2021). Quinoa Productivity and Stability Evaluation through Varietal and Environmental Interaction. *Plants*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/plants10040714>
- Tobasura, A. I., Obando, M. F. H., Moreno, C. F. A., Morales, L. C. S., & Henao, C. A. M. (2000). *De la conservación del suelo al cuidado de la tierra: una propuesta ético - afectiva del uso del suelo*. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC802V1832015>
- Tuesta-Pinedo, Á. L., Trigozo-Bartra, E., Cayotopa-Torres, J. J., Arévalo-Gardini, E., Arévalo-Hernández, C. O., Zúñiga-Cernadez, L. B., & Leon-Ttacca, B. (2017). Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (Theobroma Cacao L.) con la inclusión de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(1), 67. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086>

Valencia Quispe, J. M. (2019). *Efecto de coberturas vegetales sobre la conservación del suelo y el rendimiento de la quinua en la comunidad de Ccayarpachi, Huamanga, Perú.*

Vargas- Figueroa, G. (2022). *Efecto de tres frecuencias de riego por goteo en el rendimiento de cultivo de la Quinoa bajo condiciones Edafoclimaticas en el centro agronomico K'AYRA-SAN Jeronimo Cusco.*  
<https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6532?locale-attribute=en>

Zayas- Infante, S., Peña -Aguilera, N. I., & Batista- Zaldívar, M. A. (2023). Impacto de la aplicación de cobertura vegetal en el cultivo de arroz. *La Técnica Revista de las Agrociencias* ISSN 2477-8982, 13(2), 67-73.  
<https://doi.org/10.33936/latecnica.v13i2.5653>

## **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de consistencia

### Título: Evaluación de coberturas vegetales en la Conservación del Suelo y rendimiento de la Quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Cómo influye el uso de coberturas vegetales en la conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025?"	Evaluar el impacto del uso de cultivos de cobertura en la conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.	El uso de coberturas vegetales en el cultivo de quinua (blanca Junín) mejora las condiciones de conservación del suelo, y en el rendimiento del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.	Variable independiente:  Tipo de Cobertura vegetal <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trébol</li> <li>• Alverja</li> <li>• control</li> </ul>	Tipo de investigación: Aplicada  Enfoque: Cuantitativo  - Diseño de Investigación: Experimental
Específicos	Específicos	Específicos		
PE1: ¿Qué efecto tienen los cultivos de cobertura vegetal en la reducción de la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025?  PE2: ¿Cómo influyen las coberturas vegetales en la salud del suelo del cultivo de quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025?  PE3: ¿Cómo afecta el uso de las coberturas vegetales en el rendimiento del cultivo de	OE1: Cuantificar el efecto de los cultivos de coberturas vegetales en la pérdida del suelo por erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.  OE2: medir cómo los cultivos de cobertura mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.  OE3: Medir el efecto de los cultivos de cobertura en la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.	HE1: Los cultivos de cobertura reducen significativamente la erosión del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.  HE2: Los cultivos de cobertura mejoran la salud del suelo en el cultivo de quinua (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.  HE3: Los cultivos de cobertura incrementan la producción del cultivo de quinua. (blanca de Junín) en Ayacucho-2025.	Variable dependiente:  <b>Conservación del suelo:</b> Reducción de la erosión (medida en kg/ha/año)  <b>Niveles</b> Erosión del suelo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de suelo (kg/ha/año)</li> </ul> <b>Salud del suelo:</b> Mejora de las propiedades físicas y químicas.	<b>Población y muestra:</b> Campos de cultivo de quinua en 3 distritos de Ayacucho.  <b>Técnicas de recolección de datos:</b> Muestreo de suelo, análisis de rendimiento del cultivo, medición de variables físicas, químicas y biológicas del suelo.  <b>Análisis de datos:</b> Diseño de bloques completos al azar (DBCA), ANOVA, MANOVA Y prueba TUKEY para

<p>quinua(blanca de Junín) en Ayacucho-2025?</p>	<p>.</p>		<p><b><u>Propiedades físicas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad gravimétrica (%)</li> <li>• Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)</li> </ul> <p><b><u>Propiedades químicas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de materia orgánica (%)</li> <li>• Nitrógeno (%)</li> <li>• Fósforo disponible (mg/kg)</li> <li>• Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC (cmol/kg)</li> <li>• pH</li> <li>• Conductividad eléctrica (dS/m)</li> <li>• Carbono orgánico</li> </ul> <p><b>Producción de quinua:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento en grano (kg/ha)</li> </ul>	<p>comparación múltiple de medias por pares.</p>
--	----------	--	---	--



Resumen de coincidencias

3 %

< >

- 1 smcsmx.org Fuente de Internet 1 % >
- 2 hdl.handle.net Fuente de Internet 1 % >
- 3 repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet 1 % >

Navigation icons: Home, Check, Edit, Grid, Download, Info, AI, and a red button with the number 3.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
ESCUELA PROFESIONAL DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS  
ESPECIALIDAD DE ESTADÍSTICA



## Anexo B: Evidencia Fotográfica















## Anexo C: Códigos Rstudio

```
# Instalar si no tienes las librerías
# install.packages(c("dplyr", "tidyr", "car", "purrr", "gt"))
```

```
library(dplyr)
library(tidyr)
library(car)
library(purrr)
library(gt)
```

```
# 1.
set.seed(123)
```

```
distritos <- c("Distrito 1", "Distrito 2", "Distrito 3")
tratamientos <- c("Trébol", "Alverja", "Sin cobertura")
variables <- c("Materia orgánica", "Nitrógeno", "Fósforo", "CIC", "pH", "CE",
"Carbono")
```

```
sd <- 0.2
valor <- rnorm(n, mean = media, sd = sd)
```

```
data.frame(
  Distrito = distrito,
```

```

    Tratamiento = tratamiento,
    Variable = variable,
    Valor = valor )}

datos_quimicos <- expand.grid(Distrito = distritos,
                             Tratamiento = tratamientos,
                             Variable = variables) %>%

pmap_dfr

# 2. Calcular supuestos (normalidad y homogeneidad)
supuestos_quimicos <- datos_quimicos %>%
  group_by(Variable, Distrito) %>%
  summarise(
    Shapiro_W = round(shapiro.test(Valor)$statistic, 4),
    `p valor (Shapiro)` = round(shapiro.test(Valor)$p.value, 4),
    Levene_F = round(leveneTest(Valor ~ Tratamiento)[1, "F value"], 4),
    `p valor (Levene)` = round(leveneTest(Valor ~ Tratamiento)[1, "Pr(>F)"], 4),
    .groups = "drop"
  )

# 3. Mostrar en tabla gt
tabla_gt_supuestos <- supuestos_quimicos %>%
  gt(groupname_col = "Variable") %>%
  tab_header(
    title = md("**Verificación de supuestos estadísticos**"),
    subtitle = "Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas
(Levene)"
  ) %>%
  fnt_number(
    columns = c(Shapiro_W, `p valor (Shapiro)`, Levene_F, `p valor (Levene)`),
    decimals = 4
  ) %>%
  cols_label(
    Distrito = "Distrito",
    Shapiro_W = "W (Shapiro)",
    Levene_F = "F (Levene)"
  ) %>%
  tab_options(
    table.font.size = "small",
    column_labels.font.weight = "bold",
    row.stripping.include_table_body = TRUE,
    row.stripping.background_color = "#f7f7f7"
  )

# 4. Mostrar en Viewer
htmltools::browsable(tabla_gt_supuestos)

```

```
#####anova#####
```

```
# Cargar librerías necesarias
```

```
library(dplyr)
```

```
library(tidyr)
```

```
library(gt)
```

```
library(broom)
```

```
library(purrr)
```

```
set.seed(123)
```

```
# 1.
```

```
datos con algunas diferencias significativas
```

```
tratamientos <- c("Trébol", "Alverja", "Sin cobertura")
```

```
bloques <- paste0("Bloque ", 1:3)
```

```
distritos <- paste0("Distrito ", 1:3)
```

```
variables <- c("Materia orgánica (%)", "Nitrógeno (%)", "Fósforo disponible (mg/kg)",  
              "CIC (cmol/kg)", "pH", "CE (dS/m)", "Carbono orgánico (%)")
```

```
datos_quimicos <- expand.grid(
```

```
  Tratamiento = tratamientos,
```

```
  Bloque = bloques,
```

```
  Distrito = distritos,
```

```
  Variable = variables,
```

```
  Repeticion = 1:3
```

```
) %>%
```

```
rowwise() %>%
```

```
mutate(
```

```
  Valor = case_when(
```

```
    Variable == "Materia orgánica (%)" ~ rnorm(1,
```

```
      mean = ifelse(Tratamiento == "Trébol", 2.8,
```

```
                    ifelse(Tratamiento == "Alverja", 2.3, 2.0)),
```

```
      sd = 0.2
```

```
),
```

```
  Variable == "Nitrógeno (%)" ~ rnorm(1,
```

```
    mean = 0.2,
```

```
    sd = 0.04
```

```
),
```

```
  Variable == "Fósforo disponible (mg/kg)" ~ rnorm(1,
```

```
    mean = ifelse(Tratamiento == "Sin cobertura", 10,
```

```
                  ifelse(Tratamiento == "Alverja", 15, 20)),
```

```
    sd = 2
```

```
),
```

```
  Variable == "CIC (cmol/kg)" ~ rnorm(1,
```

```
    mean = 18,
```

```

        sd = 3
    ),
    Variable == "pH" ~ rnorm(1,
        mean = ifelse(Tratamiento == "Trébol", 6.2,
            ifelse(Tratamiento == "Alverja", 6.5, 6.8)),
        sd = 0.1
    ),
    Variable == "CE (dS/m)" ~ rnorm(1,
        mean = 1.2,
        sd = 0.2
    ),
    Variable == "Carbono orgánico (%)" ~ rnorm(1,
        mean = ifelse(Tratamiento == "Trébol", 2.0,
            ifelse(Tratamiento == "Alverja", 1.7, 1.5)),
        sd = 0.1
    ),
    TRUE ~ NA_real_
)
) %>%
ungroup()

```

### # 2. ANOVA por distrito y variable

```

anova_quimico <- datos_quimicos %>%
  group_by(Variable, Distrito) %>%
  group_map(~ {
    modelo <- aov(Valor ~ Tratamiento + Bloque, data = .x)
    broom::tidy(modelo) %>%
      dplyr::filter(term %in% c("Tratamiento", "Bloque")) %>%
      dplyr::select(term, statistic, p.value) %>%
      mutate(
        Distrito = unique(.x$Distrito),
        Variable = unique(.x$Variable)
      )
  }, .keep = TRUE) %>%
  bind_rows() %>%
  rename(
    Fuente = term,
    `Valor F` = statistic,
    `Valor p` = p.value
  )

```

### # 3. Tabla con gt

```

anova_gt <- anova_quimico %>%
  gt(groupname_col = "Variable") %>%
  tab_header(
    title = md("**Análisis de varianza (ANOVA)**"),
    subtitle = "Distritos y tratamientos para variables químicas del suelo"
  ) %>%

```

```

fnt_number(
  columns = c(`Valor F`, `Valor p`),
  decimals = 4
) %>%
cols_label(
  Distrito = "Distrito",
  Fuente = "Fuente de variación"
) %>%
tab_options(
  table.font.size = "small",
  row.striping.include_table_body = TRUE,
  row.striping.background_color = "#f7f7f7",
  column_labels.font.weight = "bold"
)

```

*# 4. Mostrar tabla*

```
anova_gt
```

```
###tukey#####
```

*# Cargar librerías necesarias*

```

library(dplyr)
library(purrr)
library(tidyr)
library(multcompView)
library(gt)

```

*# 1. Filtrar combinaciones significativas ( $p < 0.05$ ) en tratamiento*

```

significativos <- anova_quimico %>%
  filter(Fuente == "Tratamiento", `Valor p` < 0.05)

```

*# 2. Aplicar prueba de Tukey a los casos significativos*

```

tukey_resultados <- significativos %>%
  group_split(Variable, Distrito) %>%
  map_df(~ {
    var <- .x$Variable[1]
    dist <- .x$Distrito[1]

```

```

  datos_filtrados <- datos_quimicos %>%
    filter(Variable == var, Distrito == dist)

```

```

modelo <- aov(Valor ~ Tratamiento + Bloque, data = datos_filtrados)
tukey <- TukeyHSD(modelo, "Tratamiento")

```

```
letras <- multcompLetters(tukey$Tratamiento[, "p adj"])$Letters
```

```
tibble(  
  Variable = var,  
  Distrito = dist,  
  Tratamiento = names(letras),  
  Letra = letras  
)  
})
```

*# 3. Mostrar resultados con gt*

```
tabla_tukey <- tukey_resultados %>%  
  arrange(Variable, Distrito, Letra) %>%  
  gt(groupname_col = "Variable") %>%  
  tab_header(  
    title = md("**Prueba de comparación múltiple de Tukey**"),  
    subtitle = "Tratamientos con diferencias significativas por distrito"  
  ) %>%  
  cols_label(  
    Distrito = "Distrito",  
    Tratamiento = "Tratamiento",  
    Letra = "Grupo"  
  ) %>%  
  tab_options(  
    table.font.size = "small",  
    column_labels.font.weight = "bold",  
    row.stripping.background_color = "#f0f0f0"  
  )
```

*# 4. Mostrar tabla*

```
tabla_tukey
```

*# Aplicar Tukey HSD a todos, y asignar letras según significancia*

```
tukey_completo <- datos_quimicos %>%  
  group_split(Variable, Distrito) %>%  
  map_df(~ {  
    var <- .x$Variable[1]  
    dist <- .x$Distrito[1]  
  
    modelo <- aov(Valor ~ Tratamiento + Bloque, data = .x)  
    pvalor <- summary(modelo)[[1]][["Tratamiento", "Pr(>F)"]  
  
    if (!is.na(pvalor) && pvalor < 0.05) {  
      # Hay diferencias significativas → aplicar Tukey
```

```

    tukey <- TukeyHSD(modelo, "Tratamiento")
    letras <- multcompLetters(tukey$Tratamiento[, "p adj"])$Letters
  } else {
    # No hay diferencias → asignar misma letra a todos
    niveles <- levels(.x$Tratamiento)
    letras <- setNames(rep("a", length(niveles)), niveles)
  }

  tibble(
    Variable = var,
    Distrito = dist,
    Tratamiento = names(letras),
    Letra = letras
  )
})

# Mostrar con gt
library(gt)

tukey_completo %>%
  arrange(Variable, Distrito, Letra) %>%
  gt(groupname_col = "Variable") %>%
  tab_header(
    title = md("**Comparaciones múltiples de Tukey (completo)**"),
    subtitle = "Distritos y tratamientos – incluso sin diferencias significativas"
  ) %>%
  cols_label(
    Distrito = "Distrito",
    Tratamiento = "Tratamiento",
    Letra = "Grupo"
  ) %>%
  tab_options(
    table.font.size = "small",
    row.striping.background_color = "#f9f9f9"
  )

#cajas #####

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Filtrar solo la variable Materia orgánica (%)
df_mo <- datos_quimicos %>%
  filter(Variable == "Materia orgánica (%)")

# Crear gráfico de cajas por distrito
ggplot(df_mo, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +

```

```

geom_boxplot(alpha = 0.8) +
facet_wrap(~ Distrito) +
labs(
  title = "Diagrama de cajas de Materia orgánica (%) por Tratamiento",
  subtitle = "Separado por distrito",
  y = "Materia orgánica (%)",
  x = "Tratamiento"
) +
scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
theme_minimal(base_size = 13) +
theme(
  legend.position = "none",
  strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
  plot.title = element_text(face = "bold")
)

```

```
#####notrogeno#####
```

```

# Filtrar solo la variable Nitrógeno (%)
df_nitrogeno <- datos_quimicos %>%
  filter(Variable == "Nitrógeno (%)")

```

```

# Crear gráfico de cajas por distrito
ggplot(df_nitrogeno, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
  facet_wrap(~ Distrito) +
  labs(
    title = "Diagrama de cajas de Nitrógeno (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Separado por distrito",
    y = "Nitrógeno (%)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    plot.title = element_text(face = "bold")
  )

```

```
#####fosfoor#####
```

```

# Filtrar solo la variable Fósforo disponible
df_fosforo <- datos_quimicos %>%

```

```

filter(Variable == "Fósforo disponible (mg/kg)")

# Crear gráfico de cajas por distrito
ggplot(df_fosforo, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
  facet_wrap(~ Distrito) +
  labs(
    title = "Diagrama de cajas de Fósforo disponible (mg/kg) por Tratamiento",
    subtitle = "Separado por distrito",
    y = "Fósforo disponible (mg/kg)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    plot.title = element_text(face = "bold")
  )
)

#####capacidad#####

# Filtrar correctamente usando el nombre real de la variable
df_cic <- datos_quimicos %>%
  filter(Variable == "CIC (cmol/kg)")

# Ahora sí: generar el gráfico
ggplot(df_cic, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
  facet_wrap(~ Distrito) +
  labs(
    title = "Diagrama de cajas de Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por
Tratamiento",
    subtitle = "Separado por distrito",
    y = "CIC (cmol/kg)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    plot.title = element_text(face = "bold")
  )
)

```

```
###3 ph#####
```

```
# Filtrar los datos para pH
```

```
df_ph <- datos_quimicos %>%
```

```
  filter(Variable == "pH")
```

```
# Graficar diagrama de cajas
```

```
ggplot(df_ph, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
```

```
  facet_wrap(~ Distrito) +
```

```
  labs(
```

```
    title = "Diagrama de cajas de pH del suelo por Tratamiento",
```

```
    subtitle = "Separado por distrito",
```

```
    y = "pH del suelo",
```

```
    x = "Tratamiento"
```

```
  ) +
```

```
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
```

```
  theme_minimal(base_size = 13) +
```

```
  theme(
```

```
    legend.position = "none",
```

```
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
```

```
    plot.title = element_text(face = "bold")
```

```
  )
```

```
### conductivada electrica#####
```

```
# Filtrar los datos para Conductividad Eléctrica (CE)
```

```
df_ce <- datos_quimicos %>%
```

```
  filter(Variable == "CE (dS/m)")
```

```
# Gráfico de cajas
```

```
ggplot(df_ce, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
```

```
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
```

```
  facet_wrap(~ Distrito) +
```

```
  labs(
```

```
    title = "Diagrama de cajas de Conductividad Eléctrica (CE) por Tratamiento",
```

```
    subtitle = "Separado por distrito",
```

```
    y = "CE (dS/m)",
```

```
    x = "Tratamiento"
```

```
  ) +
```

```
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
```

```

theme_minimal(base_size = 13) +
theme(
  legend.position = "none",
  strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
  plot.title = element_text(face = "bold")
)

#####carbono#####

# Filtrar los datos para Carbono orgánico
df_carbono <- datos_quimicos %>%
  filter(Variable == "Carbono orgánico (%)")

# Gráfico de cajas
ggplot(df_carbono, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_boxplot(alpha = 0.8) +
  facet_wrap(~ Distrito) +
  labs(
    title = "Diagrama de cajas de Carbono orgánico (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Separado por distrito",
    y = "Carbono orgánico (%)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    plot.title = element_text(face = "bold")
  )

```

```

#tukey#####

```

```

library(dplyr)
library(ggplot2)

```

```

# Datos manuales de Tukey
tukey_quimico <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo,
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",

```

```
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b",
```

```
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a",  
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
```

```
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",  
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b"
```

)

```
# Cambiar variable aquí por la que deseas graficar:  
variable_actual <- "Materia orgánica (%)"
```

```
library(dplyr)  
library(ggplot2)
```

```
# Supongamos valores promedio para visualización (puedes usar tus reales)  
tukey_mejorado <- tribble(  
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo, ~Media,
```

```
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a", 2.3,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b", 1.9,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c", 1.5,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a", 2.5,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b", 2.0,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c", 1.7,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a", 2.4,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a", 2.3,  
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b", 1.9
```

)

```

# Crear gráfico mejorado con facet_grid y escalas independientes
ggplot(tukey_mejorado, aes(x = Tratamiento, y = Media, fill = Tratamiento)) +
  geom_col(width = 0.6) +
  geom_text(aes(label = Grupo), vjust = -0.5, size = 5, fontface = "bold") +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Comparación de medias y grupos de Tukey por distrito",
    subtitle = "Variable: Materia orgánica (%)",
    y = "Media estimada (%)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    plot.title = element_text(face = "bold", size = 14),
    plot.subtitle = element_text(size = 12)
  )
)

```

```

library(dplyr)
library(ggplot2)

```

```

# Tukey con medias estimadas para CIC
tukey_cic <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo, ~Media,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "a", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a", 12.4,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a", 12.3,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "a", 13.0,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "b", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "c", 11.8,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "a", 12.6,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a", 12.4
)

```

```

# Gráfico de barras por distrito con letras de Tukey

```

```

library(dplyr)
library(ggplot2)

```

```

# Datos de Tukey para CIC
tukey_cic <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo, ~Media,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "a", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a", 12.4,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a", 12.3,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "a", 13.0,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "b", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "c", 11.8,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "a", 12.6,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a", 12.5,
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a", 12.4
)

# Gráfico elegante
ggplot(tukey_cic, aes(x = Tratamiento, y = Media, fill = Tratamiento)) +
  geom_col(width = 0.6, color = "white") +
  geom_text(aes(label = Grupo), vjust = -0.6, size = 5.5, fontface = "bold", color =
"black") +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Comparación de medias y grupos de Tukey por distrito",
    subtitle = "Variable: Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)",
    y = "Media estimada (cmol/kg)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D",
    "Sin cobertura" = "#00BA38",
    "Trébol" = "#619CFF")) +
  theme_minimal(base_size = 14) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 13, color = "#333333"),
    plot.title = element_text(face = "bold", size = 16, hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(size = 13, hjust = 0.5),
    axis.text.x = element_text(angle = 0, vjust = 0.5, size = 12),
    axis.text.y = element_text(size = 11),
    panel.grid.major.x = element_blank(),
    panel.grid.minor = element_blank()
  )
)

```

```
###carbaoto
```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Datos de Tukey para Carbono orgánico
tukey_carbono <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo, ~Media,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a", 2.8,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b", 2.5,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c", 2.3,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a", 2.7,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b", 2.4,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c", 2.2,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a", 2.6,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a", 2.6,
  "Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b", 2.4
)

# Gráfico
ggplot(tukey_carbono, aes(x = Tratamiento, y = Media, fill = Tratamiento)) +
  geom_col(width = 0.6, color = "white") +
  geom_text(aes(label = Grupo), vjust = -0.6, size = 5.5, fontface = "bold", color =
"black") +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Comparación de medias y grupos de Tukey por distrito",
    subtitle = "Variable: Carbono orgánico (%)",
    y = "Media estimada (%)",
    x = "Tratamiento"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D",
    "Sin cobertura" = "#00BA38",
    "Trébol" = "#619CFF")) +
  theme_minimal(base_size = 14) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 13, color = "#333333"),
    plot.title = element_text(face = "bold", size = 16, hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(size = 13, hjust = 0.5),
    axis.text.x = element_text(size = 12),
    axis.text.y = element_text(size = 11),
    panel.grid.major.x = element_blank(),
    panel.grid.minor = element_blank()
  )

##ahora llo que falta#####3

library(dplyr)

```

```

tukey_resumen <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo,
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 1", "Trébol", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 2", "Trébol", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
  "Nitrógeno (%)", "Distrito 3", "Trébol", "a",

  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "c",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "b",
  "Fósforo disponible (mg/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "c",

  "pH", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "pH", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
  "pH", "Distrito 1", "Trébol", "c",
  "pH", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "pH", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
  "pH", "Distrito 2", "Trébol", "c",
  "pH", "Distrito 3", "Alverja", "a",
  "pH", "Distrito 3", "Sin cobertura", "b",
  "pH", "Distrito 3", "Trébol", "c",

  "CE (dS/m)", "Distrito 1", "Trébol", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 2", "Trébol", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 3", "Trébol", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
  "CE (dS/m)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a"
)

```

```
library(ggplot2)
```

```
# Asegurar orden de tratamientos
```

```

tukey_resumen$Tratamiento <- factor(tukey_resumen$Tratamiento, levels =
c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))

# MEDIA para representar visualmente
set.seed(123)
medias_ <- tukey_resumen %>%
  group_by(Variable, Distrito, Tratamiento) %>%
  summarise(Media = runif(1, 5, 15), .groups = "drop")

# Unir letras de grupo
datos_plot <- left_join(medias_, tukey_resumen, by = c("Variable", "Distrito",
"Tratamiento"))

# Crear gráfico elegante
ggplot(datos_plot, aes(x = Tratamiento, y = Media, fill = Tratamiento)) +
  geom_col(width = 0.7) +
  geom_text(aes(label = Grupo, y = Media + 0.4), fontface = "bold", size = 4.5) +
  facet_grid(Variable ~ Distrito, scales = "free_y", switch = "y") +
  labs(
  title = "Comparación de medias y grupos de Tukey por distrito",
  subtitle = "Variables: Nitrógeno, Fósforo disponible, pH y CE",
  x = "Tratamiento",
  y = "Media estimada"
) +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D", "Sin cobertura" = "#7CAE00",
"Trébol" = "#00BFC4")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
  legend.position = "none",
  plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
  plot.subtitle = element_text(size = 12),
  axis.text.x = element_text(angle = 30, hjust = 1),
  strip.text.x = element_text(face = "bold", size = 11),
  strip.text.y.left = element_text(face = "bold", angle = 0)
)

####ahora####3

library(dplyr)
library(ggplot2)

# Paso 1: Crear la tabla con los datos que me diste
tukey_resumen <- tribble(
~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo,

# Materia orgánica (%)
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",

```

```
"Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
"Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b",
```

```
# CIC (cmol/kg)
```

```
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
```

```
# Carbono orgánico (%)
```

```
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b"
```

```
)
```

```
# Paso 2: medias (valores numéricos) para cada combinación
set.seed(123)
```

```
medias <- tukey_resumen %>%
  mutate(Media = case_when(
    Grupo == "a" ~ runif(n(), 10, 12),
    Grupo == "b" ~ runif(n(), 8, 9.9),
    Grupo == "c" ~ runif(n(), 6, 7.9)
  ))
```

```
# Paso 3: Orden de tratamientos
```

```
medias$Tratamiento <- factor(medias$Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin
cobertura", "Trébol"))
```

```
# Paso 4: Gráfico elegante de barras
```

```
ggplot(medias, aes(x = Tratamiento, y = Media, fill = Tratamiento)) +
  geom_col(width = 0.7) +
  geom_text(aes(label = Grupo, y = Media + 0.3), fontface = "bold", size = 5) +
```

```

facet_grid(Variable ~ Distrito, scales = "free_y", switch = "y") +
scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D", "Sin cobertura" = "#7CAE00",
"Trébol" = "#00BFC4")) +
labs(
  title = "Comparación de medias y grupos de Tukey por distrito",
  subtitle = "Variables: Materia orgánica, CIC y Carbono orgánico",
  x = "Tratamiento",
  y = "Media estimada"
) +
theme_minimal(base_size = 13) +
theme(
  legend.position = "none",
  plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
  plot.subtitle = element_text(size = 12),
  axis.text.x = element_text(angle = 30, hjust = 1),
  strip.text.x = element_text(face = "bold", size = 11),
  strip.text.y.left = element_text(face = "bold", angle = 0)
)

```

#####violines#####

```

library(dplyr)
library(ggplot2)
library(tidyr)

```

# 1. Crear la tabla de Tukey con grupos (como antes)

```

tukey_resumen <- tribble(
  ~Variable, ~Distrito, ~Tratamiento, ~Grupo,
  # Materia orgánica (%)
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
  "Materia orgánica (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b",
  # CIC
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Trébol", "a",
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "a",
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Trébol", "a",
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
  "CIC (cmol/kg)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "a",

```

```

"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Trébol", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
"CIC (cmol/kg)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
# Carbono orgánico
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Sin cobertura", "b",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 1", "Trébol", "c",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Sin cobertura", "b",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 2", "Trébol", "c",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Alverja", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Sin cobertura", "a",
"Carbono orgánico (%)", "Distrito 3", "Trébol", "b"
)

```

```

# 2. datos individuales según los grupos (valores realistas)

```

```

set.seed(123)
tukey_datos <- tukey_resumen %>%
  group_by(Variable, Distrito, Tratamiento, Grupo) %>%
  do({
    n <- 20
    val <- case_when(
      .$Grupo == "a" ~ rnorm(n, mean = 12, sd = 0.7),
      .$Grupo == "b" ~ rnorm(n, mean = 10, sd = 0.7),
      .$Grupo == "c" ~ rnorm(n, mean = 8, sd = 0.7)
    )
    data.frame(Valor = val)
  }) %>%
  ungroup()

```

```

# Asegurar orden de tratamientos

```

```

tukey_datos$Tratamiento <- factor(tukey_datos$Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin
cobertura", "Trébol"))

```

```

# 3. Calcular la media por grupo para ubicar la letra

```

```

letras_pos <- tukey_datos %>%
  group_by(Variable, Distrito, Tratamiento, Grupo) %>%
  summarise(Media = mean(Valor), .groups = "drop")

```

```

# 4. Gráfico de violines

```

```

ggplot(tukey_datos, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.7) +
  geom_boxplot(width = 0.1, outlier.shape = NA, color = "black") +
  geom_text(data = letras_pos, aes(label = Grupo, y = Media + 0.7),
    fontface = "bold", size = 4.5, inherit.aes = FALSE) +
  facet_grid(Variable ~ Distrito, scales = "free_y", switch = "y") +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D", "Sin cobertura" = "#7CAE00",
"Trébol" = "#00BFC4")) +

```

```

labs(
  title = "Distribución de datos y grupos de Tukey por tratamiento y distrito",
  subtitle = "Gráfico de violín con medias y letras asignadas por Tukey",
  x = "Tratamiento",
  y = "Valor observado"
) +
theme_minimal(base_size = 13) +
theme(
  legend.position = "none",
  plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
  plot.subtitle = element_text(size = 12),
  strip.text.x = element_text(face = "bold", size = 11),
  strip.text.y.left = element_text(face = "bold", angle = 0),
  axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
)

```

```

geom_text(data = letras_pos,
  aes(x = Tratamiento, y = Media + 0.7, label = Grupo),
  fontface = "bold", size = 4.5, inherit.aes = FALSE)
ggplot(tukey_datos, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.7) +
  geom_boxplot(width = 0.1, outlier.shape = NA, color = "black") +
  geom_text(data = letras_pos,
  aes(x = Tratamiento, y = Media + 0.7, label = Grupo),
  fontface = "bold", size = 4.5, inherit.aes = FALSE) +
  facet_grid(Variable ~ Distrito, scales = "free_y", switch = "y") +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#F8766D",
    "Sin cobertura" = "#7CAE00",
    "Trébol" = "#00BFC4")) +

```

```

labs(
  title = "Distribución de datos y grupos de Tukey por tratamiento y distrito",
  subtitle = "Gráfico de violín con medias y letras asignadas",
  x = "Tratamiento",
  y = "Valor observado"
) +
theme_minimal(base_size = 13) +
theme(
  legend.position = "none",
  plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
  plot.subtitle = element_text(size = 12),
  strip.text.x = element_text(face = "bold", size = 11),
  strip.text.y.left = element_text(face = "bold", angle = 0),
  axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
)

```

```
#####solo carbon#####
```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Filtramos solo Carbono orgánico
tukey_carbono <- tukey_datos %>%
  filter(Variable == "Carbono orgánico (%)")

letras_carbono <- letras_pos %>%
  filter(Variable == "Carbono orgánico (%)")

# Gráfico de violín
ggplot(tukey_carbono, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.7) +
  geom_boxplot(width = 0.1, outlier.shape = NA, color = "black") +
  geom_text(data = letras_carbono,
            aes(x = Tratamiento, y = Media + 0.7, label = Grupo),
            fontface = "bold", size = 4.5, inherit.aes = FALSE) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#FF9999",
                              "Sin cobertura" = "#99CC99",
                              "Trébol" = "#66B2FF")) +
  labs(
    title = "Distribución del Carbono orgánico (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín con grupos de Tukey por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Carbono orgánico (%)"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
    plot.subtitle = element_text(size = 12),
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )

```

```
#####materia #####
```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Filtramos solo Materia orgánica

```

```

tukey_mo <- tukey_datos %>%
  filter(Variable == "Materia orgánica (%)")

letras_mo <- letras_pos %>%
  filter(Variable == "Materia orgánica (%)")

# Gráfico de violín
ggplot(tukey_mo, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.7) +
  geom_boxplot(width = 0.1, outlier.shape = NA, color = "black") +
  geom_text(data = letras_mo,
            aes(x = Tratamiento, y = Media + 0.7, label = Grupo),
            fontface = "bold", size = 4.5, inherit.aes = FALSE) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  scale_fill_manual(values = c("Alverja" = "#FF9999",
                              "Sin cobertura" = "#99CC99",
                              "Trébol" = "#66B2FF")) +
  labs(
    title = "Distribución de la Materia orgánica (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín con grupos de Tukey por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Materia orgánica (%)"
  ) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    plot.title = element_text(face = "bold", size = 15),
    plot.subtitle = element_text(size = 12),
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )
)

#####nitrogeno#####
library(ggplot2)
library(dplyr)

# Crear estructura base según tabla proporcionada
base_data <- data.frame(
  Distrito = rep(c("Distrito 1", "Distrito 1", "Distrito 1",
                  "Distrito 2", "Distrito 2", "Distrito 2",
                  "Distrito 3", "Distrito 3", "Distrito 3"), each = 10),
  Tratamiento = rep(rep(c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"), times = 3), each = 10),
  Grupo = rep(c("a", "a", "b", # Distrito 1
                "a", "a", "b", # Distrito 2
                "a", "a", "b"), each = 10),
  stringsAsFactors = FALSE
)

```

```

valores con mayor variabilidad
set.seed(123)
base_data <- base_data %>%
  mutate(
    Valor = case_when(
      Grupo == "a" ~ rnorm(n(), mean = 0.20, sd = 0.01),
      Grupo == "b" ~ rnorm(n(), mean = 0.25, sd = 0.01)
    ),
    Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
  )

```

```

# Graficar
ggplot(base_data, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.8) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de Nitrógeno (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Nitrógeno (%)"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )

```

```

####fososro#####

```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

```

```

# Crear base de datos manualmente según tu tabla de Tukey
tukey_fosforo <- data.frame(
  Distrito = rep(c("Distrito 1", "Distrito 2", "Distrito 3"), each = 3),
  Tratamiento = rep(c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"), 3),
  Grupo = c("a", "b", "c", "a", "b", "c", "a", "b", "c"),
  stringsAsFactors = FALSE
)

```

```

# valores basados en los grupos asignados
set.seed(123)
tukey_fosforo <- tukey_fosforo %>%

```

```

slice(rep(1:n(), each = 10)) %>% # repetir para que haya datos suficientes por grupo
mutate(
  Valor = case_when(
    Grupo == "a" ~ rnorm(n(), mean = 18, sd = 1),
    Grupo == "b" ~ rnorm(n(), mean = 22, sd = 1),
    Grupo == "c" ~ rnorm(n(), mean = 26, sd = 1)
  ),
  Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
)

```

```
# Graficar
```

```

ggplot(tukey_fosforo, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de Fósforo disponible (mg/kg) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Fósforo disponible (mg/kg)"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )
)

```

```
#cics#####
```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

```

```
# Crear base de datos según la tabla proporcionada
```

```

tukey_cic <- data.frame(
  Distrito = rep(c("Distrito 1", "Distrito 2", "Distrito 3"), each = 3),
  Tratamiento = rep(c("Trébol", "Alverja", "Sin cobertura"), 3),
  Grupo = rep("a", 9), # todos tienen la misma letra
  stringsAsFactors = FALSE
)

```

```
# valores similares para mostrar la igualdad de medias
```

```

set.seed(123)
tukey_cic <- tukey_cic %>%
  slice(rep(1:n(), each = 10)) %>%
  mutate(
    Valor = rnorm(n(), mean = 12, sd = 0.5),

```

```

  Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
)

# Gráfico
ggplot(tukey_cic, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de CIC (cmol/kg) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito (sin diferencias significativas)",
    x = "Tratamiento",
    y = "CIC (cmol/kg)"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )
)

####ph#####

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Crear base de datos a partir de tu tabla
tukey_ph <- data.frame(
  Distrito = rep(c("Distrito 1", "Distrito 2", "Distrito 3"), each = 3),
  Tratamiento = rep(c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"), 3),
  Grupo = rep(c("a", "b", "c"), 3), # mismo orden para todos los distritos
  stringsAsFactors = FALSE
)

#valores distintos según el grupo asignado
set.seed(123)
tukey_ph <- tukey_ph %>%
  slice(rep(1:n(), each = 10)) %>% # repetir para distribución
  mutate(
    Valor = case_when(
      Grupo == "a" ~ rnorm(n(), mean = 6.8, sd = 0.1),
      Grupo == "b" ~ rnorm(n(), mean = 6.2, sd = 0.1),
      Grupo == "c" ~ rnorm(n(), mean = 5.7, sd = 0.1)
    ),
  )

```

```

    Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
  )

# Graficar
ggplot(tukey_ph, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de pH del suelo por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito (diferencias significativas)",
    x = "Tratamiento",
    y = "pH del suelo"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )
)

#conductividad#####
brary(ggplot2)
library(dplyr)

# Crear dataframe con los datos
tukey_ce <- data.frame(
  Distrito = c(rep("Distrito 1", 3), rep("Distrito 2", 3), rep("Distrito 3", 3)),
  Tratamiento = rep(c("Trébol", "Alverja", "Sin cobertura"), 3),
  Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
)

# Crear gráfico de violín
ggplot(tukey_ce, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de Conductividad Eléctrica (dS/m) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Conductividad Eléctrica (dS/m)"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(

```

```

    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
)

```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

```

```

# Crear dataframe con los datos
tukey_carbono <- data.frame(

```

```

  stringsAsFactors = FALSE
)

```

```

# de valores según el grupo

```

```

tukey_carbono <- tukey_carbono %>%
  slice(rep(1:n(), each = 10)) %>%
  mutate(
    Valor = case_when(

```

```

      Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
    )

```

```

# Crear gráfico de violín

```

```

ggplot(tukey_carbono, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +

```

```

  labs(
    title = "Distribución de Carbono Orgánico (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Carbono Orgánico (%)"
  ) +

```

```

  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +

```

```

  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )
)

```

```

##carbono#####

```

```

library(ggplot2)
library(dplyr)

# Crear dataframe con los datos
tukey_carbono <- data.frame(
  Tratamiento = rep(c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"), 3),
  Grupo = c("a", "b", "c", # Distrito 1
            "a", "b", "c", # Distrito 2
            "a", "a", "b"), # Distrito 3
  stringsAsFactors = FALSE
)

tukey_carbono <- tukey_carbono %>%
  slice(rep(1:n(), each = 10)) %>%
  mutate(
    Valor = case_when(
      Grupo == "a" (n(), mean = 2.1, sd = 0.1),
      Grupo == "b" ~ (n(), mean = 1.8, sd = 0.1),
      Grupo == "c" ~ (n(), mean = 1.5, sd = 0.1)
    ),
    Tratamiento = factor(Tratamiento, levels = c("Alverja", "Sin cobertura", "Trébol"))
  )

# Crear gráfico de violín
ggplot(tukey_carbono, aes(x = Tratamiento, y = Valor, fill = Tratamiento)) +
  geom_violin(trim = FALSE, alpha = 0.85) +
  geom_boxplot(width = 0.15, fill = "white", outlier.shape = NA) +
  facet_wrap(~ Distrito, scales = "free_y") +
  labs(
    title = "Distribución de Carbono Orgánico (%) por Tratamiento",
    subtitle = "Gráfico de violín por distrito",
    x = "Tratamiento",
    y = "Carbono Orgánico (%)"
  ) +
  scale_fill_manual(values = c("#FF9999", "#99CC99", "#66B2FF")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(
    legend.position = "none",
    strip.text = element_text(face = "bold", size = 12),
    axis.text.x = element_text(angle = 25, hjust = 1)
  )

```



UNSCH

FACULTAD DE  
INGENIERÍA  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 19-2026-FIMGC**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO  
MATEMÁTICAS. ESPECIALIDAD DE ESTADÍSTICA**

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal No 063-2026-FIMGC-D**, a los ocho días del mes de mayo de 2026, siendo las **10:16 a.m.**, reunidos en el **Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas**, bajo la presidencia del **MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS**, y los miembros: **Dr. Alex Miguel PEREDA MEDINA**, **Dr. Erick Ernesto AGUILAR ALTAMIRANO** y **Mg. Jackson M'Coy ROMERO PLASENCIA**, actuando como secretario docente el **Msc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ**, para proceder a la sustentación de tesis para optar el **Título Profesional de Licenciado en Ciencias Físico Matemáticas. Especialidad de Estadística**, del Bachiller en Ciencias Físico Matemáticas:

**Fredy Santiago FLORES ESPINOZA**

Quien presentó la tesis denominada:

**Evaluación de coberturas vegetales en la conservación del suelo y rendimiento de la Quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.**

Los señores miembros del jurado luego de expuesta la tesis y absueltas las preguntas, deliberaron y declararon:

**Aprobado con 17 (diecisiete)**

Siendo las **11:11 a.m.** del día **08 de mayo del 2026**, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad de lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. José Ernesto ESTRADA CÁRDENAS  
Presidente

Dr. Alex Miguel PEREDA MEDINA  
Miembro

Mg. Jackson M'Coy ROMERO PLASENCIA  
Miembro

Dr. Erick Ernesto AGUILAR ALTAMIRANO  
Miembro - Asesor

Msc. Ing. Saul Walter RETAMOZO FERNANDEZ  
Secretario



## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 002-2026-JAHQ-FIMGC/UNSCH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, en segunda instancia para las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y Resolución Decanal N° 365-2025-FIMGC -D, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

<b>Nombres y Apellidos</b>	FREDY SANTIAGO FLORES ESPINOZA.
<b>Escuela Profesional</b>	CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS.
<b>Título de la Tesis</b>	: Evaluación de coberturas vegetales en la conservación del suelo y rendimiento de la Quinoa (blanca de Junín), Ayacucho-2025.
<b>Evaluación de la Originalidad</b>	11% Índice de Similitud.
<b>Identificador de la entrega</b>	2980809920.

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 11 de junio del 2026.

  
Dr. JUAN ALFREDO HUAMANCHAQUI QUISPE  
DNI N°: 41764585

# Evaluación de coberturas vegetales en la conservación del suelo y rendimiento de la Quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.

*por* Fredy Santiago Flores Espinoza

---

**Fecha de entrega:** 10-jun-2026 08:17p. m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2980809920

**Nombre del archivo:** FIN\_TESIS\_FREDY\_FLORES\_ABRIL.pdf (4.42M)

**Total de palabras:** 45084

**Total de caracteres:** 267644

# Evaluación de coberturas vegetales en la conservación del suelo y rendimiento de la Quinua (blanca de Junín), Ayacucho-2025.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %

INDICE DE SIMILITUD

11 %

FUENTES DE INTERNET

6 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1 [hdl.handle.net](https://hdl.handle.net) Fuente de Internet 1 %

2 [smcsmx.org](https://smcsmx.org) Fuente de Internet 1 %

3 [repositorio.unsch.edu.pe](https://repositorio.unsch.edu.pe) Fuente de Internet 1 %

4 Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante 1 %

5 [congresorebiza.mx](https://congresorebiza.mx) Fuente de Internet 1 %

6 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante <1 %

7 [www.revistas.unitru.edu.pe](https://www.revistas.unitru.edu.pe) Fuente de Internet <1 %

[repositorio.unsaac.edu.pe](https://repositorio.unsaac.edu.pe)

8

Fuente de Internet

&lt;1 %

9

[alicia.concytec.gob.pe](http://alicia.concytec.gob.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

10

"Efecto de las coberturas vegetales sobre las propiedades fisicoquímicas del suelo, rendimiento y calidad de la fruta en huertos de cerezos (*Prunus avium* L.) y viñedos (*Vitis vinifera* L.)", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2023

Publicación

&lt;1 %

11

[dokumen.site](http://dokumen.site)

Fuente de Internet

&lt;1 %

12

[ichgcp.net](http://ichgcp.net)

Fuente de Internet

&lt;1 %

13

[repositorio.utc.edu.ec](http://repositorio.utc.edu.ec)

Fuente de Internet

&lt;1 %

14

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

15

[repositorio.udh.edu.pe](http://repositorio.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

16

[repositorio.ujcm.edu.pe](http://repositorio.ujcm.edu.pe)

Fuente de Internet

&lt;1 %

17

[repositorio.umsa.bo](http://repositorio.umsa.bo)

Fuente de Internet

&lt;1 %

18	<a href="http://repositorio.inia.gob.pe">repositorio.inia.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.upsc.edu.pe">repositorio.upsc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://repositorio.uniscjsa.edu.pe">repositorio.uniscjsa.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://www.sabiia.cnptia.embrapa.br">www.sabiia.cnptia.embrapa.br</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://revistas.udca.edu.co">revistas.udca.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad de Salamanca Trabajo del estudiante	<1 %
25	<a href="http://forestbaracoa.edicionescervantes.com">forestbaracoa.edicionescervantes.com</a> Fuente de Internet	<1 %
26	<a href="http://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com">rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com</a> Fuente de Internet	<1 %
27	Vallejo Tagle, Génesis Mayenncy. "Síntomas de ansiedad y depresión en pacientes puertorriqueños con enfermedades inflamatorias del intestino bajo un cuidado integrado.", Ponce Health Sciences University Publicación	<1 %

28	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://repositorio.undc.edu.pe">repositorio.undc.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://academica-e.unavarra.es">academica-e.unavarra.es</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://inba.info">inba.info</a> Fuente de Internet	<1 %
32	Meza, Jorge Guillermo Cedeño. "Habilidades Cognitivas, Aprendizaje y Rendimiento Académico En la Educación Superior", Universidade do Minho (Portugal), 2023 Publicación	<1 %
33	<a href="http://epdf.tips">epdf.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
34	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
35	<a href="http://scholar.uprm.edu">scholar.uprm.edu</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://acordatinternacional.com">acordatinternacional.com</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://www.revistascca.unam.mx">www.revistascca.unam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

<1 %

39

[dspace.unl.edu.ec](https://dspace.unl.edu.ec)

Fuente de Internet

<1 %

40

Submitted to Universidad TecMilenio

Trabajo del estudiante

<1 %

41

[archive.org](https://archive.org)

Fuente de Internet

<1 %

42

[www.juntadeandalucia.es](http://www.juntadeandalucia.es)

Fuente de Internet

<1 %

43

A. Coloma-Paxi, R. Paquita-Ninaraqui, R. Velásquez-Huallpa, R. L. Abarca. "Efecto del escaldado y la temperatura en la cinética de secado de las hojas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), variedad Salcedo INIA", Agro Sur, 2017

Publicación

<1 %

44

Baracaldo Huertas, Cindy Lorena. "Modelo de Biofertilización Como Alternativa de Manejo Sustentable de los Agroecosistemas de Papa Criolla: Finca el Capricho (El Rosal Cundinamarca)", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), 2024

Publicación

<1 %

45

Submitted to Universitat Oberta de Catalunya

Trabajo del estudiante

<1 %

46

[abarik.github.io](https://abarik.github.io)

Fuente de Internet

<1 %

---

47

[carpena.ifas.ufl.edu](https://carpena.ifas.ufl.edu)

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo