UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

EFICIENCIA AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y LENTEJA *(Lens culinaris)*, BAJO TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y DOS TIPOS DE FERTILIZACIÓN

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo, otorgado por la Universidad Estatal de Bolívar a través de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, Carrera de Agronomía.

Autor:

Widinson Gabriel Urbina Poveda

Tutor:

Ing. David Rodrigo Silva García Mg

Guaranda – Ecuador

2024

EFICIENCIA AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE QUINUA *(Chenopodium quinoa)* Y LENTEJA *(Lens culinaris)*, BAJO TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y DOS TIPOS DE FERTILIZACIÓN

REVISADO Y APROBADO POR:

Ing. David Rodrigo Silva García Mg
TUTOR

Ing. Nelson Monar Gavilánez Mg.
DOCENTE LECTOR

Ing. Hugo Vásquez Coloma PhD.
DOCENTE LECTOR

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Widinson Gabriel Urbina Poveda con C.I 0202643110 declaro que el trabajo y los resultados presentados en este informe, no han sido previamente presentados para ningún grado o calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen han sido consultadas y citadas con su respectivo autor(es).

La Universidad Estatal de Bolívar, puede hacer uso de los derechos de publicación correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, su Reglamentación y la Normativa Institucional vigente.

Widinson Gabriel Urbina Poveda
C.I 0202643110
AUTOR

Ing. David Rodrigo Silva García Mg
C.I 0201600327
TUTOR

NOTARIA PRIMERA DEL CANTÓN GUARANDA

ESCRITURA PÚBLICA
DECLARACION JURADA
SEÑOR WIDINSON GABRIEL URBINA POVEDA

En la ciudad de Guaranda, Capital de la Provincia de Bolivar, República del Ecuador, hoy dia JUEVES, VEINTIUNO DE NOVIEMBRE DEL DOS MIL VEINTICUATRO, ante mí, Doctor GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN, NOTARIO PÚBLICO PRIMERO DEL CANTÓN GUARANDA, comparece el señor **WIDINSON GABRIEL URBINA POVEDA**, portador de cedula de ciudadanía número 0202643110, el compareciente es de nacionalidad ecuatoriana, mayor de edad, de estado civil, soltero, con número de teléfono celular 0980839239, con correo electrónico widinsonu2000@gmail.com, capaz de contraer obligaciones, domiciliado en el cantón Echeandía, provincia de Bolívar y de tránsito por esta ciudad de Guaranda, a quien de conocer doy fe en virtud de haberme exhibido su cédula de ciudadanía y papeleta de votación cuya copia adjunto a esta escritura. Advertido por mí el Notario de los efectos y resultados de esta escritura, así como examinado de que comparece al otorgamiento de la misma sin coacción, amenazas, temor reverencial, ni promesa o seducción, juramentado en debida forma, prevenido de la gravedad del juramento, de las penas del perjurio y de la obligación que tiene de decir la verdad con claridad y exactitud, bajo juramento declara lo siguiente: **"Previo a la obtención del Título de INGENIERO AGRONOMO, DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR, manifiesto que, los criterios e ideas emitidas en el presente proyecto de investigación titulado "EFICIENCIA AGRONÓMICA DEL CULTIVO DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) Y LENTEJA (LENS CULINARIS), BAJO TRES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y DOS TIPOS DE FERTILIZACIÓN ", son de mi exclusiva responsabilidad en calidad de autor. Es todo cuanto puedo decir en honor a la verdad."** Hasta aquí la declaración juramentada rendida por el compareciente, la misma que queda elevada a escritura pública con todo el valor legal. Para el otorgamiento de esta escritura pública se observaron todos los preceptos legales del caso; y leída que le fue al compareciente íntegramente por mí el Notario, se ratifica en todo su contenido y firma conmigo en unidad de acto. Incorporo esta escritura pública al protocolo de instrumentos públicos, a mi cargo. De todo lo cual doy fe.-

SEÑOR WIDINSON GABRIEL URBINA POVEDA
C.C 0202643110

Dr. Guido Fierro Barragán
NOTARIO PRIMERO DEL CANTÓN GUARANDA

DOCTOR GUIDO FABIÁN FIERRO BARRAGÁN
NOTARIO PÚBLICO PRIMERO DEL CANTÓN GUARANDA.

GF

Factura: 001-002-000046368

20240201001P02192

NOTARIO(A) GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN

NOTARÍA PRIMERA DEL CANTON GUARANDA

EXTRACTO

Escritura N°:	20240201001P02192

ACTO O CONTRATO:
DECLARACIÓN JURAMENTADA PERSONA NATURAL

FECHA DE OTORGAMIENTO:	21 DE NOVIEMBRE DEL 2024, (15:19)

OTORGANTES

OTORGADO POR

Persona	Nombres/Razón social	Tipo interviniente	Documento de identidad	No. Identificación	Nacionalidad	Calidad	Persona que le representa
Natural	URBINA POVEDA WIDINSON GABRIEL	POR SUS PROPIOS DERECHOS	CÉDULA	0202643110	ECUATORIANA	COMPARECIENTE	

A FAVOR DE

Persona	Nombres/Razón social	Tipo interviniente	Documento de identidad	No. Identificación	Nacionalidad	Calidad	Persona que representa

UBICACIÓN

Provincia	Cantón	Parroquia
BOLÍVAR	GUARANDA	GABRIEL I VEINTIMILLA

DESCRIPCIÓN DOCUMENTO:	
OBJETO/OBSERVACIONES:	
CUANTÍA DEL ACTO O CONTRATO:	INDETERMINADA

NOTARIO(A) GUIDO FABIAN FIERRO BARRAGAN

NOTARIA PRIMERA DEL CANTÓN GUARANDA

turnitin

Recibo digital

Este recibo confirma quesu trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	VÍCTOR ALEJANDRO BÓSQUEZ BARCENES
Título del ejercicio:	47
Título de la entrega:	Tesis Widinson Gabriel Urbina Poveda
Nombre del archivo:	Sistemas_y_fertilización_quinua_y_lenteja_Urbina.docx
Tamaño del archivo:	2.22M
Total páginas:	111
Total de palabras:	20,390
Total de caracteres:	111,951
Fecha de entrega:	21-nov.-2024 01:33p. m. (UTC-0600)
Identificador de la entre...	2527715682



UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente

Carrera de Agronomía

Tema:

Autor:

Tutor:

Guaranda – Ecuador

2024

Derechos de autor 2024 Turnitin. Todos los derechos reservados.

Tesis Widinson Gabriel Urbina Poveda

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	4%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	docobook.com	2%
2	dspace.ueb.edu.ec	2%
3	dspace.uni.edu.ec	1%
4	nutricionycocina.es	1%
5	idoc.pub	1%
6	Submitted to ueb	1%

Excluir citas

Excluir bibliografía

Excluir coincidencias

Ing. David Silva García
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, fuente de mi fortaleza y guía, le agradezco por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida. Su presencia constante me ha dado la sabiduría y el valor necesarios para superar cada desafío a lo largo de este proceso.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio. Gracias por ser mi ejemplo de esfuerzo y perseverancia, por creer en mí y por estar siempre a mi lado en cada paso de este camino.

A mis hermanos, por su compañía, consejos y cariño, que me impulsaron a seguir adelante en todo momento.

A mi abuelito Rafael, por haber sido fundamental en mi formación guiándome, enseñando y aconsejando para ser una gran persona.

A toda mi familia, quienes con sus palabras de aliento y comprensión me brindaron el ánimo necesario para alcanzar esta meta.

Finalmente, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi novia, cuyo apoyo ha sido fundamental y vital a lo largo de todo este proceso.

Widinson

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por su guía, fortaleza y bendiciones, que me han permitido alcanzar esta etapa tan significativa en mi vida

Mi más sincero agradecimiento a la Universidad Estatal de Bolívar, a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente, y a la Carrera de Agronomía por brindarme sus instalaciones y recursos para culminar esta etapa académica. También al apoyo al Programa de Semillas de la UEB, por la dotación de materiales y equipos lo cual fue esencial para el desarrollo de mi investigación.

Agradezco profundamente a los miembros del Tribunal: Ing. David Silva por su tiempo, guía y ayuda en cada etapa del proceso tanto de titulación como trabajo en campo, así como al Ing. Nelson Monar Gavilánez y Dr. Hugo Vázquez Coloma, por su valiosa orientación y tiempo dedicado a revisar y mejorar mi trabajo.

Asimismo, agradezco a todos los docentes que compartieron sus conocimientos conmigo, motivándome a crecer tanto personal como profesionalmente.

A todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron con su apoyo y dedicación en este proceso, les expreso mi más profundo agradecimiento.

Widinson

ÍNDICE GENERAL

Contenido		Pag
CAPÍTULO I		1
1.1.	INTRODUCCIÓN	1
1.2.	PROBLEMA	3
1.3.	OBJETIVOS	5
1.3.1.	Objetivo general	5
1.2.1.	Objetivos especifico	5
1.4.	HIPÓTESIS	6
CAPÍTULO II		7
2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Origen de la quinua	7
2.2..	Clasificación taxonómica	8
2.3.	Descripción morfológica de la quinua	8
2.3.1.	Planta	8
2.3.2.	Raíz	8
2.3.3.	Tallo	9
2.3.4.	Hojas	9
2.3.5.	Inflorescencia	9
2.3.6.	Semilla	10
2.4.	Fenología del cultivo de quinua	10
2.5.	Requerimiento del cultivo	12
2.6.	Manejo del cultivo de cultivo de quinua	13
2.6.1.	Semilla	13

2.6.2. Trasplante 15
2.6.3. Periodo de siembra 15
2.6.4. Fertilización 16
2.6.5. Desahíje o raleo 19
2.6.6. Aporque 20
2.6.7. Riego 20
2.6.8. Malezas y su manejo 20
2.6.9. Plagas y enfermedades de la quinua 21
2.6.10. Cosecha y post cosecha 25
2.7. Variedades 27
2.7.1. Quinua INIAP Pata de venado 27
2.7.2. Lenteja INIAP – 406 28
2.8. Aspectos nutricionales 28
2.8.1. Quinua 28
2.8.2. Lenteja 30
2.9. Sistemas de producción 30
2.9.1. Sistemas de producción asociado en fajas 31
CAPÍTULO III 32
3. MARCO METODOLÓGICO 32
3.1. Ubicación de la investigación 32
3.2. Metodología 32
3.2.1. Material en estudio 32
3.2.2. Factores en estudio 33
3.2.3. Tratamientos 33
3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico 33

3.2.5.	Manejo de la investigación	34
3.2.6.	Métodos de evaluación (variables respuesta)	36
3.2.7.	Tipo de análisis	39
CAPÍTULO IV		40
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1.	Interpretación de resultados	40
4.1.1.	Factor A	40
4.1.2.	Factor B	52
4.1.3.	Interacción AxB	58
4.1.4.	Análisis de correlación y regresión lineal	70
4.1.5.	Análisis económico de la Relación Beneficio/Costo (RB/C)	72
4.2.	Comprobación de hipótesis	74
CAPÍTULO V		75
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1.	CONCLUSIONES	75
5.2.	RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA		77
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Detalle	Pag.
1	Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en el factor A (Tipo de sistema)	40
2	Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en el factor B (Tipo de fertilizante)	52
3	Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en la interacción factor A (Tipo de sistema) x factor B (Tipo de fertilizante)	58
4	Resultados del análisis de correlación y regresión lineal de las variables independientes que presentaron significancia estadística positiva o negativa con el rendimiento de quinua	70
5	Costo de producción de quinua	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Nº	Detalle	Pag.
1	Resultados promedios en el Factor A en el Porcentaje de emergencia (PE)	41
2	Resultados promedios en el Factor A en la Severidad de mildiu (SM)	42
3	Resultados promedios en el Factor A en la Altura de planta (AP)	43
4	Resultados promedios en el Factor A en el Acame de raíz (AR)	44
5	Resultados promedios en el Factor A en el Acame de tallo (AT)	46
6	Resultados promedios en el Factor A en la Longitud de panoja (LP)	47
7	Resultados promedios en el Factor A en el Peso por parcela quinua (PCP-Q)	48
8	Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento de quinua (RQ)	49
9	Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento por parcela de lenteja (PCP-L)	50
10	Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento de lenteja (RL)	51
11	Resultados promedios en el Factor B en el Porcentaje de emergencia (PE)	52
12	Resultados promedios en el Factor B en el Peso por parcela quinua (PCP-Q)	53

13	Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento de quinua (RQ)	54
14	Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento por parcela de lenteja (PCP-L)	55
15	Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento de lenteja (RL)	57
16	Resultados promedios de la interacción AxB en el Porcentaje de emergencia (PE)	58
17	Resultados promedios de la interacción AxB en la Severidad de mildiu (SM)	60
18	Resultados promedios de la interacción AxB en la Altura de planta (AP)	61
19	Resultados promedios de la interacción AxB en el Acame de raíz (AR)	62
20	Resultados promedios de la interacción AxB en la Longitud de panoja (LP)	63
21	Resultados promedios de la interacción AxB en el Peso por parcela quinua (PCP–Q)	64
22	Resultados promedios de la interacción AxB en el Rendimiento en quinua (RQ)	66
23	Resultados promedios de la interacción AxB en el Peso por parcela lenteja (PCP-L)	67
24	Resultados promedios de la interacción AxB en el Rendimiento de lenteja (RL)	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Nº	Detalle
1	Ubicación del experimento
2	Croquis de investigación
3	Base de datos
4	Fotografías de instalación, monitoreo y manejo de ensayo
5	Ficha para evaluación de severidad de mildiu velloso
6	Glosario de términos técnicos

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la granja experimental Laguacoto III, en la provincia de Bolívar, Ecuador. El objetivo principal fue evaluar la eficiencia agronómica y económica de los cultivos de quinua *(Chenopodium quinoa)* y lenteja *(Lens culinaris)* bajo tres sistemas de producción: monocultivo de quinua, monocultivo de lenteja, y un sistema de asociación quinua-lenteja. Además, se analizaron dos tipos de fertilización: fertilización química y una combinación de fertilización química con materia orgánica. La investigación utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con seis tratamientos diferentes que combinaban los sistemas de producción y los tipos de fertilización. Se evaluaron variables agronómicas clave como el rendimiento de los cultivos, la severidad de enfermedades, y la altura de las plantas. Los datos obtenidos fueron analizados mediante un ADEVA, prueba de Tukey al 5% y análisis de correlación y regresión lineal. Los resultados mostraron que el monocultivo de quinua bajo fertilización combinada (tratamiento T2) produjo el mayor rendimiento con 2844.53 kg/ha, mientras que el sistema asociado quinua-lenteja presentó rendimientos intermedios, debido a la competencia entre ambos cultivos. En cuanto a la lenteja, el mejor rendimiento fue en monocultivo con fertilización química, alcanzando 272.46 kg/ha. El análisis económico reveló que el tratamiento T2 también fue el más rentable, con una Relación Beneficio/Costo (RB/C) de 1,64, lo que significa que por cada dólar invertido, se obtuvo una ganancia de $1,64. En cambio, los sistemas asociados, aunque menos productivos, pueden ser viables en contextos donde la diversificación de cultivos es necesaria para la sostenibilidad a largo plazo. En conclusión, el monocultivo de quinua con fertilización combinada se destacó como la mejor alternativa tecnológica tanto en términos de rendimiento como de rentabilidad, mientras que el monocultivo de lenteja fue más adecuado en sistemas con limitación de espacio.

Palabras clave: Quinua, Lenteja, Sistema de Producción, Fertilización, Rendimiento, Análisis Económico.

SUMMARY

The present research was conducted at the Laguacoto III Experimental Farm, located in the Bolívar province of Ecuador. The primary objective was to evaluate the agronomic and economic efficiency of quinoa (Chenopodium quinoa) and lentil (Lens culinaris) crops under three production systems: quinoa monoculture, lentil monoculture, and an associated quinoa-lentil system. Additionally, two types of fertilization were analyzed: chemical fertilization and a combination of chemical fertilization with organic matter. The study used a randomized complete block design, with six treatments that combined the production systems and fertilization types. Key agronomic variables, such as crop yield, disease severity, and plant height, were evaluated. The data were analyzed using ANOVA, Tukey's test at 5%, and correlation and linear regression analyses. The results showed that quinoa monoculture under combined fertilization (T2) produced the highest yield with 2844.53 kg/ha, while the associated quinoa-lentil system showed intermediate yields, due to competition between the two crops. For lentil, the best yield was observed in monoculture with chemical fertilization, reaching 272.46 kg/ha. The economic analysis revealed that T2 was also the most profitable treatment, with a Benefit/Cost Ratio (BCR) of 1.64, indicating that for every dollar invested, a net profit of $1.64 was achieved. In contrast, the associated systems, although less productive, may be viable in contexts where crop diversification is required for long-term sustainability. In conclusion, quinoa monoculture with combined fertilization emerged as the best technological alternative in terms of both yield and profitability, while lentil monoculture proved more suitable in systems with limited space.

Keywords: Quinoa, Lentil, Production System, Fertilization, Yield, Economic Analysis.

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La (*Chenopodium quinoa)*, popularmente conocida como quinua, kinua, parca o quinuna en quechua, es una especie vegetal que forma parte de la familia Amaranthaceae. Durante este proceso de domesticación, los pueblos andinos realizaron selección de genotipos en función de su uso y su capacidad para tolerar diversos factores adversos, tanto bióticos como abióticos (FAO, 2023)

La quinua ha sido un cultivo alimenticio esencial en los Andes de Sudamérica durante siglos. Sus granos son muy nutritivos, con alto contenido de proteínas y compuestos bioactivos, superando en valor biológico a los cereales tradicionales. Así, la quinua es un alimento bien balanceado con propiedades funcionales que ayudan a reducir el riesgo de enfermedades crónicas gracias a su actividad antioxidante, antiinflamatoria, inmunomoduladora y anticancerígena (FAO, 2024)

Debido a estos factores, la quinua ha experimentado un notable crecimiento en su cultivo. Según los datos de FAOSTAT, en el período de 2013 a 2021, los principales productores de quinua fueron Perú, con más de 91532 t, seguido de Bolivia en segundo lugar con más de 65049 t, y Ecuador en tercer lugar con más de 4128 t (FAO, 2023)

En el año 2022, la producción de quinua abarcó alrededor de 837 ha de terreno cultivado, distribuidas en dos provincias, y generó aproximadamente 884 t de cosecha anual. Es importante destacar que en este proceso participaron alrededor de 4 mil personas, todas ellas empleadas en labores agrícolas, y el 100% de ellas pertenecientes a familias campesinas. Este cultivo se caracteriza por estar mayormente compuesto por Unidades Productivas Agropecuarias de tamaño reducido,

con una superficie menor a 1 ha, representando el 96% del total (MAG, 2023)

En Ecuador, las provincias líderes en la producción de quinua son Carchi, Chimborazo, Imbabura y Pichincha. Sin embargo, en la provincia de Bolívar, el cultivo de quinua no es frecuente (Silva *et al.,* 2023).

Según datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), a través del Espac, que constituye la principal fuente oficial de información sobre el sector agropecuario y utiliza un marco de muestreo alineado con las recomendaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la producción de quinua en el año 2020 fue de solo 82 t a nivel nacional. De este total, 17 t fueron producidas en la provincia de Bolívar y 66 t en Chimborazo. En cuanto a la superficie sembrada, el país cuenta con tan solo 305 ha, distribuidas en 26 ha en Bolívar y 279 ha en Chimborazo, de las cuales se cosecharon 274 ha (INEC, 2021)

Los sistemas de producción agrícola comprenden el conjunto de prácticas, técnicas y procesos utilizados para cultivar y cosechar alimentos, productos vegetales y animales. Estos sistemas no solo implican la selección y manejo de cultivos y ganado, sino también la gestión de recursos naturales como suelos, agua y biodiversidad. Los sistemas de producción agrícola pueden variar ampliamente según factores como el clima, el suelo, la disponibilidad de recursos y las preferencias culturales. El objetivo principal de estos sistemas es maximizar la productividad y rentabilidad mientras se promueve la sostenibilidad ambiental y se garantiza la seguridad alimentaria de la población (Carro & Gonzáles, 2020)

El presente estudio se enfoca en investigar la eficiencia productiva del sistema de producción asociado de quinua y lenteja, con especial atención en dos sistemas de fertilización. Además, se espera que los resultados de esta investigación contribuyan al conocimiento científico sobre el manejo integrado de cultivos en sistemas agrícolas diversificados.

1.2. PROBLEMA

En la provincia de Bolívar, como en muchas otras regiones agrícolas, se enfrentan desafíos significativos en cuanto a la sostenibilidad y eficiencia de los sistemas de producción agrícola. Uno de los principales problemas que afectan a la agricultura en esta región es la prevalencia de monocultivos y la falta de diversificación de cultivos. La dependencia excesiva de un solo cultivo, como ha sido el caso de la zona de estudio con cultivos tradicionales como el maíz o la papa, aumenta la vulnerabilidad de los agricultores a riesgos como las enfermedades de las plantas y los cambios en los precios del mercado. Además, los monocultivos pueden agotar los nutrientes del suelo de manera desequilibrada, lo que conduce a una degradación progresiva de la tierra y la disminución de la productividad a largo plazo.

Un aspecto relevante es la falta de tecnología y conocimiento sobre la producción de cultivos alternativos como quinua y lenteja. Aunque tienen gran potencial para diversificar y mejorar la seguridad alimentaria, muchos agricultores carecen de capacitación y recursos para prácticas agrícolas innovadoras. El acceso limitado a tecnologías modernas, como sistemas de riego eficientes, técnicas de fertilización adecuadas y variedades mejoradas, limita el potencial productivo. Además, la escasez de recursos hídricos y la dependencia de las precipitaciones pluviales son desafíos importantes, especialmente con el cambio climático y la variabilidad climática.

La falta de conocimiento sobre las necesidades nutricionales específicas de la quinua y la lenteja, así como la ausencia de prácticas de fertilización adecuadas, pueden limitar el potencial de rendimiento de estos cultivos. Además, la fertilización inapropiada puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente, como la contaminación del agua y la degradación del suelo. Por lo tanto, es fundamental investigar y desarrollar estrategias

de fertilización efectivas y sostenibles que maximicen la productividad de los cultivos, al tiempo que minimizan su impacto ambiental.

De la misma manera estos cultivos enfrentan desafíos económicos debido a la baja eficiencia de los sistemas tradicionales, caracterizados por fertilización mínima y prácticas manuales, que resultan en bajos rendimientos y rentabilidad.

La realización de esta investigación se justifica por la necesidad de abordar los desafíos que enfrenta la producción agrícola y promover prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. La diversificación de cultivos, especialmente mediante el rescate e introducción de cultivos alternativos como la quinua y la lenteja, podría ofrecer una serie de beneficios significativos, incluida una mayor resiliencia frente a riesgos agrícolas, una mejora en la calidad del suelo y una mayor seguridad alimentaria para la comunidad local. Además, al investigar y desarrollar estrategias para mejorar la eficiencia productiva en el sistema de producción asociado de quinua y lenteja, se busca no solo generar conocimiento científico aplicable, sino también brindar apoyo práctico y herramientas útiles para los agricultores locales, con el fin de impulsar el desarrollo agrícola sostenible en la región y la economía de sus productores.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia agronómica del cultivo de quinua y lenteja bajo tres sistemas de producción y dos tipos de fertilización

1.2.1. Objetivos especifico

- Determinar el tipo de fertilización más adecuado para cada tratamiento
- Establecer el rendimiento en cada uno de los sistemas de producción

1.4. HIPÓTESIS

H0: La eficiencia agronómica del cultivo de quinua y lenteja no depende de los sistemas de producción y tipo de fertilización.

H1: La eficiencia agronómica del cultivo de quinua y lenteja depende de los sistemas de producción y tipo de fertilización.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Origen de la quinua

La quinua tiene sus raíces en la región Andina de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú, donde se cultivaba exitosamente hace entre 3000 y 4000 años para el consumo humano. Evidencia arqueológica sugiere su asociación con el pastoreo hace entre 5200 y 7000 años. Grandes civilizaciones antiguas, como la Tiahuanacu e Inca, contribuyeron al cultivo y preservación de esta planta ancestral (Orgaz, 2020)

La domesticación de la quinua probablemente tuvo lugar en la cuenca interior del lago Titicaca, a una altitud de aproximadamente 3500 metros sobre el nivel del mar, y experimentó un proceso de selección prolongado en un entorno extremadamente adverso, con poco estrés biótico aparte del calor. Con el tiempo, el cultivo se expandió a lo largo de los Valles Andinos, lo que dio lugar a la diversificación en cinco ecotipos principales: Altiplano, Salar, Valle, Costa y Yunga (Mujica, 2015)

La región andina de América Latina alberga uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas en el mundo, lo que ha resultado en uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y genéticamente diversos. La quinua es una planta de origen andino que exhibe la mayor forma y distribución genotípica, así como una diversidad ancestral silvestre considerable, principalmente en el lago Titicaca de Perú y las áreas circundantes de Bolivia. La mayor diversidad se encuentra en regiones como Potosí en Bolivia y Sicuani en Cusco, Perú, mientras que también se han identificado poblaciones diversas en Ecuador (Angulo, 2021)

2.2. Clasificación taxonómica

De acuerdo con El Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, 2022) clasifica a la quinua de la siguiente manera

Reino	**Plantae**
División	Tracheophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllales
Familia	Amaranthaceae
Género	*Chenopodium*
Especie	*quinoa*
Nombres comunes	Quinua, Quinoa.

Fuente: (ITIS, 2022)

2.3. Descripción morfológica de la quinua

2.3.1. Planta

La quinua se caracteriza como una planta anual de hojas dicotiledóneas, mayormente herbácea. La altura de la planta varía según la variedad y puede oscilar entre los 0,2 y 3 metros. La coloración de las plantas puede ser bastante diversa, ya que algunas variedades tienen hojas cubiertas por cristales de oxalato de calcio que influencian su apariencia. Por lo tanto, los colores pueden variar desde tonos rojizos y morados hasta verdes o amarillos (Orgaz, 2020)

2.3.2. Raíz

La quinua presenta una raíz pivotante que consiste en una raíz principal de la cual se desprenden numerosas raíces laterales altamente ramificadas. Su longitud puede variar significativamente, oscilando entre 0,8 y 1,5 metros, y su profundidad está relacionada con la altura de la planta (Gómez & Aguilar, 2016)

2.3.3. Tallo

El tallo de la quinua es cilíndrico en su unión con el cuello de la raíz, pero a medida que se aleja del suelo, adopta una forma angular en la cual emergen las hojas y las ramas. La corteza del tallo es firme y compacta, compuesta por tejidos fuertes y lignificados. Durante la época de floración, el color básico del tallo puede variar entre verde, amarillo verdoso, naranja, rosa, rojo y morado (Murillo *et al.,* 2023)

2.3.4. Hojas

Las hojas de la quinua son dentadas y polimórficas. Las hojas inferiores tienden a ser grandes y pueden tener formas triangulares o romboidales, mientras que las hojas superiores suelen ser lanceoladas. La lámina de la hoja está caracterizada por tres venas principales que emergen del peciolo. Las hojas son más grandes en la parte foliar de la planta y más pequeñas en la inflorescencia. Tanto las hojas como las partes jóvenes de la planta están cubiertas con pequeñas protuberancias blancas, rosadas o púrpuras, que contienen oxalato de calcio. Esta pubescencia granular tiene la capacidad de absorber agua del ambiente circundante, aumentando así la humedad relativa del aire alrededor de las hojas y actuando como un mecanismo para reducir la transpiración (Jamillo, 2023)

2.3.5. Inflorescencia

La inflorescencia de la quinua adopta la forma de una panoja con una longitud que varía entre 0,15 y 0,70 centímetros. Se encuentra ubicada en el ápice de la planta y en las ramificaciones, y consta de un eje principal, ejes secundarios y ejes terciarios. Dependiendo de la forma y posición de los glomérulos, se clasifican en amarantiformes, glomerulatas e intermedias. Las panojas pueden exhibir una gama de colores que incluyen verde, amarillo, anaranjado, rosa, rojo y púrpura (Mujica *et al.,* 2022)

2.3.6. Semilla

La semilla de quinua consta de tres partes principales: epispermo, embrión y perisperma. El epispermo, que cubre la semilla, está unido al pericarpio. El embrión, compuesto por dos cotiledones y la radícula, constituye alrededor del 30% del volumen total de la semilla y envuelve al perisperma en forma de anillo. Este último, el tejido principal de almacenamiento, mayormente compuesto por almidón, representa aproximadamente el 60% de la semilla. El color de los granos puede variar según la capa observada, y la intensidad puede alterarse durante el proceso de secado o eliminación de la saponina, así como también por el ambiente de almacenamiento o el lavado de la quinua, pudiendo incluso presentar diferencias dentro de la misma semilla (Padron *et al.,* 2021)

2.4. Fenología del cultivo de quinua

Sosa *et al.,* (2022) detallan los estados fenológicos utilizando la escala estandarizada de fenología basada en el sistema de codificación BBCH

Etapa de crecimiento principal 0 (germinación)	Se describe el proceso de germinación de la semilla hasta que los cotiledones emergen del suelo, abarcando diversas etapas secundarias. Esto incluye el inicio de la imbibición de las semillas (etapa 01), seguido por la completa imbibición de la semilla (etapa 03) y la posterior emergencia de la radícula (etapa 05). Luego, la planta avanza a la subetapa de emergencia del coleóptilo (etapa 08), culminando con la última subetapa: la emergencia de los cotiledones (etapa 09).
Fase fenológica principal 1 (desarrollo de hojas)	El inicio de esta etapa se caracteriza por la expansión de los dos cotiledones (etapa 10), seguido por la aparición del primer par de hojas (etapa 11), consideradas como tales una vez que se han expandido o están en proceso de expansión.
Fase fenológica principal 2 (formación de ramas laterales	En el caso de la quinua, la aparición de brotes laterales puede ocurrir antes o después de la aparición de la inflorescencia, dependiendo del genotipo. Se considera que un brote lateral es visible cuando alcanza una longitud de 1 cm o más. El primer brote lateral se clasifica como etapa 21,

	seguido por el segundo brote lateral clasificado como etapa 22 y así sucesivamente.
Fase fenológica principal 3 (elongación del tallo principal) (omitida	Es importante tener en cuenta que la elongación continúa incluso después de la antesis, sin proporcionar información relevante.
Fase fenológica principal 4 (desarrollo de órganos de consumo (omitida)	Además, dado que la escala está diseñada para un cultivo en el que el producto cosechado son los frutos, se deben considerar ciertas adaptaciones para aplicarla en el caso específico de la quinua.
Fase fenológica principal 5 (emergencia de la inflorescencia)	La fase inicia con la etapa en la que las inflorescencias están envueltas en hojas (etapa 50). Se concluye cuando la inflorescencia presenta flores cerradas, pero las hojas que la rodean están expandidas (etapa 59), lo que facilita su observación.
Fase fenológica principal 6 (floración	Comienza con la etapa de inicio de floración, marcada por la presencia de las primeras anteras (etapa 60) en las flores de la inflorescencia principal, y finaliza con la etapa de floración, cuando se pueden observar anteras senescentes en las flores de la misma (etapa 69).
Fase fenológica principal 7 (desarrollo del fruto):	Esta fase se inicia con el desarrollo de los granos, caracterizado por un aumento del ovario y la aparición de los primeros granos visibles (etapa 70).
Fase fenológica principal 8 (madurez del fruto)	La madurez del fruto se evalúa según la dificultad para romper el grano con la presión de una uña y la densidad de su contenido. Por lo tanto, se clasifica en grano lechoso (etapa 81), grano pastoso (etapa 85) y grano maduro (etapa 89).
Fase Fenológica principal 9 (senescencia	Comienza con la etapa de senescencia de las hojas inferiores (etapa 91), seguida por la senescencia de las hojas de la mitad superior del tallo (etapa 93), y termina con la etapa de cosecha del producto (etapa 99). Estas etapas ocurren simultáneamente con la fase 8

Fuente: (Sosa et al., 2022).

2.5. Requerimiento del cultivo

Aspectos Climáticos		
Sensibilidad a heladas	Medianamente sensible	
Etapa o parte más sensible a las heladas	Floración y llenado de grano	
Temperatura crítica o de daño por heladas	(-4°C)	
Temperatura base o mínima de crecimiento	5,8 °C (para germinación) pudiendo ser hasta 2°C pero demora más días en germinar	
Rango de temperatura óptima de crecimiento	15-25 °C	
Límite máximo de temperatura de crecimiento	38°C	
Tº mínima, óptima y máxima de germinación	2°C; 6-15°C; 30°C	
Suma térmica Tº>6º entre siembra y cosecha	1700-1900	
Requerimiento de fotoperiodo	12 horas de luz diarias en el hemisferio sur sobre todo en el Altiplano	
Requerimiento hídrico	700-1.500 mm en el Valle y a nivel del mar, Altiplano 400-800mm	
Aspecto del suelo		
Profundidad de suelo	Subsuelo suelto	1 m
Acidez (pH)	Mín. tolerado	4,5
	Óptimo	6
	Máx. tolerado	9
Salinidad	Valor crítico de conductividad Eléctrica	42,2 dS/m
Textura	Franco- franco arenoso, sin limitación	
Drenaje	Imperfecto Niv. Freát. A 110 cm	
Pedregosidad	No pedregoso <15% piedra	Sin limitación
	Pedregoso 15-35% piedras	Limitación leve
Pendiente	Suave 2-6%	Sin limitación
	Inclinada 6-10%	Limitación moderada

Fuente (Centro de información de Recursos Naturales – CIREN. 2017)

2.6. Manejo del cultivo de quinua

2.6.1. Semilla

La siembra de la quinua debe llevarse a cabo inmediatamente después de finalizar la preparación del suelo para garantizar que las semillas tengan la humedad adecuada y para reducir la competencia con las malezas. Dado que las semillas de quinua son pequeñas, es importante sembrarlas con cuidado para asegurar una buena germinación y un establecimiento exitoso del cultivo. La siembra puede realizarse directamente en el suelo o mediante trasplante (Valladares *et al.,* 2020)

Surcado: Se sugiere emplear el sistema de siembra en surcos, ya que esto facilita la ejecución de diversas labores culturales durante el ciclo del cultivo. Es fundamental surcar el terreno considerando una pendiente favorable para una adecuada distribución del agua sin causar erosión del suelo. La distancia entre surcos se determina según la maquinaria agrícola o el equipo de tracción animal utilizado, y puede variar entre 40 y 80 cm, con una profundidad de 15 a 20 cm (Ludvigson *et al.,* 2019)

Ubicación de las semillas:

Con Riego: En el caso del riego por goteo, las semillas deben colocarse a unos 5-10 cm de distancia de la cinta de goteo, pudiendo incluso emplearse en doble hilera. Para el riego por gravedad, las semillas se colocan en el costado del surco, a unos 10 cm de profundidad (Carabalí *et al.,* 2019)

Con lluvia: Dependiendo de las condiciones de precipitación, las semillas se colocan en el fondo del surco en áreas con baja precipitación y en la cresta del surco en áreas con alta precipitación. En todos los métodos de siembra manual, las semillas se distribuyen de manera continua, ya sea a mano utilizando un dosificador casero o mediante una pequeña máquina especializada para la siembra de hortalizas (Carabalí *et al.,* 2019)

- **Siembra directa**

La quinua puede ser sembrada utilizando una máquina sembradora diseñada para cereales de grano pequeño o una destinada a pastos. Es crucial ajustar la máquina sembradora en cada siembra, ya que el tamaño de los granos de quinua varía según la variedad y el lugar de producción. Además, se debe verificar la profundidad de la siembra y la distancia entre los dispositivos que abren y cierran el surco o la línea de siembra (Barcena *et al.,* 2022)

- **Densidad de siembra o cantidad de semilla/ha**

La cantidad de semilla a emplear depende de los siguientes factores:

Tamaño de la semilla: Se recomienda utilizar una mayor cantidad de semillas para variedades de grano grande y una menor cantidad para aquellas de grano pequeño. El peso de mil granos de quinua puede variar de 1.5 a 3 g (Barcena *et al.,* 2022)

Zonas de siembra: En áreas costeras o terrenos planos con suelos bien humedecidos, se recomienda utilizar entre 10 y 12 kg/ha de semillas. Por otro lado, en regiones de altiplano o valles interandinos con condiciones de secano, se sugiere aumentar la cantidad de semillas a entre 15 y 20 kg/ha, especialmente en terrenos con suelos pedregosos o pendientes pronunciadas que se secan rápidamente debido a la alta radiación solar (Barcena *et al.,* 2022)

Siembra manual o mecanizada: Se recomienda una cantidad de 10 a 12 kg/ha, mientras que para máquinas sembradoras de hortalizas se sugiere utilizar entre 4 y 5 kg/ha, y para sembradoras de cereales, entre 12 y 15 kg/ha (Barcena *et al.,* 2022)

- **Profundidad de siembra**

La profundidad adecuada de siembra asegura que las semillas estén ubicadas en un nivel donde puedan absorber agua para la germinación sin

correr el riesgo de deshidratarse posteriormente. Dado el tamaño de las semillas, esta profundidad no debe exceder los 2 cm. Posteriormente, se cubren con una capa muy delgada de tierra utilizando herramientas simples que permitan un ligero movimiento del suelo en el área cercana a las semillas (Gaibor & Quillupangui, 2020)

2.6.2. Trasplante

Este método es especialmente recomendado en áreas donde se dispone de riego por agua. El proceso comienza con la preparación de un almácigo en un lugar adecuado, como camas almacigueras o bandejas, siguiendo los mismos pasos recomendados para la siembra de hortalizas con semillas pequeñas (Quispe & Espeza, 2022)

Una vez que las plántulas han desarrollado entre cuatro y seis hojas verdaderas, están listas para el trasplante. Se aconseja sumergir las plántulas en una solución de agua con lejía al 1% para protegerlas contra hongos. Luego, se trasplantan al campo definitivo con una separación de aproximadamente 5 cm entre ellas. Durante este proceso, es importante mantener el suelo húmedo para facilitar el establecimiento de las plántulas. Aunque requieren una mayor atención inicial, el establecimiento de las plántulas trasplantadas es rápido. En este método, la cantidad de semilla utilizada es de 1 kg/ha. Una ventaja significativa de este enfoque es la reducción de problemas con malezas y la eliminación de la necesidad de realizar labores de desahíje o desmalezado (Quispe & Espeza, 2022)

2.6.3. Periodo de siembra

Los periodos de siembra deben ser establecidos considerando:

- La elección de la variedad de quinua a sembrar depende del período vegetativo, siendo preferible sembrar variedades de ciclo tardío al comienzo de la temporada de cultivo. En caso de retrasos en la siembra, se recomienda optar por variedades de ciclo precoz para evitar posibles problemas de maduración fuera de tiempo.

- La ubicación de los campos de cultivo es crucial y puede variar según las condiciones geográficas. Se consideran aptas las zonas costeras, los valles interandinos y las regiones de altiplano para el cultivo de quinua.
- La disponibilidad de agua y el inicio y duración del período de lluvias son factores determinantes para el éxito del cultivo. Se debe tener en cuenta la presencia de agua para riego o la disponibilidad de lluvias durante el ciclo de cultivo para garantizar un adecuado suministro hídrico a las plantas (Alarcon, 2019)

2.6.4. Fertilización

- **Suelos y disponibilidad de nutrientes**

La fertilización juega un papel fundamental en el cultivo de la quinua debido a su elevada exigencia de nutrientes. Es esencial tomar muestras de suelo en el área de cultivo seleccionada y analizarlas según el protocolo establecido para evaluar la disponibilidad de nutrientes. Esta información permite ajustar la fertilización de manera precisa para obtener altos rendimientos y calidad. En terrenos con baja fertilidad, comunes en zonas de sierra debido a la continua extracción de minerales por múltiples cosechas sin reposición, los rendimientos suelen ser bajos, alrededor de 1000 kg/ha (Galecio *et al.,* 2023)

El pH del suelo es un factor crítico que afecta la disponibilidad de nutrientes para la quinua. Esta planta prospera en un rango de pH de 5.5 a 7.8, fuera del cual puede experimentar deficiencias nutricionales que afectan su crecimiento y desarrollo. Para corregir la acidez del suelo, con un pH por debajo de 5.5, se puede aplicar cal para elevar gradualmente el pH. Es recomendable realizar esta aplicación unos meses antes de la siembra para permitir que la cal se distribuya en el perfil del suelo y modifique el pH en la zona de las raíces. En suelos alcalinos, con un pH superior a 7, es posible que existan deficiencias de manganeso, hierro, zinc y boro, especialmente en suelos ligeramente alcalinos. En estos casos, es importante realizar un

monitoreo y aplicar los nutrientes necesarios para corregir las deficiencias según sea necesario (Galecio *et al.,* 2023)

- **Absorción y remoción de nutrientes**

La quinua requiere una amplia gama de nutrientes para un crecimiento óptimo, principalmente macroelementos como oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, así como cantidades menores de microelementos como hierro, boro, zinc, cobre, sodio, molibdeno, cloro, cobalto y sílice (Triana, 2019)

Mientras que el oxígeno, el carbono y el hidrógeno provienen del aire, los otros 16 elementos deben ser administrados mediante aplicaciones directas al suelo o a la planta, dependiendo de las condiciones del suelo, su fertilidad y el uso de fertilizantes para el cultivo (Apaza, 2019)

Nitrógeno

El nitrógeno es crucial para el crecimiento de la quinua y frecuentemente es un factor limitante en los rendimientos. Este nutriente promueve el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis, lo que influye en el número de hojas, el número de semillas por inflorescencia y, por ende, el potencial de rendimiento. Una porción significativa del nitrógeno absorbido por la planta se acumula en los granos durante la maduración, contribuyendo al contenido de proteínas (Apaza, 2019)

En el suelo, el nitrógeno se encuentra en diversas formas, y a través de reacciones químicas se transforma en nitrato (NO3), que es la forma asimilable por las plantas. Los síntomas de deficiencia de nitrógeno incluyen un color verde pálido o amarillo en las hojas, inflorescencias pequeñas y una disminución en el contenido de proteínas de los granos, así como un tamaño reducido en algunos granos (Apaza, 2019)

Fósforo:

La respuesta de la quinua al fósforo está condicionada por la disponibilidad de fósforo soluble y el nivel de fijación del fósforo agregado al suelo. Cuando los niveles de materia orgánica son favorables y hay una buena mineralización, puede haber cantidades significativas de fósforo disponibles. El fósforo mineralizado de la materia orgánica es preferible al fósforo inorgánico aplicado, ya que permanece disponible por más tiempo en la solución del suelo para ser absorbido por la planta. Una forma de aumentar la disponibilidad de fósforo orgánico es cultivar quinua después de cultivos de abono verde. También se puede mejorar la absorción de nutrientes mediante el uso de micorrizas radicales aisladas de la quinua, las cuales establecen una relación simbiótica con las raíces (Chavez, 2019)

Los síntomas de deficiencia de fósforo en las plantas de quinua incluyen una marcada reducción en la altura de las plantas, hojas con un color verde muy oscuro o tonos rojizos en los ápices de las hojas jóvenes, retraso en la floración y maduración, así como inflorescencias pequeñas y distorsionadas y granos subdesarrollados. Dado que este macronutriente es absorbido principalmente durante las primeras etapas de crecimiento, principalmente para el desarrollo del sistema radicular, es recomendable aplicar fósforo durante la siembra y cerca de las semillas para garantizar una disponibilidad rápida para las raíces (Campos, 2021)

Potasio

La quinua absorbe potasio (K) en cantidades significativas, y gran parte de este nutriente se acumula en el tallo, donde puede ser reciclado mediante la incorporación de residuos de cosecha. La falta de potasio se evidencia en un débil crecimiento del sistema radicular, tallos frágiles y hojas inferiores con bordes y puntas amarillentas y secas. La quinua responde positivamente a una fertilización adecuada con potasio, especialmente si el suelo presenta deficiencias en este nutriente, lo cual debería corregirse al momento de la siembra (Chávez, 2020)

- **Absorción y remoción de nutrientes**

Las dosis de fertilización deben adaptarse al potencial de rendimiento de la variedad y a la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Se han alcanzado rendimientos más altos de quinua, entre 6000 a 7000 kg/ha, en condiciones de campo de agricultor utilizando dosis de 300-120-300 kg/ha de nitrógeno-fósforo-potasio en suelos franco arenosos a una altitud de 1200 m.s.n.m., administrados mediante riego (Triana, 2019)

2.6.5. Desahíje o raleo

En algunas ocasiones, si la siembra se realizó directamente con semilla de calidad, puede haber una alta densidad de plántulas en los campos, lo que requiere un raleo para proporcionar más espacio, nutrientes y aire a las plantas en crecimiento. Una densidad excesiva conduce a plantas débiles y pequeñas, con rendimientos reducidos, mientras que una baja densidad resulta en plantas ramificadas que prolongan el ciclo vegetativo y permiten el crecimiento de malezas. Se considera una densidad adecuada alrededor de 50 plantas por metro lineal, es decir, aproximadamente 500,000 plantas por ha (Garzón, 2019)

Esta tarea de raleo se lleva a cabo junto con el deshierbo cuando las plantas de quinua tienen entre 15 y 20 cm de altura y el suelo presenta una humedad adecuada. Se recomienda conservar las plantas más vigorosas y eliminar aquellas que sean débiles, enfermas o atípicas. Esto es especialmente importante en la producción de semillas certificadas, donde las plantas vigorosas pueden ser trasplantadas a áreas con una población más baja en el campo (Luján, 2022)

2.6.6. Aporque

El aporque permite la fijación de las raíces y protege las plantas del tumbado, especialmente en las quinuas de mayor altura de planta. Esta labor se realiza inmediatamente después del deshierbo y el desahíje o raleo. También permite cubrir el abono nitrogenado complementario,

aplicado entre franjas de plantas. Es fundamental que el suelo tenga la humedad adecuada para realizar el aporque, y esta labor puede llevarse a cabo manualmente con herramientas de campo como lampas y palas, o mediante implementos arrastrados por tractor, similar a la práctica empleada en el cultivo de maíz (Ulloa & Valle, 2021)

2.6.7. Riego

El riego debe administrarse de manera que suministre la cantidad de agua necesaria para el óptimo crecimiento de la quinua. El agricultor, con su conocimiento del terreno y ayudado por un plano topográfico, puede establecer un sistema de riego y drenaje adecuado. Es importante evitar el exceso de agua, ya que la quinua puede sufrir daños en su desarrollo en zonas inundables. El cultivo de quinua en la región andina se lleva a cabo en áreas con precipitaciones que oscilan entre 200 mm y 1000 mm (Carabalí *et al.,* 2019)

2.6.8. Malezas y su manejo

Las malezas representan un desafío significativo en el cultivo de la quinua, ya que compiten por recursos esenciales como agua, nutrientes y luz, lo que puede ocasionar pérdidas significativas de rendimiento. Además, las malezas pueden actuar como vectores de enfermedades y plagas, así como dificultar la cosecha. Las semillas de quinua, al germinar, son inicialmente pequeñas y débiles, lo que las hace vulnerables a la competencia con las malezas que pueden germinar con mayor vigor. Esta competencia se manifiesta principalmente en la fase vegetativa y de ramificación del cultivo, donde las malezas, tanto de hoja ancha como gramíneas, pueden afectar el rendimiento (Delgado *et al.,* 2021)

2.6.9. Plagas y enfermedades de la quinua

- ***Mildiu (Perenospora variabilis)***

El mildiu representa la principal amenaza para el cultivo de quinua, afectando áreas tanto en la costa como en el altiplano y los valles interandinos, y se ha reportado su incidencia incluso fuera de la región andina. Los síntomas más notorios de esta enfermedad se manifiestan en las hojas, donde reduce significativamente el área disponible para la fotosíntesis, impactando negativamente en el crecimiento de la planta y, por ende, en su rendimiento. La infección puede provocar un achicamiento de la planta (enanismo) y la caída prematura de las hojas, lo que resulta en una disminución del rendimiento que oscila entre el 10% y el 30%. En casos graves y durante etapas críticas del ciclo de crecimiento de la planta, la enfermedad puede llevar a una pérdida total de la cosecha, especialmente en variedades susceptibles (Aguilar *et al.,* 2020)

Los síntomas iniciales del mildiu se manifiestan como pequeñas manchas irregulares que aumentan de tamaño a medida que la enfermedad progresa. El color de estas manchas puede variar, desde amarillo o clorótico hasta tonos rosados o rojizos, dependiendo del color de la planta. En el envés de las hojas, se puede observar una capa de micelio gris, especialmente abundante en variedades susceptibles. Aunque la enfermedad es más común en las hojas, también pueden aparecer síntomas en tallos, ramas, inflorescencias y granos (Aguilar et al., 2020)

Control cultural:

- Se sugiere utilizar semillas saludables y provenientes de viveros certificados donde no se haya registrado la presencia de este hongo patógeno. Además, se recomienda desinfectar las semillas. Esta desinfección puede realizarse utilizando productos como CTC (una mezcla de Carbendazim, Thiram y Carbofuram), Acronis Top (que

contiene Fipronil, Thiophanate-methyl y Pyraclostrobin) o Divend (que contiene Difeconazole).

- Es importante mantener el campo en condiciones óptimas para fomentar el crecimiento de plantas vigorosas que sean más resistentes al estrés provocado por enfermedades. Se aconseja practicar la rotación de cultivos con especies que no sean hospedadoras del mildiu, así como evitar el monocultivo, ya que los residuos de cosecha son una fuente importante de inóculo para la enfermedad.
- Las siembras deben realizarse en épocas desfavorables para el desarrollo de enfermedades pero propicias para el cultivo de la quinua. En caso de que se presenten plantas enfermas de manera esporádica y aislada, especialmente en campos pequeños, se recomienda eliminarlas tempranamente.
- Es fundamental mantener una densidad de siembra adecuada, ya que un exceso de plantas puede crear microambientes con alta humedad que favorecen el desarrollo de los hongos. Los campos deben contar con un buen sistema de drenaje para evitar la acumulación de agua, que también favorece la proliferación de enfermedades (León et al., 2021).

Control genético:

Una estrategia efectiva es cultivar variedades de quinua que sean naturalmente resistentes a la enfermedad, especialmente en áreas donde las condiciones ambientales favorecen su desarrollo y donde se practica la producción orgánica de quinua (Raico, 2022)

Control químico:

En casos de infestaciones severas, es posible recurrir al uso de fungicidas recomendados para combatir este hongo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que algunos de estos productos pueden provocar fitotoxicidad en la quinua y dejar residuos tóxicos en los granos, lo cual podría limitar su comercialización. Se sugiere emplear fungicidas que contengan Mefenoxan

+ Mancozeb durante los primeros 60 días, seguidos por un fungicida orgánico basado en Bacillus subtilis (Moreta, 2022)

Control orgánico:

- Desinfectar o tratar las semillas con microorganismos como (*Trichoderma* spp), (Bacillus subtilis) u otros. Estos microorganismos compiten con los patógenos presentes en la superficie de la semilla y promueven un mejor desarrollo radicular.
- Aplicar microorganismos como la bacteria *(Bacillus subtilis)* y el hongo (*Trichoderma* spp). junto con abono orgánico en el momento de la siembra. *(Bacillus subtilis)* se desarrolla eficazmente en un rango de pH de 5 a 8 y a temperaturas entre 15 y 50 °C, con un óptimo de 28 a 35 °C. Su crecimiento es progresivo en ambientes húmedos y actúa como biocontrolador mediante el mecanismo de antibiosis.
- Utilizar extractos de plantas con propiedades antifúngicas, como ajo *(Allium sativum)* y cola de caballo *(Equisetum arvense)*. Estos extractos deben aplicarse de manera preventiva o al detectarse los primeros síntomas de la enfermedad. Se recomienda utilizar un adherente natural a base de cactáceas y asegurarse de mojar completamente la planta durante la aplicación.
- Aplicar caldo sulfocálcico de manera preventiva en una dosis de 250 ml en una bomba de mochila de 15 litros, y en caso de efecto curativo, aplicar 300 ml en la misma cantidad de agua (Cumara, 2019)

- ***Podredumbre marrón del tallo (Phoma exigua)***

La enfermedad se manifiesta mediante lesiones de color marrón oscuro con bordes vítreos, donde pueden observarse puntos negros que corresponden a los picnidios del hongo. Estas lesiones suelen localizarse principalmente en los tallos y en la panoja. En áreas afectadas, los tallos pueden presentar deformaciones o quebrarse debido a la infección. La propagación del hongo se ve favorecida por heridas mecánicas en las plantas, y tiende a adaptarse bien a climas fríos (Luján, 2022)

Control

Evitar daños mecánicos o heridas, evitar campos con tendencia al encharcamiento para evitar exceso de humedad y eliminar rastrojos de plantas infectadas en el campo. Evitar la rotación con papa, ya que afecta este cultivo causando la enfermedad llamada gangrena. Se recomienda emplear Foli Guard con una dosis de 250 cc/ cilindro (Coila, 2019)

- **Polilla de quinua *(Eurysacca quinoa)***

Desde las primeras fases de crecimiento de la planta, las larvas exhiben comportamientos minadores y de adherencia al follaje. Conforme avanzan en su desarrollo, abandonan las galerías que han excavado para infestar nuevas hojas y brotes. Durante la fase de floración, las larvas pueden encontrarse dentro de las panojas (Campos, 2021)

Control

Para controlar la plaga de polillas, se recomienda el uso de cipermetrina y alfacipermetrina, aplicadas a una dosis de aproximadamente 50 cc por mochila de 20 litros (Campos, 2021)

- **Mosca minadora *(Liriomyza* sp*)***

Al congregarse en el envés de las hojas, brotes e inflorescencias, estas moscas minadoras se alimentan de la savia de la planta, lo que ocasiona debilitamiento, marchitez e, en casos de infestaciones severas, la proliferación del hongo de la fumagina (Alarcon, 2019)

Control

Para controlar la mosca minadora, se recomienda el uso de Ciromazina (Trigard 75 WP) a una dosis de media copa (Soca, 2021)

2.6.10. Cosecha y post cosecha

La planificación adecuada de la cosecha es fundamental. Retrasarla puede exponer los granos al medio ambiente, aumentando el riesgo de pérdidas debido a granizadas, desgranado por el exceso de secado de la planta, lluvias inesperadas y el ataque de aves. La humedad de los granos es un indicador crucial: cuando la planta de quinua alcanza la madurez fisiológica, los frutos o granos están en estado pastoso, con aproximadamente un 45% de humedad. Luego, la planta pasa por un proceso de secado, alcanzando el estado "rayable con la uña" con alrededor de un 20% de humedad, y finalmente, el estado de "grano frágil bajo el diente" con un 14% de humedad, momento óptimo para la cosecha. Este proceso es similar al descrito para los granos de cereales. Además, es importante considerar las precipitaciones durante la época de cosecha y establecer un programa de rotación de cultivos para mantener la salud del suelo y prevenir problemas fitosanitarios (Ulloa & Valle, 2021)

Cosecha manual

Siega: La siega de la quinua se realiza idealmente en las primeras horas de la madrugada, cuando las plantas aún retienen la humedad del rocío, utilizando una hoz para cortarlas a una altura de unos 20-30 cm del suelo. Esto se hace para evitar el desprendimiento prematuro de los granos, que tienden a secarse y caer con la exposición al sol. Es importante evitar arrancar las plantas desde la raíz, ya que esto podría llevar piedrecillas y arenillas que afectarían la calidad de los granos para su comercialización (Crisóstomo, 2019)

Secado: Una vez cortadas, las plantas se apilan con las panojas hacia arriba, formando arcos o parvas, permitiendo que los granos y las plantas se sequen adecuadamente. Este proceso continúa hasta que los granos alcancen la humedad óptima para la trilla, que oscila entre el 12% y el 15%, o cuando el perigonio floral se desprende fácilmente. El secado puede

llevarse a cabo sobre mantas de lona u otros materiales adecuados (Cerron & Junchaya, 2019)

Trilla: las plantas de las parvas se colocan en mantadas y se golpean o frotan con garrotes o palos para separar los granos del resto de la planta. Posteriormente, se procede a separar los granos de las envolturas florales, utilizando el viento o equipos manuales o mecánicos con tamices especiales diseñados para retener únicamente los granos de quinua (Mollisaca & Bonifacio, 2021)

Almacenamiento

Se recomienda almacenar los granos de quinua seleccionados con una humedad no superior al 12%. Estos deben ser colocados en sacos sobre una tarima para evitar el contacto directo con el suelo del almacén. Los grupos de sacos deben mantenerse alejados a más de 80 cm de la pared y a más de 150 cm del techo. El lugar de almacenamiento debe ser fresco, seco y preferiblemente con un piso de cemento para prevenir la entrada de roedores. También se pueden utilizar silos metálicos para este fin (Romero et al., 2019).

Es crucial monitorear regularmente la temperatura y la humedad en el almacén. Se recomienda que la temperatura de los granos sea menor que la temperatura ambiente. Un almacén más fresco ayudará a conservar los granos durante más tiempo. Si la temperatura de los granos aumenta, es necesario ventilar las semillas para enfriarlas. Es importante realizar inspecciones periódicas del estado sanitario de los granos para detectar posibles infecciones por moho o presencia de insectos (Sanchez, 2019).

2.7. Variedades

2.7.1. Quinua INIAP Pata de venado

Derivada de un intercambio de germoplasma con Bolivia, está registrada en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos del INIAP bajo el

código ECU-572. Fue identificada como una línea promisoria en 2001, tras una caracterización exhaustiva de la colección nacional de quinua de grano blanco, considerando criterios como precocidad, resistencia al mildiu, contenido de saponina y potencial de rendimiento. Posteriormente, entre 2002 y 2005, se llevaron a cabo evaluaciones participativas con agricultores en varias comunidades de diferentes provincias. La variedad fue distribuida a los agricultores en 2005, tras ser seleccionada por ellos mismos por criterios que incluían panojas grandes y compactas, altura de planta moderada, poco follaje, tallo resistente y poco propenso al tumbado, alta productividad, maduración rápida, resistencia a enfermedades, y granos de sabor dulce, blanco y con cáscara fina (Mazón, 2010)

Hábito de crecimiento	Erecto
Ramificación	Ausente
Color de la panoja	Rosada
Tipo de panoja	Terminal
Tamaño de la panoja (promedio)	29 cm
Altura de planta (promedio)	68,6 cm
Acame de cosecha	Bajo
Color de grano	Blanco
Peso de 100 semillas (promedio)	0,36g
Contenido de saponina	0,00%
Días a la floración (promedio)	70
Días a la cosecha (promedio)	151
Rendimiento por planta (promedio)	7,6g
Rendimiento por ha (promedio)	1200Kg
Adaptación (altitud)	2800 a 3800 msnm

Fuente: (Mazón, 2010)

2.7.2. Lenteja INIAP - 406

La lenteja precoz INIAP-406, derivada del Banco de Germoplasma del INIAP bajo el código E-141, surgió después de extensas evaluaciones en diferentes países con climas secos. La línea "precoz", originalmente de

Argentina, fue seleccionada y posteriormente designada como la variedad INIAP-406. Esta variedad exhibe un ciclo vegetativo de 140 días en altitudes que oscilan entre 2000 y 2800 msnm, con una producción potencial de 1000 kg/ha (Tapia, 2021).

Hábito de crecimiento	Semi erecta
Color de la flor	Blanco con estrías lilas
Altura de la planta	30 a 35 cm
Nº de semillas por vaina	1 a 2
Tamaño del grano	Mediano
Calibre del grano	5 a 6 mm
Color del grano	Crema amarillento
Forma del grano	Redondeado
Peso de 100 semillas	6.8 g
Porcentaje de proteína	18 %
Rendimiento promedio	1000 kg/ha
Pisos altitudinales	2000 a 2800 m de altitud
Días a la emergencia	5 a 7
Días a la floración	58 a 65
Días a la madurez	125 a 140

Fuente; (Tapia, 2021)

2.8. Aspectos nutricionales

2.8.1. Quinua

El valor nutricional de la quínoa por 100 gramos de este alimento corresponde a 370 calorías, 14 gramos de proteínas, 64 gramos de carbohidratos, 6 gramos de lípidos, 7 gramos de fibra, 22 miligramos de vitamina C, 47 miligramos de calcio y 4,6 miligramos de hierro, entre algunos nutrientes. Si bien, su valor nutricional puede variar de acuerdo al suelo de cultivo, variando su contenido proteico entre 11 a 20 gramos por cada 100 gramos (Riquelme, 2019)

Proteínas: La cantidad de proteínas de la quinoa varía según la variedad, y se encuentra entre un 10,4-17%. La quinoa tiene más proteínas que otros granos (arroz 8%, trigo 8,9%, maíz 9,4%, cebada 10%). A diferencia del resto, la quinoa contiene una proteína completa de alto valor biológico que aporta todos los aminoácidos esenciales y no esenciales. Asimismo, la quinoa no contiene gluten por lo que es apta para el consumo dentro de una dieta para celíacos. Además, la calidad y cantidad de sus proteínas la convierten en un alimento muy recurrido en las dietas veganas (Campos et *al.,* 2022)

Grasas: El contenido en grasa de la quinoa es del 5,5%. De ese porcentaje, la mitad es grasa poliinsaturada, habiendo omega 6 (ácido linoleico) y, en menor proporción, omega 3 (ácido linolénico) (Campos *et al.,* 2022)

Hidratos de carbono: Contiene un importante contenido de hidratos de carbono complejos, por lo que es una importante fuente de energía (Campos *et al.,* 2022)

Fibra: La mayoría de su fibra es insoluble. Entre las principales propiedades nutricionales de la quinoa destaca su elevado contenido en fibra. Sus valores son sensiblemente mayores que en la mayoría de los granos, aunque menor que en las legumbres (Campos *et al.,* 2022)

Vitaminas y minerales: La quinoa es una fuente de vitaminas importante comparada con otros granos. Estas vitaminas son principalmente la vitamina B2 (riboflavina) y el ácido fólico. Sin embargo, el contenido en vitamina B1 (tiamina) es similar, mientras que el de vitamina B3 (niacina) es inferior. También tiene cantidades importantes de vitamina E, pero su contenido disminuye tras el cocinado. Además, es una fuente importante de hierro, magnesio, zinc y potasio (Campos *et al.,* 2022)

2.8.2. Lenteja

Las lentejas tienen un excelente valor nutricional, ya que nos proporcionan fibra, hierro, folato, proteína, magnesio y zinc.

A continuación, te ofrecemos toda la información nutricional de las lentejas por cada 100 gramos de consumo.

Nutrientes

- Calorías: 325 kcal
- Proteínas: 25 g
- Hidratos de Carbono: 54 g
- Grasas: 1,7

Minerales

- Hierro: 8,6 mg
- Calcio: 60 mg
- Magnesio: 80 mg
- Potasio: 790 mg
- Fósforo: 400 mg

Vitaminas

- Vitamina A: 100 U
- Vitamina C1: 0,50 mg
- Vitamina C: 3 mg (Benitez, 2019)

2.9. Sistemas de producción

El sistema convencional propuesto se fundamenta en la ejecución básica de labores agrícolas en el campo, con una dosis mínima de fertilización, recomendada para condiciones de producción en altitudes elevadas. Se emplea fuerza animal para la preparación del terreno, complementada con trabajo manual, que se extiende a lo largo de todo el ciclo del cultivo. Las características de este sistema fueron definidas considerando las prácticas tradicionales de los agricultores locales (Uribe, 2022)

En contraste, el sistema de tecnología intermedia propuesto establece labores agrícolas consideradas como óptimas para un cultivo comercial de

quinua, con una mayor fertilización y aplicación foliar. La preparación inicial del terreno es mecanizada, mientras que las labores posteriores son realizadas manualmente (Uribe, 2022)

2.9.1. Sistemas de producción asociado en fajas

Se refiere a una práctica agrícola que implica el cultivo de diferentes especies vegetales en franjas o fajas adyacentes en un mismo campo. Este enfoque busca aprovechar los beneficios de la asociación de cultivos, como la complementariedad en el uso de recursos y la reducción de enfermedades y plagas, promoviendo así una producción más eficiente y sostenible (Sanchez, 2019)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación de la investigación

Localización de la investigación

La presente investigación fue realizada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias Recursos Naturales y del Ambiente en el sector Granja Laguacoto III (Guaranda Km.1.1/2 Vía San Simón), parroquia Veintimilla, cantón Guaranda, provincia de Bolívar.

Situación geográfica y edafoclimáticas

Altitud	2622msnm
Latitud	01°36´52"S
Longitud	78°59´54"W
Temperatura media anual	14,4°C
Temperatura máxima	21°C
Temperatura mínima	7°C
Precipitación media anual	980mm
Heliofanía promedio	900 /horas/luz/año
Velocidad de viento	6m/s
Tipo de suelo	Franco arcilloso

Fuente: Laguacoto- INAMHI. (2021)

- **Zona de vida (zonificación ecológica)**

De acuerdo a la clasificación ecológica de Holdrige la zona corresponde al bosque seco Montano Bajo (bs - MB) (Holdridge, 1979).

3.2. Metodología

3.2.1. Material en estudio

- Quinua INIAP - Pata de venado

- Lenteja INIAP – 406
- Fertilizante químico
- Fertilizante orgánico

3.2.2. Factores en estudio

Factor A: Tipo de sistema

- A1 Monocultivo (quinua)
- A2 Monocultivo (lenteja)
- A3 Asociado (quinua – lenteja)

Factor B: Tipo de fertilizante

- B1 Optimo químico (100 kg 10-30-10 + 50 kg Sulpomag/ha)
- B2 Optimo químico (100 kg 10-30-10 + 50 kg Sulpomag/ha) + materia orgánica (6 t/ha)

3.2.3. Tratamientos

Para la presente investigación se consideraron los tratamientos (AxB), según la siguiente descripción:

TRATAMIENTOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
T1	A1B1	Quinua + químico
T2	A1B2	Quinua + químico + MO
T3	A2B1	Lenteja + químico
T4	A2B2	Lenteja + químico + MO
T5	A3B1	Quinua + lenteja + químico
T6	A3B2	Quinua + lenteja + químico + MO

3.2.4. Tipo de diseño experimental o estadístico

Para evaluar agronómicamente el sistema de producción asociado en fajas de quinua y lenteja, se aplicó diseño de Bloques Completos al Azar 2x3x3

3.2.5. Manejo de la investigación

- **Preparación del suelo**

Se realizó con la ayuda de maquinaria agrícola la arada y rastra, con el objetivo de desmenuzar el terreno y dejarlo listo para la siembra.

- **Trazado de parcelas**

Se llevó a cabo de acuerdo con el croquis establecido en esta investigación, utilizando estacas, piolas y cal, las parcelas fueron delimitadas con dimensiones de 2.5m x 4m, incluyendo las áreas de camino correspondientes.

- **Realización de surcos**

Se realizó de forma manual al momento de la siembra, utilizando una azadilla y considerando la distancia entre surcos, que fue de 0,80 m para quinua y 0,40 m para lenteja.

- **Fertilización**

Se utilizó fertilizante de acuerdo con las dosis establecidas:

- Optimo químico (100 kg 10-30-10 + 50 kg Sulpomag/ha)
- Optimo químico (100 kg 10-30-10 + 50 kg Sulpomag/ha) + materia orgánica (6 t/ha)

- **Siembra**

La siembra se llevó a cabo manualmente a chorro continuo, sin superar los 2 a 4 cm de profundidad aproximadamente. Para el cultivo de quinua, se sembró a una densidad de 12 kg/ha y para lenteja, 60 kg/ha.

- **Raleo**

Se realizó el raleo cuando las plantas presentaron 4 hojas verdaderas y una altura promedio de 15 cm, con el objetivo de lograr homogeneidad en las plantas, lo que permitió un mayor desarrollo.

- **Control de malezas**

El deshierbe se efectuó cuando las plantas alcanzaron aproximadamente 6 hojas verdaderas, y se controlaron las malezas manualmente en cada parcela.

- **Control de enfermedades**

El control de enfermedades se realizó de acuerdo con los síntomas que se presentaron en el cultivo. Para el mildiu de la quinua, se empleó Metalaxyl en dosis de 0,3 kg/ha.

- **Control de plagas**

Se monitoreó constantemente para identificar patógenos y aplicar el control adecuado, especialmente para afidios, donde se aplicaron 0,3 kg/ha de Acephate.

- **Aporque**

Se realizó en la etapa de panojamiento y al momento de realizar el segundo control de malezas esto con la finalidad de reducir el acame.

- **Cosecha**

La cosecha se realizó de manera manual, utilizando una hoz cuando el cultivo alcanzó la madurez fisiológica. Se efectuó la prueba de dureza del grano y se observó la defoliación en las plantas.

Para la lenteja, las plantas se arrancaron en su madurez fisiológica.

- **Trilla**

Después del corte, se procedió a la trilla utilizando una gangocha y un palo para golpear las panojas y separar los granos.

- **Aventado**

Se eliminaron las impurezas después de la trilla, con la ayuda del viento.

- **Secado**

El grano se secó sobre una ganchocha hasta alcanzar el 13% de humedad, lo cual se comprobó con un determinador portátil de humedad.

- **Almacenado**

Las semillas fueron almacenadas en bolsas de tela en cuartos ventilados y frescos, protegidas de ratas e insectos.

3.2.6. Métodos de evaluación (variables respuesta)

Cultivo de quinua

- **Días a emergencia de plántula (DEP)**

Se llevó a cabo el registro de los días transcurridos desde la siembra hasta que aproximadamente más del 50% de las plántulas emergieron en cada una de las parcelas. Se definió como una planta emergida aquella cuyas hojas fueron visibles en la superficie del sustrato

- **Porcentaje de emergencia (PE)**

Se realizó mediante observación directa cuando el 50% o más de las plántulas habían emergido.

- **Severidad de mildiu (SM)**

Se evaluó con la ayuda de una escala que determinó el porcentaje de severidad, realizándose durante el desarrollo del cultivo: panojamiento, floración y madurez fisiológica (Inguilan, 2007)

GRADO	**PORCENTAJE**
Grado 0: Inmune	0%
Grado 1: Resistente	1-10%
Grado 2: Tolerante	11-25%
Grado 3: Moderadamente susceptible	26-50%
Grado 4: Susceptible	51-70%
Grado 5: Altamente susceptible	71-100%

- **Altura de planta (AP)**

Se realizó el registro en el momento de la madurez fisiológica, seleccionando aleatoriamente 10 plantas de cada parcela. Se utilizó un flexómetro para medir la distancia desde el cuello radicular hasta el ápice de la panoja central, y los datos se expresaron en centímetros.

- **Porcentaje de acame de raíz (AR)**

Se evaluó una semana antes de la cosecha, analizando el total de las plantas que expusieron una inclinación de 45° o más con respecto a la vertical, los datos fueron expresados en porcentaje.

- **Porcentaje de acame de tallo (AT)**

Se determinó el total de las plantas que presentaron el tallo quebrado bajo la inserción de la panoja, esta variable se evaluó una semana antes de la cosecha y sus datos fueron expresados en porcentaje.

- **Días a la cosecha (DC)**

Se contabilizó el número de días después de la siembra, hasta que por lo menos el 50% de las plantas presentaron madurez fisiológica.

- **Longitud de panoja (LP)**

Se evaluó en 10 plantas al azar dentro del área neta, midiendo desde la base de la panoja hasta el ápice de la misma, con la ayuda de un flexómetro, y los datos fueron expresados en centímetros.

- **Peso por parcela (PCP)**

Posterior a las labores de la trilla y limpieza de grano realizadas en cada uno de los tratamientos, se procedió a pesar en una balanza analítica en gramos.

- **Rendimiento de quinua (RQ)**

Se realizaron los respectivos cálculos con la ayuda de la ecuación correspondiente.

$$R(kg\ ha-1) = PCP\frac{10000\,m^2/ha}{Anc\,m^2/ha}x\frac{100-HC}{100-HE}$$

Donde:

R= Rendimiento (kg ha^{-1})

PCP=Peso de campo o peso de rendimiento fresco (Kg)

Anc= Área neta cosechada (m^2)

HC= Humedad de cosecha

HE= Humedad estándar (13%)

Cultivo de lenteja:

- **Peso por parcela en lenteja (PCPL)**

Posterior a las labores de la trilla y limpieza de grano realizadas en cada uno de los tratamientos, se procedió a pesar en una balanza analítica en gramos.

- **Rendimiento de lenteja (RL)**

Se realizó los respectivos cálculos con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$R(\text{kg ha} - 1) = PCP\frac{10000\,m^2/ha}{Anc\,m^2/ha}\,x\,\frac{100 - HC}{100 - HE}$$

Donde:

R= Rendimiento kg ha^{-1}

PCP=Peso de campo o peso de rendimiento fresco (Kg)

Anc= Área neta cosechada (m^2)

HC= Humedad de cosecha

HE= Humedad estándar (13%)

3.2.7. Tipo de análisis

En esta investigación, se aplicó análisis de varianza, prueba de Tukey al 5%, y análisis de correlación y regresión lineal.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Interpretación de resultados

4.1.1. Factor A

Tabla 1

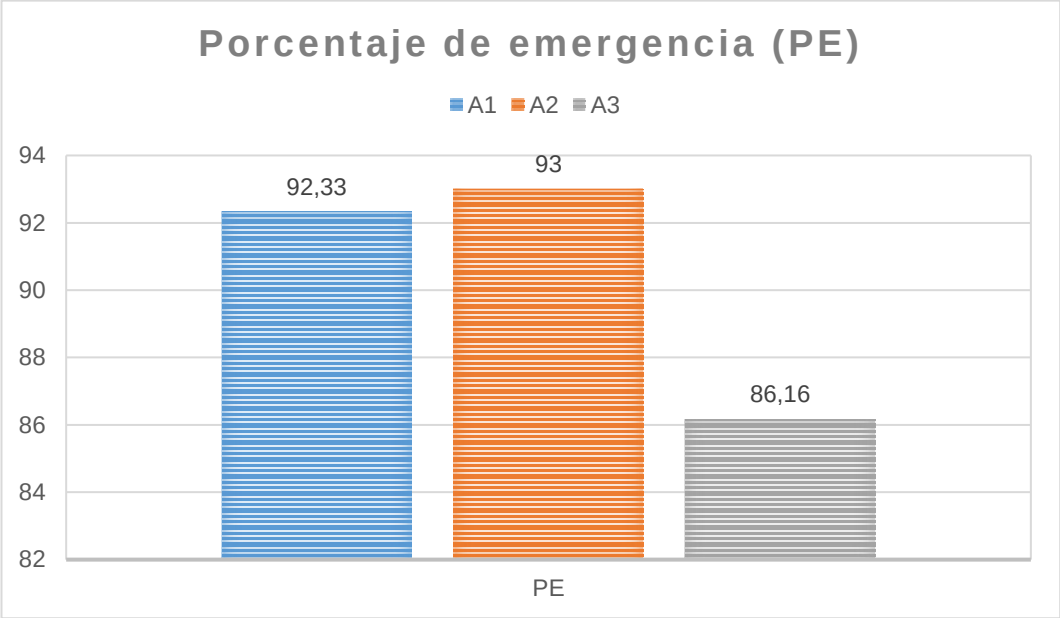
Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en el factor A (Tipo de sistema)

Variables	FA (Tipo de sistema)					
	A1	**R**	**A2**	**R**	**A3**	**R**
DEP (Ns)	12	A	11	A	11	A
PE (**)	92.33	A	93.00	A	86.16	B
SM (**)	11.00	A	0.00	B	10.16	A
AP (*)	92.16	A	00.00	B	92.00	A
AR (*)	5.33	B	00.00	B	8.00	A
AT (*)	8.00	A	00.00	B	10.00	A
LP (Ns)	45.78	A	00.00	B	45.94	A
PCP – Q (*)	2.7975	A	0.0000	B	1.4695	C
RQ (*)	2808.9	A	0.0000	C	1474.1	B
PCP – L (*)	0.0000	C	0.2718	A	0.1613	B
RL (*)	0.0000	C	271.24	A	162.27	C

Nota: Ns: no Significativo. * Significativo al 5%. ** Altamente significativo al 1%. R: rango. Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

Figura 1

Resultados promedios en el Factor A en el Porcentaje de emergencia (PE)



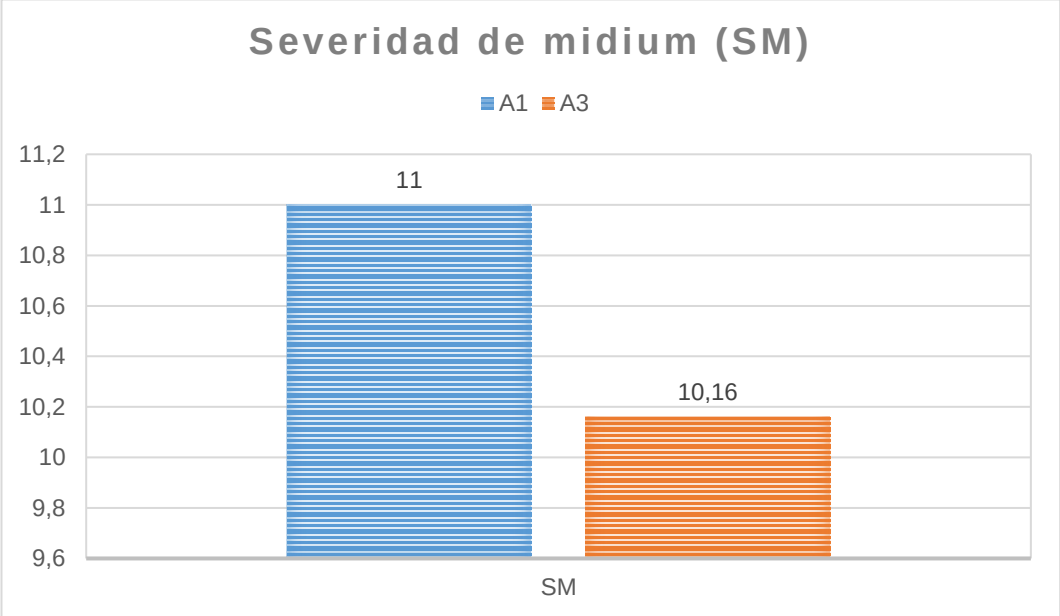
El porcentaje de emergencia (PE) es un indicador crucial para evaluar la eficiencia de las prácticas agrícolas y la calidad de las semillas. En este caso, el tratamiento A2 (Monocultivo de lenteja) mostró el valor más alto con un 93.00%, seguido por A1 (Monocultivo de quinua) con un 92.33%, mientras que A3 (Asociación quinua-lenteja) registró el menor porcentaje de emergencia con 86.16%. Estas diferencias son estadísticamente significativas (**), lo que indica que el sistema de cultivo influye directamente en la capacidad de las semillas para emerger exitosamente en el campo.

El alto (PE) en los monocultivos, especialmente en A2, podría explicarse por la menor competencia entre plantas, lo que favorece un entorno más óptimo para la germinación. En contraste, la asociación de cultivos en A3 puede haber generado una mayor competencia por recursos como luz, agua y nutrientes, afectando negativamente la emergencia de las plántulas, tal como lo señalan estudios del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) en sistemas de cultivos asociados.

Similarmente, investigaciones previas sugieren que en sistemas de asociación, la competencia entre especies puede disminuir la emergencia y el desarrollo temprano de algunas especies, como se observó en trabajos de campo con leguminosas y pseudocereales (Peralta, 2014)

Figura 2

Resultados promedios en el Factor A en la Severidad de mildiu (SM)



La variable severidad de mildiu (SM) muestra que el sistema A1 (monocultivo de quinua) y A3 (asociado quinua-lenteja) presentaron incidencias de 11.00% y 10.16%, respectivamente, lo que los clasifica dentro del grado "resistente" (1-10% de severidad). En contraste, el sistema A2 (monocultivo de lenteja) no presentó incidencia (0.00%), lo cual es coherente, ya que el mildiu no afecta a la lenteja.

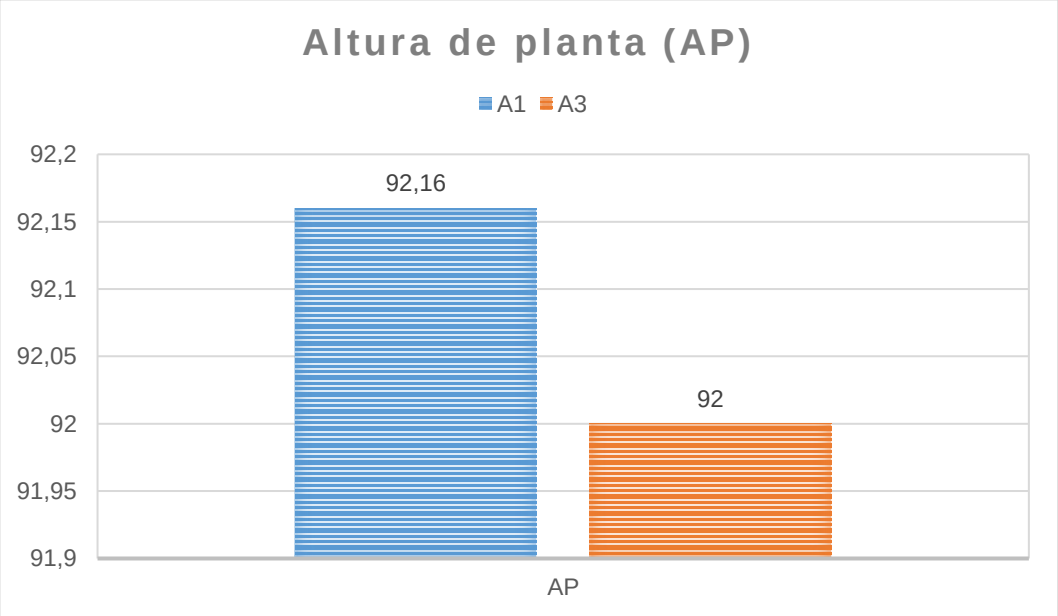
El hecho de que los sistemas A1 y A3 presentaran niveles similares de severidad indica que la quinua en ambos sistemas fue tolerante a la enfermedad, con niveles manejables cercanos al umbral de daño económico que es del 10%. La presencia del mildiu se relaciona con las condiciones ambientales favorables para su desarrollo, como la alta

humedad y las temperaturas moderadas de la región, condiciones determinantes para la propagación de esta enfermedad.

El uso de sistemas de cultivo asociados no parece haber tenido un impacto significativo en la reducción de la severidad de la enfermedad en el sistema A3, lo que coincide con trabajos anteriores que sugieren que la competencia entre cultivos en sistemas asociados no siempre mitiga la incidencia de enfermedades como el mildiu (Basantes *et al.,* 2022)

Figura 3

Resultados promedios en el Factor A en la Altura de planta (AP)



Teniendo en cuenta que la variable Altura de Planta (AP) fue evaluada únicamente en la quinua, tanto en monocultivo como en asociación. El A1 presentó una altura promedio de 92.16 cm, el sistema A3 tuvo un promedio similar de 92.00 cm. Estableciendo diferencias no significativas al tratarse de la misma variedad.

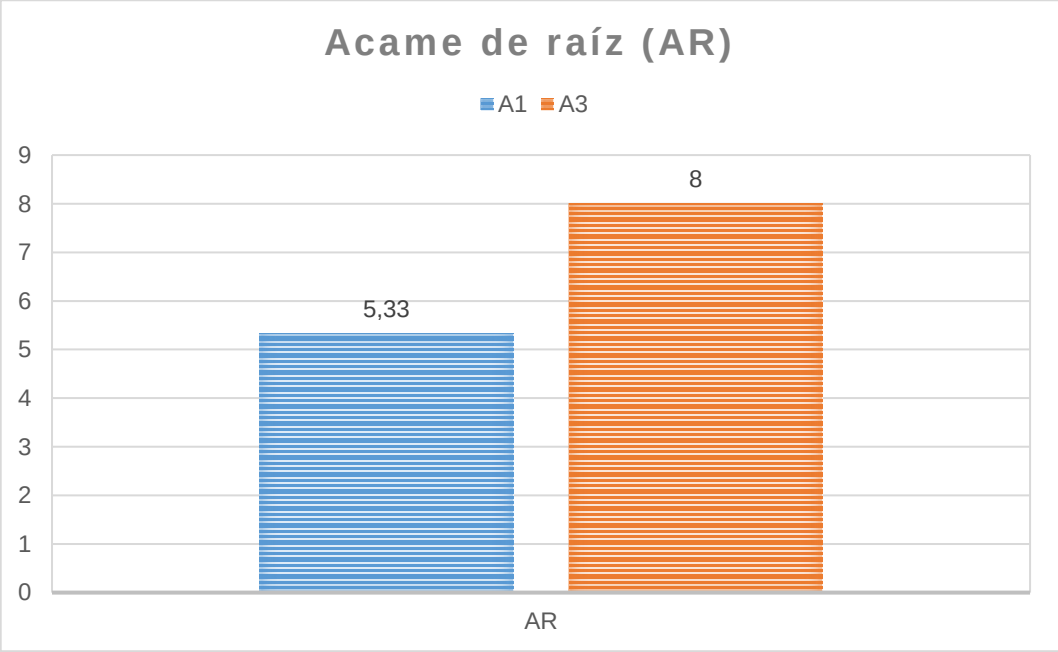
Estos resultados indican que la quinua en monocultivo y en asociación con lenteja alcanzó alturas prácticamente iguales, lo que sugiere que la asociación con lenteja no afectó negativamente el crecimiento vertical de la quinua. Este comportamiento puede explicarse por la correcta disposición

espacial en el sistema asociado, que permitió a la quinua desarrollarse sin interferencia significativa de la lenteja. La quinua puede mantener su altura y vigor en sistemas de asociación, siempre y cuando se respeten las distancias de siembra y se asegure una distribución equitativa de recursos como la luz y los nutrientes.

El crecimiento óptimo de la quinua en ambas condiciones sugiere que la variedad Pata de Venado es altamente adaptable a diferentes sistemas de cultivo, lo cual ha sido confirmado en investigaciones anteriores que señalan que esta variedad es resistente a condiciones adversas y puede prosperar en sistemas de monocultivo y asociación bajo manejo adecuado

Figura 4

Resultados promedios en el Factor A en el Acame de raíz (AR)



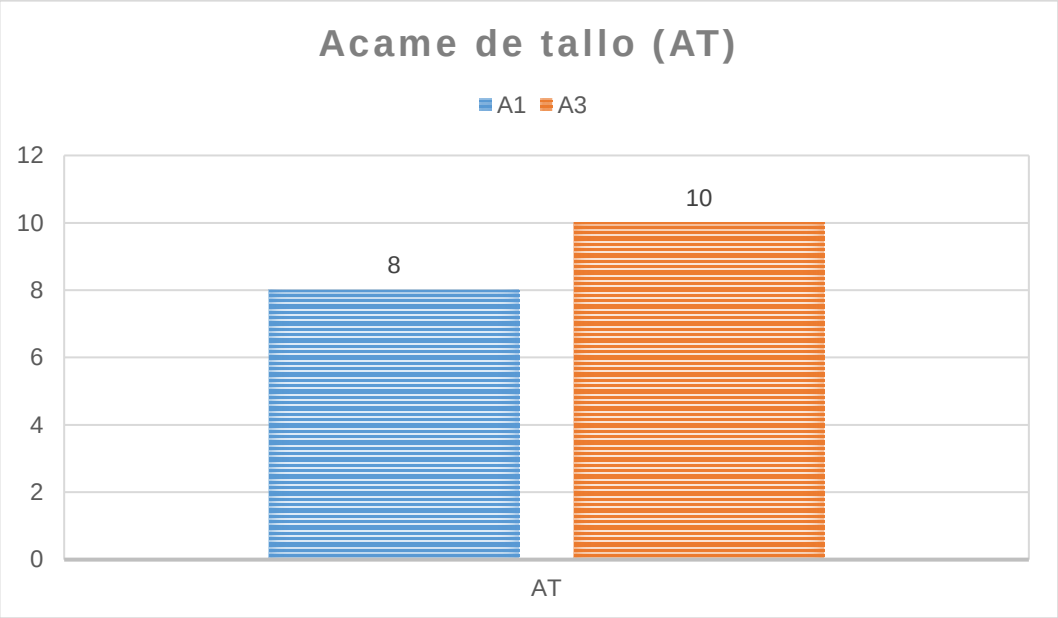
La variable Porcentaje de Acame de Raíz (AR) mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados (Tabla 1). El sistema A3 presentó el mayor porcentaje de acame, con un 8.00%, seguido por el sistema A1 con 5.33%.

El (AR) es un fenómeno que ocurre cuando las plantas pierden su capacidad para mantenerse erguidas debido a una inclinación de más de 45° respecto a la vertical, generalmente provocado por factores ambientales adversos como el viento, suelos mal estructurados o una deficiente anclación de la planta en el suelo. En este caso, el mayor porcentaje de acame observado en el sistema A3 (asociación quinua-lenteja) puede explicarse por una mayor competencia entre las plantas asociadas, lo que podría haber debilitado el sistema radicular de la quinua. Además, el hecho de que la quinua se vea acompañada por lenteja podría generar mayores espacios para que las corrientes de viento ingresen y afecten a la quinua.

Por otro lado, el monocultivo de quinua (A1) mostró un porcentaje de acame menor en comparación con el sistema asociado, lo que indica que las plantas en este sistema tuvieron una mejor anclación y menor competencia, permitiendo un desarrollo radicular más estable. El acame en quinua puede verse influenciado por el manejo agronómico y las condiciones ambientales de la zona, como la velocidad del viento y la estructura del suelo. Es posible que las condiciones climáticas y edáficas de la zona de estudio hayan contribuido al acame de las plantas, particularmente en el sistema asociado

Figura 5

Resultados promedios en el Factor A en el Acame de tallo (AT)



El Porcentaje de Acame de Tallo (AT) mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. El sistema A3 presentó el mayor porcentaje de acame de tallo con un 10.00%, seguido por A1 con 8.00%.

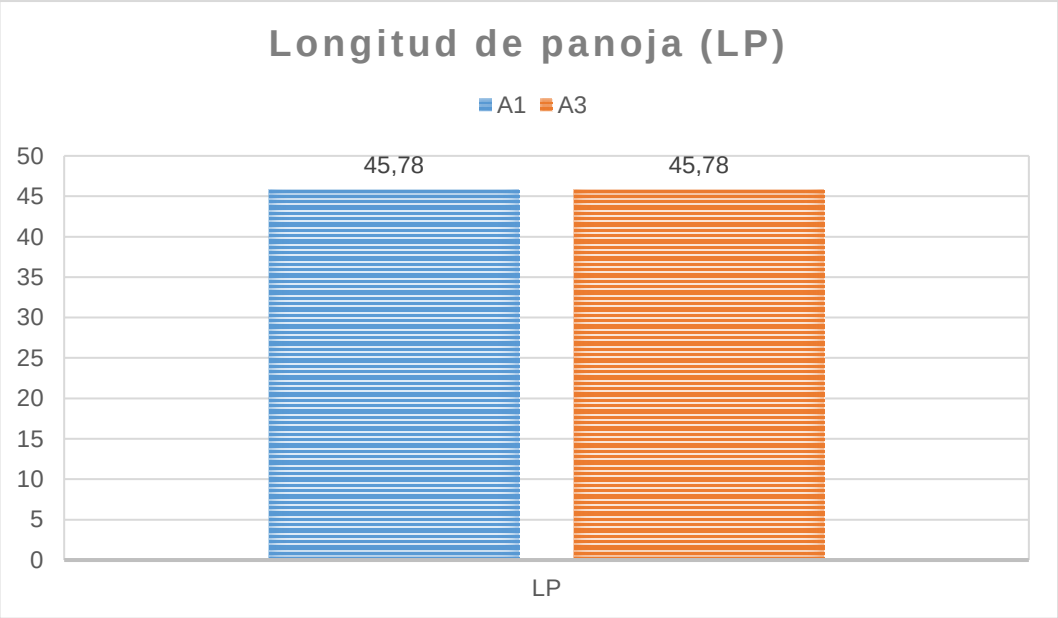
El acame de tallo ocurre cuando las plantas se doblan o quiebran bajo la inserción de la panoja, afectando su estructura y productividad. En el caso del sistema asociado (A3), el mayor porcentaje de acame podría estar relacionado con la estructura de hileras entre la quinua y la lenteja, lo que debilita el mantenimiento del tallo debido espacio que se genera entre los dos cultivos. Además, los factores ambientales, como el viento y la densidad de plantas, también podrían haber contribuido al debilitamiento del tallo, haciendo que estas sean más susceptibles al acame.

El A1 mostró un porcentaje de acame menor (8.00%) en comparación con el sistema asociado, lo que sugiere que la quinua en monocultivo tuvo un mejor desarrollo estructural y menos competencia por recursos. Sin embargo, el acame aún presente en A1 indica que las condiciones

ambientales, como los vientos en la región, pudieron haber afectado la estabilidad de las plantas.

Figura 6

Resultados promedios en el Factor A en la Longitud de panoja (LP)



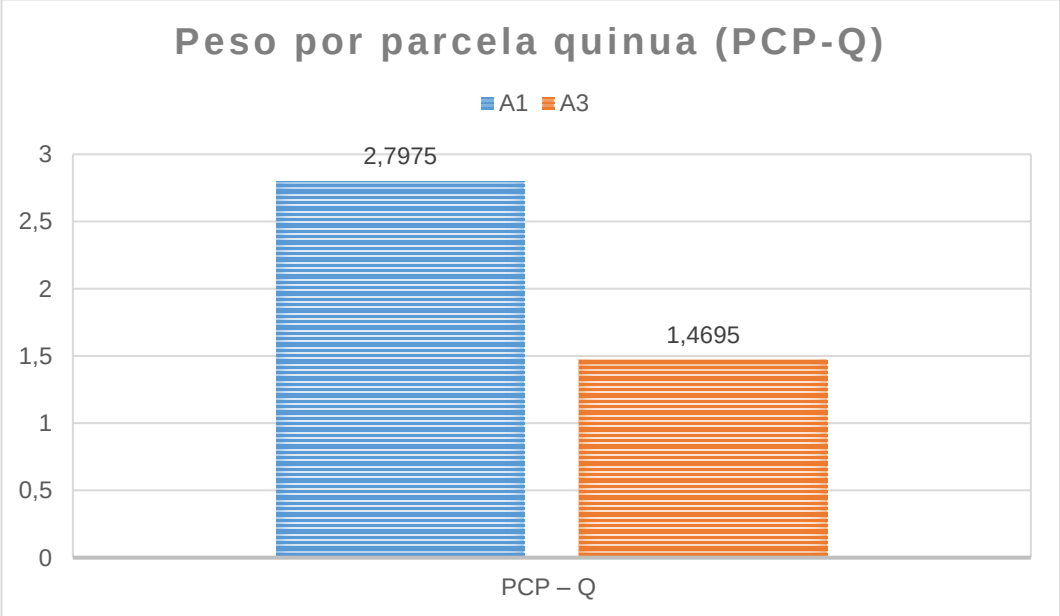
La Longitud de Panoja (LP) no mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. Los sistemas A1 y A3 presentaron una longitud promedio de panoja de 45.78 cm.

La longitud de la panoja es un factor clave como el componente del rendimiento de la quinua, ya que está directamente relacionada con el número de granos y la productividad final del cultivo. El hecho de que tanto el monocultivo de quinua como el sistema asociado hayan presentado la misma longitud de panoja sugiere que la competencia entre quinua y lenteja en el sistema asociado no afectó el desarrollo de la inflorescencia de la quinua y es una característica genética que no se modifican. Esto indica que la disposición en fajas y el manejo adecuado del cultivo permitieron que la quinua mantuviera un desarrollo adecuado en ambos sistemas.

Los resultados sugieren que la longitud de la panoja en quinua no se ve afectada negativamente por la asociación con lenteja, lo que refuerza la adaptabilidad del cultivo en sistemas asociados.

Figura 7

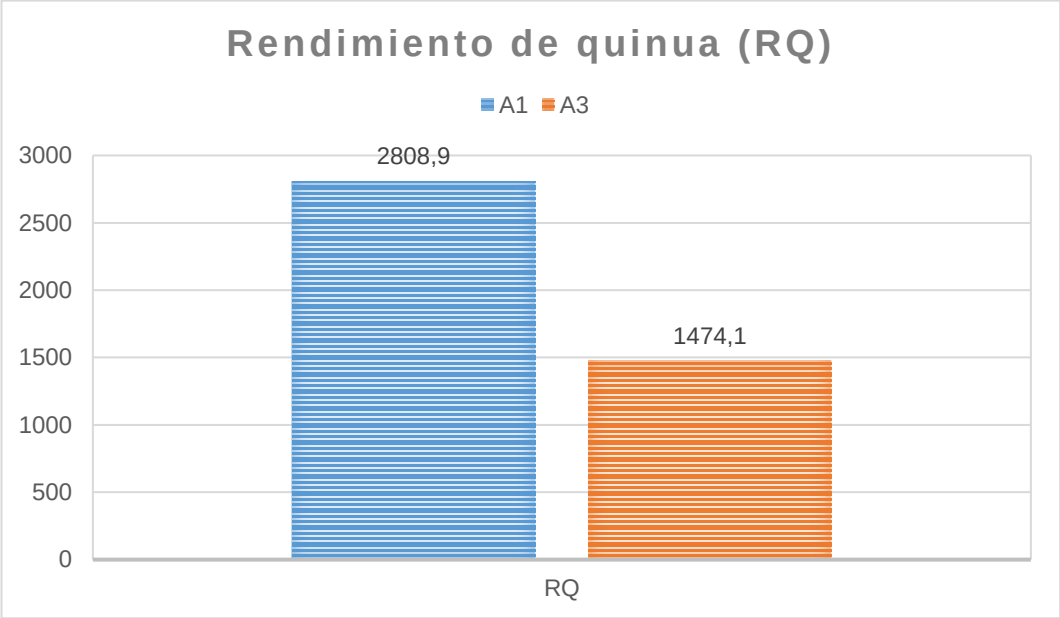
Resultados promedios en el Factor A en el Peso por parcela quinua (PCP-Q)



El Peso por Parcela de Quinua (PCP-Q) mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. El monocultivo de quinua (A1) presentó el valor más alto con 2.7975 kg por parcela, seguido por el sistema asociado (A3) con 1.4695 kg.

Figura 8

Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento de quinua (RQ)

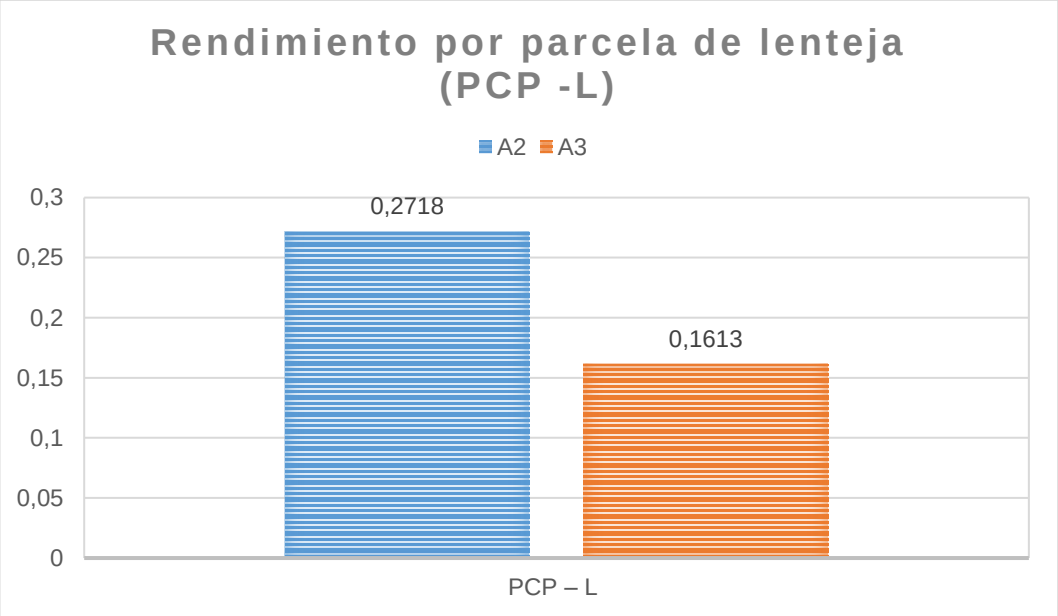


El Rendimiento de Quinua (RQ) mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. El monocultivo de quinua (A1) presentó el mayor rendimiento, con 2808.9 kg/ha, mientras que el sistema asociado (A3) alcanzó un rendimiento de 1474.1 kg/ha.

El mayor rendimiento en el monocultivo de quinua (A1) puede explicarse a que las plantas de quinua y lenteja en este sistema ocupan la totalidad de la superficie, en tanto que el sistema asociado se reduce la cantidad de plantas ya que el territorio esta ocupado en fajas de quinua y lenteja.

Figura 9

Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento por parcela de lenteja (PCP-L)



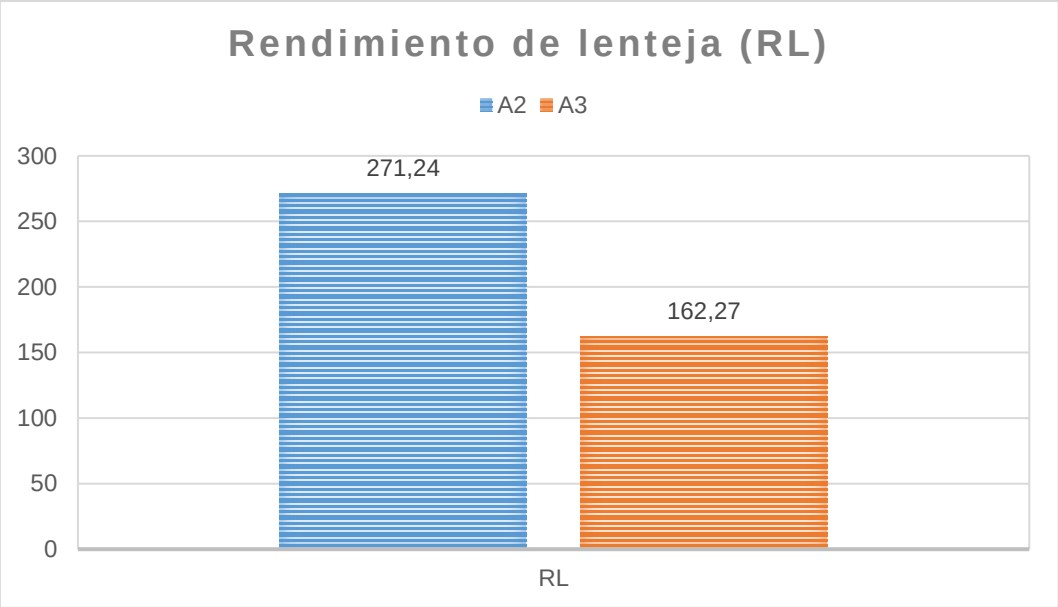
El Peso por Parcela de Lenteja (PCP-L) presentó diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. El monocultivo de lenteja (A2) obtuvo el mayor peso por parcela, con un valor de 0.2718 kg, seguido por el sistema asociado de quinua y lenteja (A3) con 0.1613 kg.

El mayor peso por parcela A2 puede atribuirse a la ausencia de competencia con las plantas de quinua, lo que permitió que la lenteja desarrollara todo su potencial productivo. En este sistema, las plantas de lenteja no tuvieron que competir por recursos como luz, agua y nutrientes, lo que se traduce en un mejor desarrollo y, por ende, mayor peso por parcela.

El A3 mostró un peso por parcela menor (0.1613 kg), lo que se explica por la competencia entre plantas de quinua y la lenteja. En los sistemas de cultivo asociado, los dos cultivos comparten los recursos del entorno, lo que puede afectar negativamente el rendimiento de cada uno de ellos.

Figura 10

Resultados promedios en el Factor A en el Rendimiento de lenteja (RL)



El Rendimiento de Lenteja (RL) mostró diferencias significativas (*) entre los sistemas de cultivo evaluados. El monocultivo de lenteja (A2) presentó el mayor rendimiento con 271.24 kg/ha, seguido por el sistema asociado quinua-lenteja (A3), con un rendimiento de 162.27 kg/ha.

El mayor rendimiento en el monocultivo de lenteja (A2) puede explicarse a que las plantas de lenteja ocupo el total del terreno, mientras que el asociado se redujo debido a que el territorio está asociado lenteja y quinua. Lo que refleja la competencia entre la lenteja y la quinua por los recursos del entorno.

Esta competencia afecto el crecimiento y el rendimiento de ambos cultivos, particularmente de la lenteja, que tiene menor altura y podría verse más afectada por la sombra de la quinua en sistemas mixtos. Sin embargo, a pesar de la reducción en el rendimiento, este valor sigue siendo relevante, ya que sugiere que los sistemas de cultivo asociados pueden ser viables para la producción diversificada, siempre y cuando se manejen adecuadamente los recursos y se controle la competencia entre las especies.

4.1.2. Factor B

Tabla 2

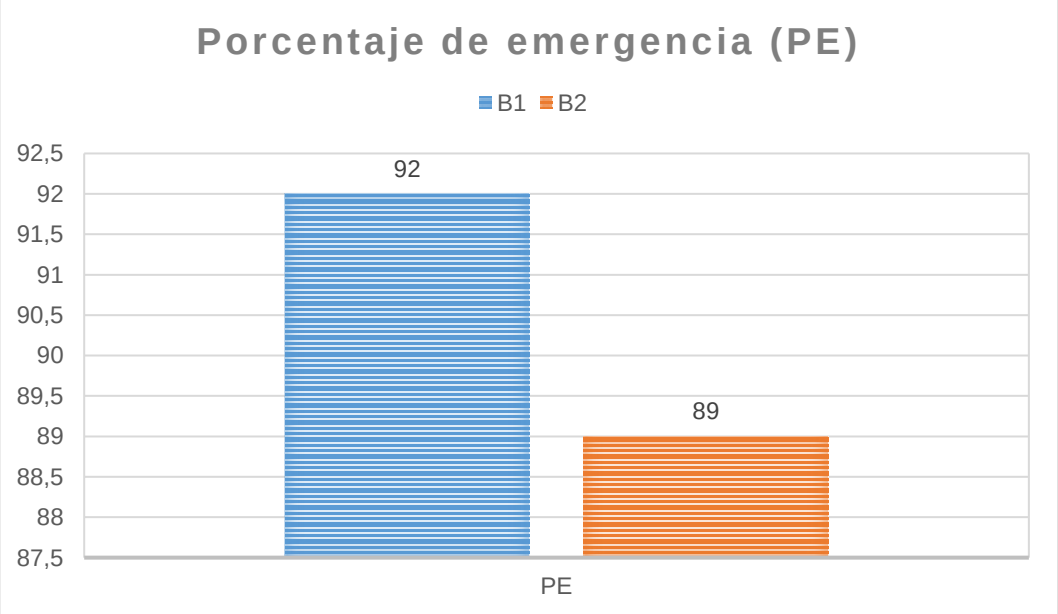
Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en el factor B (Tipo de fertilizante)

Variables	FB (Tipo de fertilizante)			
	B1	**R**	**B2**	**R**
PE (*)	92.00	A	89.00	B
PCP – Q (Ns)	1.3401	A	1.5046	A
RQ (Ns)	1345.1	A	1510.2	A
PCP – L (Ns)	0.1503	A	0.1384	A
RL (Ns)	149.88	A	139.12	A

Nota: Ns: no Significativo. * Significativo al 5%. ** Altamente significativo al 1%. R: rango. Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

Figura 11

Resultados promedios en el Factor B en el Porcentaje de emergencia (PE)



El Porcentaje de Emergencia (PE) mostró diferencias significativas (*) entre los tipos de fertilización evaluados. El B1 (fertilizante químico óptimo) presentó el mayor porcentaje de emergencia, con un 92.00%, mientras que

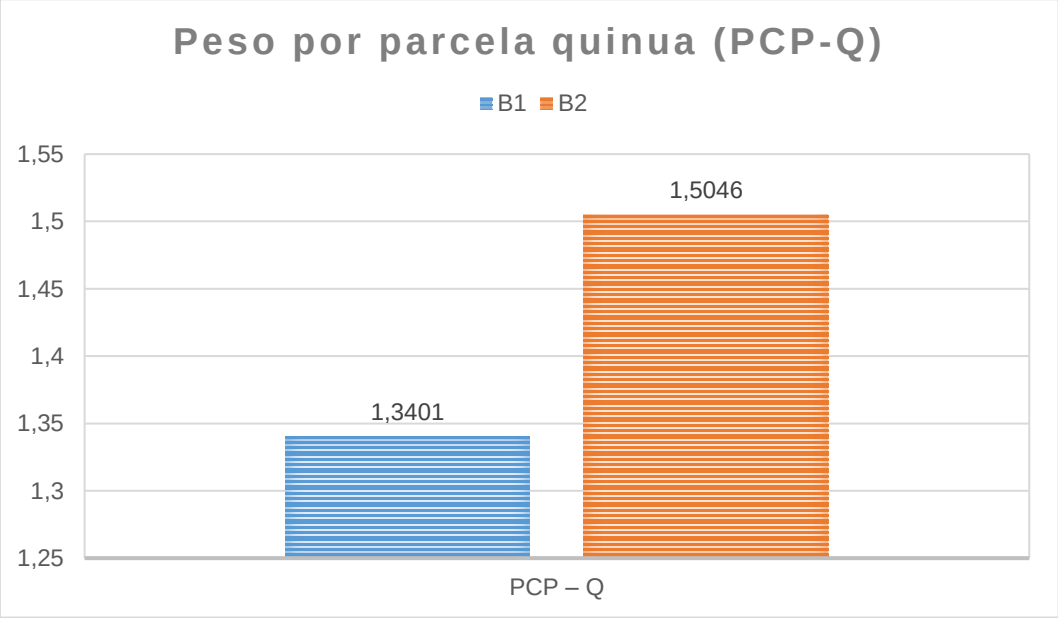
el tratamiento B2 (fertilizante químico más materia orgánica) registró un porcentaje inferior, con 89.00%. Estas diferencias en el porcentaje de emergencia indican que el tipo de fertilizante utilizado influyó en el proceso de establecimiento inicial de las plántulas.

El mayor porcentaje de emergencia en el B1 podría explicarse por la rápida disponibilidad de los nutrientes que ofrece el fertilizante químico, lo que facilita el entorno para la germinación y crecimiento inicial de las plántulas. Los fertilizantes químicos de alta solubilidad proporcionan nutrientes de manera inmediata, lo que permite que las plantas accedan rápidamente a elementos esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, promoviendo un desarrollo uniforme en las primeras etapas del ciclo del cultivo.

El B2, que incluyó materia orgánica además del fertilizante química, lo cual mostró un porcentaje ligeramente menor. Esto podría deberse a que la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes en este tratamiento no ocurre tan rápida como en el fertilizante químico puro.

Figura 12

Resultados promedios en el Factor B en el Peso por parcela quinua (PCP-Q)



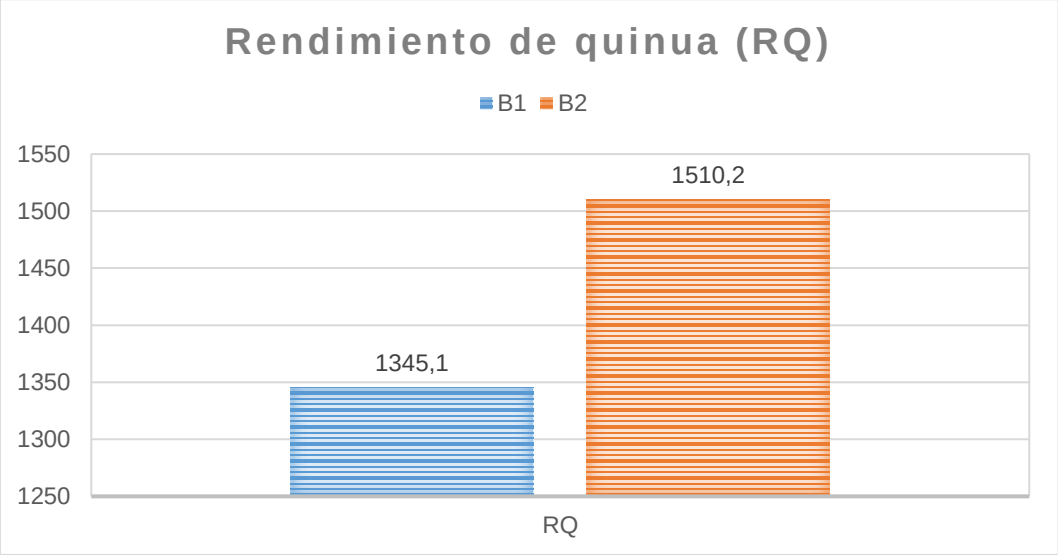
El Peso por Parcela de Quinua (PCP-Q) al ser evaluado entre los tipos de fertilizante evaluados (B1: fertilizante químico óptimo y B2: fertilizante químico más materia orgánica), con valores promedio de 1.3401 kg para B1 y 1.5046 kg para B2. Esto indica que, aunque hubo una leve variación en el peso por parcela, el tipo de fertilizante no tuvo un impacto significativo en la producción de grano por unidad de superficie.

El hecho de que no se observaran diferencias significativas entre los tratamientos sugiere que ambos tipos de fertilización proporcionaron nutrientes suficientes para el desarrollo del cultivo y la producción de quinua. El fertilizante químico, por su rápida disponibilidad de nutrientes, favorece un crecimiento inicial vigoroso, mientras que la combinación de químico con materia orgánica aporta beneficios a largo plazo al mejorar la estructura del suelo, incrementar la retención de humedad y liberar nutrientes de manera gradual.

La ligera superioridad del B2 en cuanto al peso por parcela podría atribuirse a los beneficios de la materia orgánica en la mejora de la actividad biológica del suelo y la capacidad de retención de agua, factores que influyen en el desarrollo radicular de las plantas y en la estabilidad del rendimiento.

Figura 13

Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento de quinua (RQ)

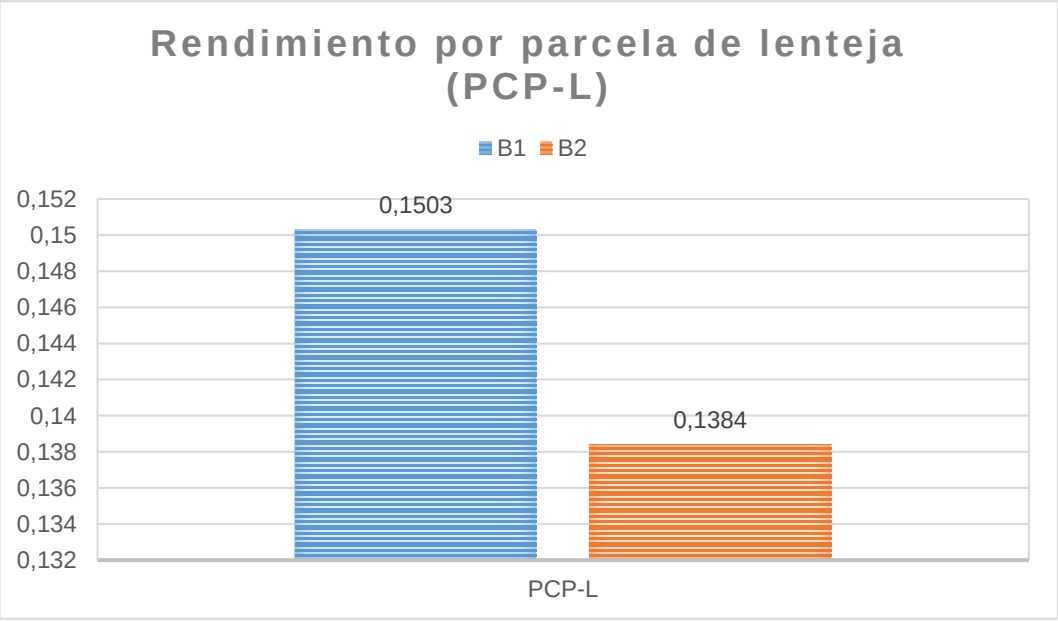


La variable Rendimiento de Quinua (RQ) no mostró diferencias significativas (ns) entre los tipos de fertilizante evaluados (B1: fertilizante químico óptimo y B2: fertilizante químico más materia orgánica), con valores de 1345.1 kg/ha para B1 y 1510.2 kg/ha para B2. A pesar de la ligera diferencia observada, los resultados indican que ambos tipos de fertilización fueron igualmente efectivos en términos de rendimiento de quinua, sin que uno de ellos superara de manera significativa al otro.

El rendimiento ligeramente superior en el factor B2 podría estar relacionado con los beneficios adicionales que proporciona la materia orgánica. La combinación de fertilizante químico con materia orgánica no solo aporta nutrientes de forma inmediata, sino que también mejora las propiedades físicas y biológicas del suelo, como su capacidad para retener agua y su estructura. Esto crea un ambiente más favorable para el desarrollo radicular de las plantas, lo que, a largo plazo, puede influir positivamente en el rendimiento del cultivo.

Figura 14

Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento por parcela de lenteja (PCP-L)



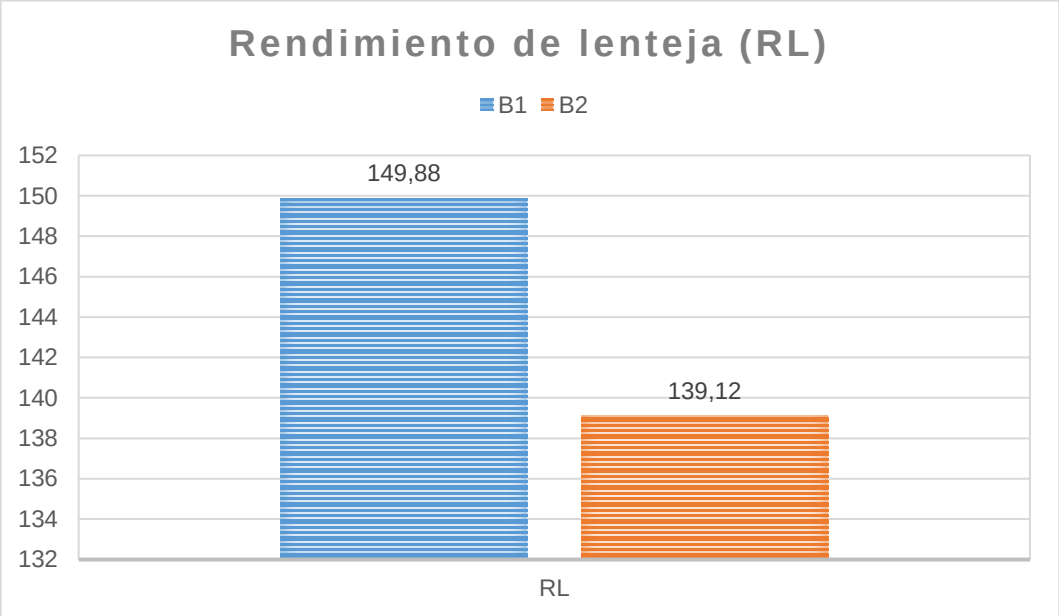
El Peso por Parcela de Lenteja (PCP-L) no mostró diferencias significativas (ns) entre los tipos de fertilización evaluados, con un promedio de 0.1503 kg para el B1 (fertilizante químico óptimo) y 0.1384 kg para el tratamiento B2 (fertilizante químico más materia orgánica). Esto se debe a que el tipo de fertilizante no tuvo un impacto significativo en el peso del grano de lenteja cosechado por parcela, lo que indica una respuesta similar del cultivo a ambos tratamientos.

El hecho de que no se observaran diferencias significativas entre B1 y B2 podría estar relacionado con la fase de crecimiento del cultivo de lenteja y su capacidad para absorber nutrientes del suelo en las primeras etapas del ciclo. El fertilizante químico proporcionó una rápida disponibilidad de nutrientes, mientras que la materia orgánica, aunque mejora la estructura del suelo y contribuye a largo plazo, tiene un efecto más gradual en la liberación de nutrientes. Sin embargo, para el peso por parcela de lenteja, parece que ambos tratamientos proporcionaron niveles adecuados de nutrientes sin que uno superara significativamente al otro en términos de rendimiento

Además, las características del suelo y las condiciones climáticas podrían haber influido en la falta de diferencias significativas entre los factores. La materia orgánica generalmente mejora la retención de agua y la capacidad del suelo para soportar la actividad biológica, pero su impacto a corto plazo en el rendimiento del cultivo puede no ser tan visible como el del fertilizante químico. En sistemas con condiciones óptimas de manejo, ambos tipos de fertilización pueden ser igualmente efectivos, lo que explicaría la similitud en los resultados de peso por parcela

Figura 15

Resultados promedios en el Factor B en el Rendimiento de lenteja (RL)



El Rendimiento de Lenteja (RL) muestra un rendimiento promedio de 149.88 kg/ha para el B1 (fertilizante químico óptimo) y 139.12 kg/ha para el B2 (fertilizante químico más materia orgánica). Estos resultados indican que ambos tratamientos de fertilización proporcionaron un nivel de nutrientes adecuado para el desarrollo de la lenteja, sin que uno de ellos lograra un rendimiento superior de manera significativa.

El rendimiento ligeramente superior del tratamiento B1 está relacionado con la rápida disponibilidad de nutrientes que ofrece el fertilizante químico, lo que favorece un crecimiento más uniforme en las etapas iniciales y medias del ciclo del cultivo. Sin embargo, la diferencia en el rendimiento entre B1 y B2 es pequeña, lo que sugiere que la materia orgánica en el tratamiento B2 también proporcionó un entorno nutritivo adecuado para la lenteja, aunque con una liberación de nutrientes más gradual. La materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a largo plazo al suministro de nutrientes, aunque su efecto inmediato en el rendimiento puede no ser tan marcado como el del fertilizante químico

4.1.3. Interacción AxB

Tabla 3

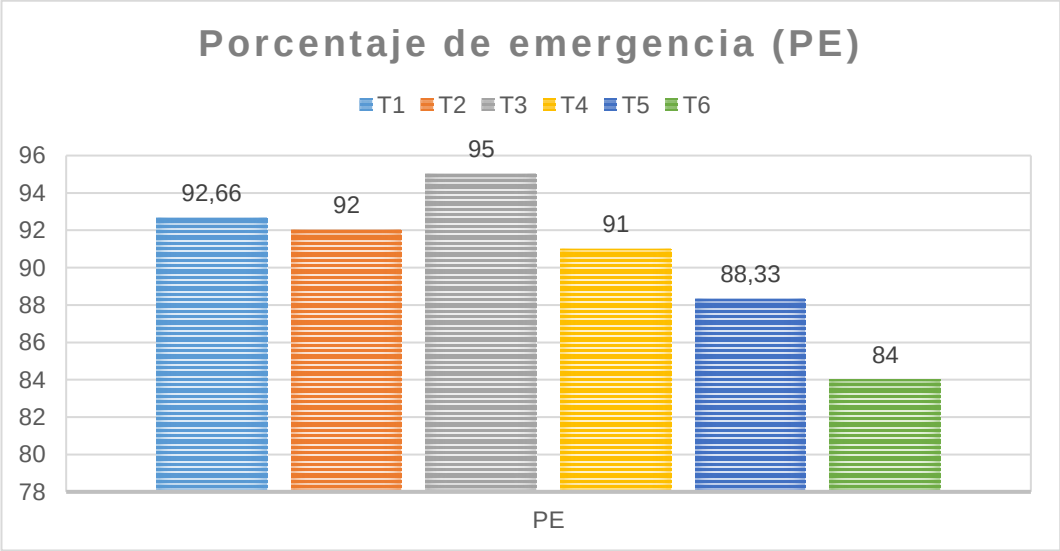
Resultados de la prueba de Tukey al 5% para comparar los promedios en la interacción factor A (Tipo de sistema) x factor B (Tipo de fertilizante)

Variables	FAxFB (Tipo de sistema x Tipo de fertilizante)												
	T1	R	T2	R	T3	R	T4	R	T5	R	T6	R	CV (%)
PE (**)	92.66	A	92.00	A	95.00	A	91.00	A	88.33	AB	84.00	B	2.68
SM (*)	12.33	A	9.66	A	0.00	B	0.00	B	9.33	A	11.00	A	20.32
AP (*)	92.33	A	92.00	A	0.00	B	0.00	B	92.33	A	91.66	A	1.83
AR (*)	5.66	A	5.00	A	0.00	B	0.00	B	8.33	A	7.66	A	38.02
LP (*)	45.66	A	45.91	A	0.00	B	0.00	B	45.88	A	46.01	A	1.07
PCP–Q (*)	2.7627	A	2.8323	A	0.0000	C	0.0000	C	1.2577	B	1.6813	B	11.88
RQ (**)	2773.2	A	2844.5	A	0.0000	C	0.0000	C	1262.0	B	1686.2	B	11.89
PCP – L (*)	0.0000	B	0.0000	B	0.2750	A	0.2687	A	0.2687	A	0.1467	AB	37.91
RL (**)	0.0000	B	0.0000	B	272.46	A	270.02	A	177.19	A	147.34	AB	37.92

Nota: Ns: no Significativo. * Significativo al 5%. ** Altamente significativo al 1%. R: rango. Promedios con distinta letra, son estadísticamente diferentes al 5%.

Figura 16

Resultados promedios de la interacción AxB en el Porcentaje de emergencia (PE)



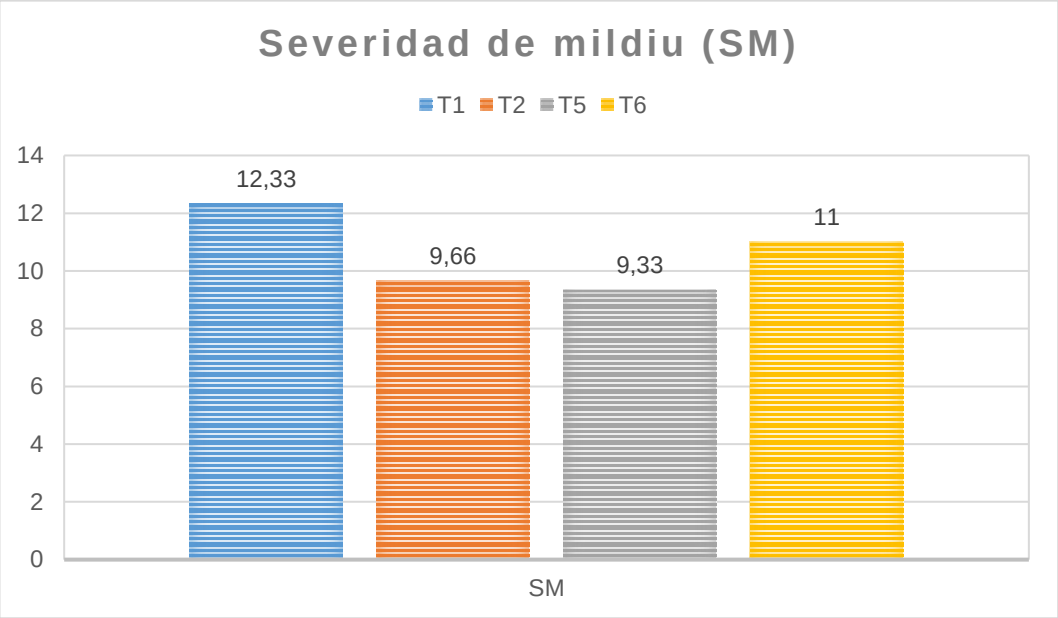
Para la interacción de los factores A y B en la variable porcentaje de emergencia (PE), se evaluaron las plántulas de quinua y lenteja en sistemas de monocultivo y asociado bajo distintos tipos de fertilización. Los resultados indican que los tratamientos T1 (monocultivo de quinua con fertilización química) y T2 (monocultivo de quinua con fertilización química + materia orgánica) obtuvieron valores similares, con un 92.66% y 92.00% de emergencia respectivamente. Por otro lado, en el sistema asociado (T5 y T6), se observó una ligera disminución en el porcentaje de emergencia, especialmente en el tratamiento T6 (quinua + lenteja con fertilización química + orgánica), donde se registró el valor más bajo con un 84.00%.

Estos resultados pueden explicarse por la competencia entre los cultivos en el sistema asociado, lo que afectó la emergencia de las plántulas, en comparación con el monocultivo, donde las plantas tuvieron más espacio y menos competencia por recursos como agua y nutrientes. Además, el tratamiento con fertilización combinada (T2 y T6) no mostró una ventaja significativa sobre el uso exclusivo de fertilización química (T1 y T5), lo que sugiere que la materia orgánica podría no haber tenido un impacto inmediato en la emergencia de las plántulas, como sí lo hace en etapas más avanzadas del cultivo.

En comparación con otros estudios, como los realizados por el INIAP, donde se ha evaluado la emergencia en quinua bajo distintos manejos agronómicos, se observa una tendencia similar en cuanto a la importancia del manejo adecuado del espacio y fertilización. En investigaciones sobre quinua en zonas de la sierra ecuatoriana, se han registrado porcentajes de emergencia que varían según la calidad de la semilla y las condiciones edafoclimáticas, lo que confirma que la interacción entre el tipo de sistema de cultivo y el fertilizante es determinante para la emergencia inicial (Murillo *et al.,* 2023).

Figura 17

Resultados promedios de la interacción AxB en la Severidad de mildiu (SM)



La Severidad de mildiu (SM) mostró diferencias significativas (*) en la interacción entre los factores Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). Los tratamientos T1 (quinua + fertilización química) y T2 (quinua + fertilización química + materia orgánica) presentaron los valores más altos de severidad de mildiu, con 12.33% y 9.66%, respectivamente. Los tratamientos asociados (T5 y T6) mostraron valores intermedios, con una severidad de 9.33% y 11.00%, respectivamente.

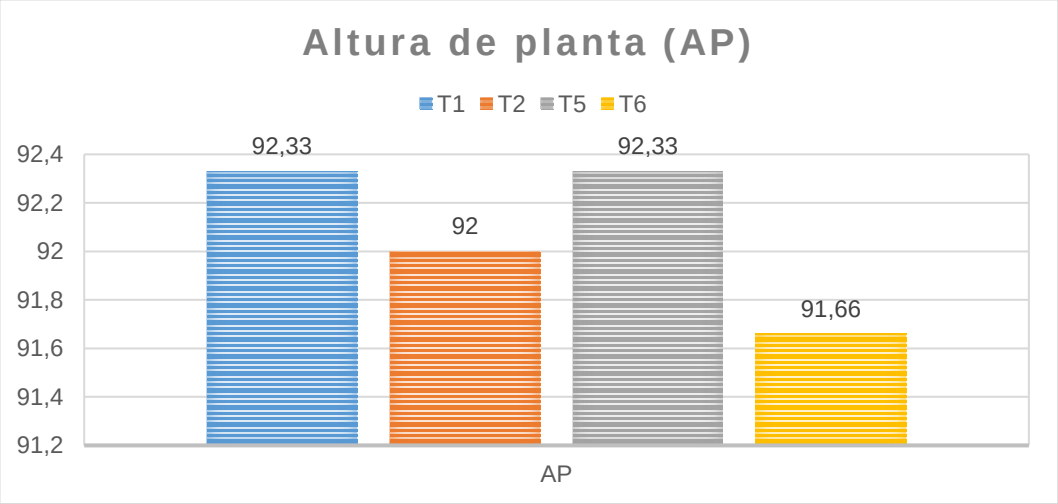
La mayor severidad observada en los monocultivos de quinua (T1 y T2) puede deberse a la densidad de las plantas y la mayor susceptibilidad a patógenos cuando las condiciones del monocultivo favorecen la propagación de enfermedades, como es el caso del mildiu.

El mildiu, un patógeno que se propaga rápidamente en condiciones de humedad y temperaturas moderadas, se ve exacerbado en ambientes donde las plantas están más densamente agrupadas.

Por otro lado, los tratamientos asociados T5 y T6, aunque también presentaron incidencia de mildiu, mostraron valores ligeramente menores que los monocultivos. Esto sugiere que la asociación de quinua con lenteja puede haber reducido en cierta medida la severidad de la enfermedad, posiblemente debido a una mayor diversificación del ecosistema del cultivo, lo que dificulta la propagación del patógeno. En estudios previos sobre sistemas de cultivo asociados, se ha demostrado que la diversificación reduce la incidencia de plagas y enfermedades al romper el ciclo de vida de los patógenos (Tapia *et al.,* 2015).

Figura 18

Resultados promedios de la interacción AxB en la Altura de planta (AP)



La Altura de planta (AP) mostró diferencias significativas (*) entre los tratamientos de la interacción Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). En los tratamientos que incluyeron quinua (T1, T2, T5, y T6), se registraron valores similares, todos por encima de los 91 cm, con ligeras variaciones. Los tratamientos T1 (quinua monocultivo con fertilización química) y T5 (asociación de quinua-lenteja con fertilización química) obtuvieron los valores más altos, con 92.33 cm.

Estos resultados indican que la fertilización química, tanto sola como combinada con materia orgánica, proporciona un entorno adecuado para el

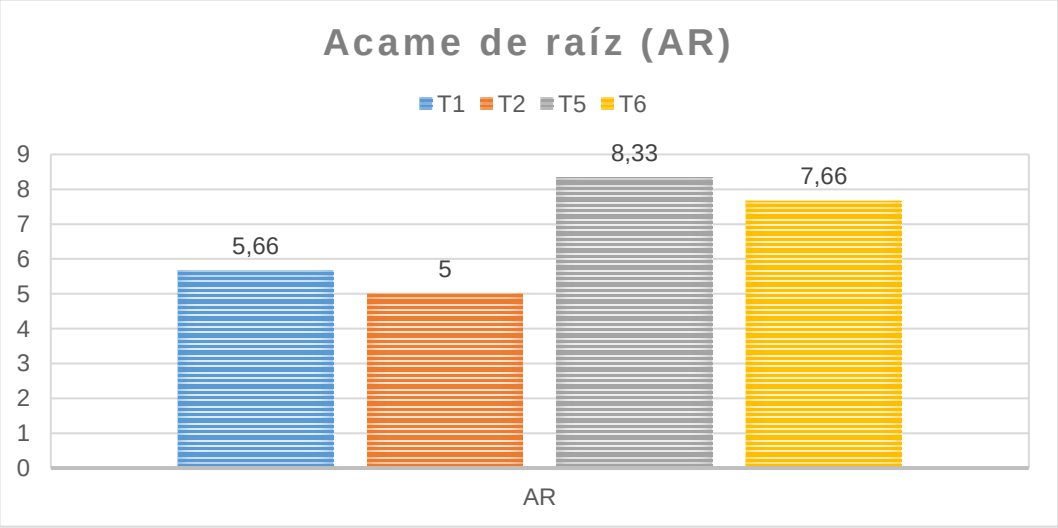
crecimiento de la quinua en términos de altura de planta. La similitud entre los valores de altura en los diferentes tratamientos que incluyen quinua sugiere que la altura de la planta no se ve significativamente afectada por el tipo de sistema (monocultivo o asociado) ni por la inclusión de materia orgánica. En la variedad de quinua INIAP Pata de Venado, se ha observado que las condiciones ambientales y la disponibilidad de nutrientes son factores determinantes para la altura de la planta, aunque la fertilización química garantiza un crecimiento uniforme (Moreno, 2022).

Además, la altura observada en los tratamientos T1 y T5 es ligeramente superior a lo reportado en otros estudios, como los realizados por Mazón (2008), donde la variedad INIAP Pata de Venado mostró una altura promedio de 68.6 cm bajo condiciones distintas. La diferencia podría explicarse por la variabilidad genética y las condiciones agroclimáticas en Laguacoto, que favorecieron un crecimiento mayor en este caso

Asimismo, en otros estudios del INIAP a través de instituciones educativas, la altura de la planta ha mostrado una correlación directa con la disponibilidad de nutrientes, especialmente el nitrógeno, lo que coincide con los resultados observados aquí.

Figura 19

Resultados promedios de la interacción AxB en el Acame de raíz (AR)



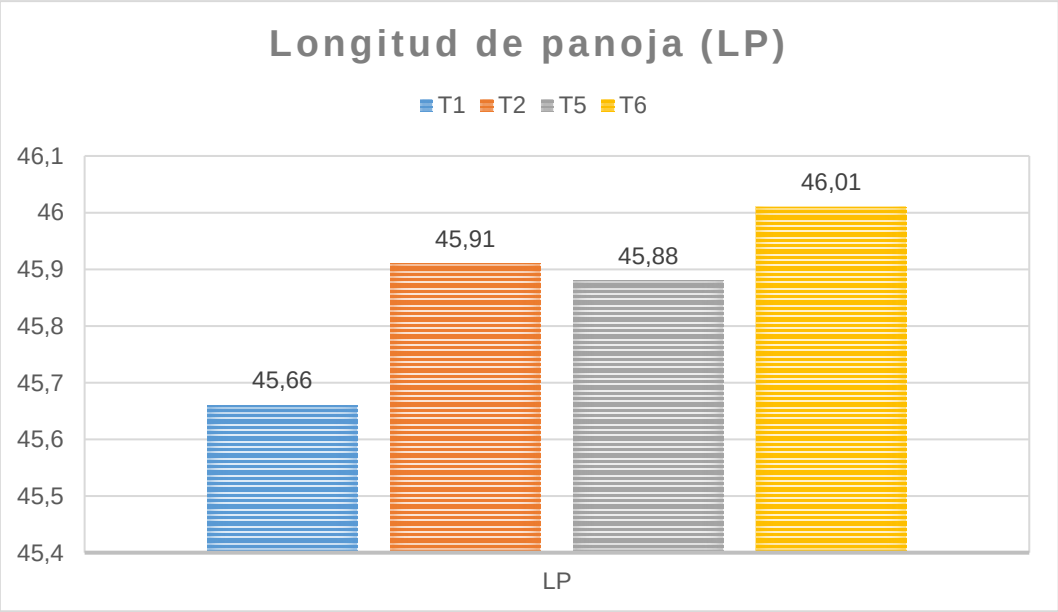
El Porcentaje de Acame de Raíz (AR) mostró diferencias significativas (*) en la interacción de los factores. El T1 (quinua + fertilizante químico) y T2 (quinua + fertilizante químico más materia orgánica) presentaron valores similares de acame de raíz, con 5.66% y 5.00%, respectivamente. Por otro lado, los sistemas asociados (T5 y T6) mostraron un mayor porcentaje de acame, con 8.33% y 7.66%, lo que indica que la asociación con lenteja afectó el acame en la quinua.

El AR está relacionado con factores estructurales de la planta, como la altura y el peso, así como con condiciones ambientales como la velocidad del viento y el manejo del cultivo. El T5 y T6, el aumento del acame podría atribuirse a la competencia entre quinua y lenteja, que afecta la estabilidad de la planta al competir por recursos en el sistema de asociación.

En investigaciones realizadas en la variedad de quinua INIAP Pata de Venado, se ha observado que esta variedad presenta una mayor resistencia al acame gracias a su estructura de tallo más fuerte, lo que coincide con los valores relativamente bajos observados en estos tratamientos (Morales, 2024).

Figura 20

Resultados promedios de la interacción AxB en la Longitud de panoja (LP)



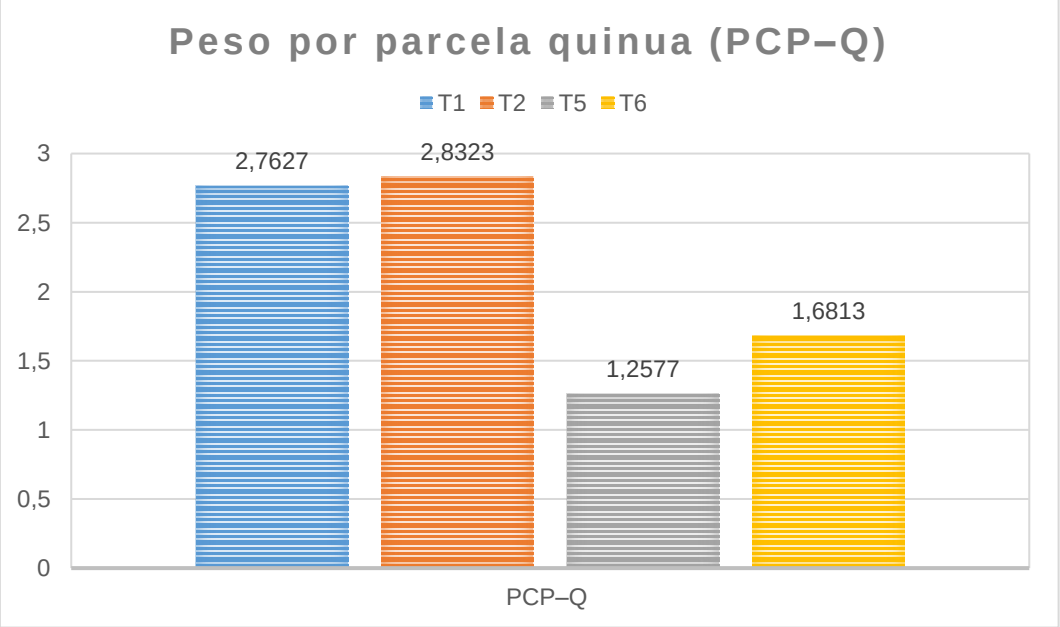
La Longitud de Panoja (LP) presentó diferencias significativas (*) en la interacción de los factores Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). Los tratamientos que incluyeron quinua (T1, T2, T5, y T6) registraron valores similares en la longitud de la panoja, con ligeras variaciones, situándose entre 45.66 cm y 46.01 cm.

El hecho de que no haya diferencias marcadas entre los tratamientos con quinua, independientemente del tipo de fertilización utilizada, sugiere que la longitud de la panoja no se ve significativamente afectada por la incorporación de materia orgánica al sistema.

La longitud de la panoja observada en este estudio es consistente con lo reportado en variedades como INIAP Pata de Venado, donde la longitud promedio de la panoja se situó en torno a los 46 cm bajo condiciones de fertilización química. Esto confirma que, la fertilización puede influir en otros parámetros agronómicos, la longitud de la panoja parece ser menos sensible a estos cambios (Zambrano, 2022).

Figura 21

Resultados promedios de la interacción AxB en el Peso por parcela quinua (PCP–Q)



El Peso por parcela de quinua (PCP-Q) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos en la interacción Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). Los tratamientos T1 y T2, correspondientes al monocultivo de quinua con fertilización química y con fertilización química más materia orgánica, obtuvieron los valores más altos de PCP, con 2.7627 g y 2.8323 g, respectivamente. Los tratamientos T5 y T6, que incluyeron la asociación de quinua-lenteja, registraron valores menores en PCP, con 1.2577 g y 1.6813 g, lo que indica una reducción en el rendimiento cuando ambos cultivos se sembraron en asociación.

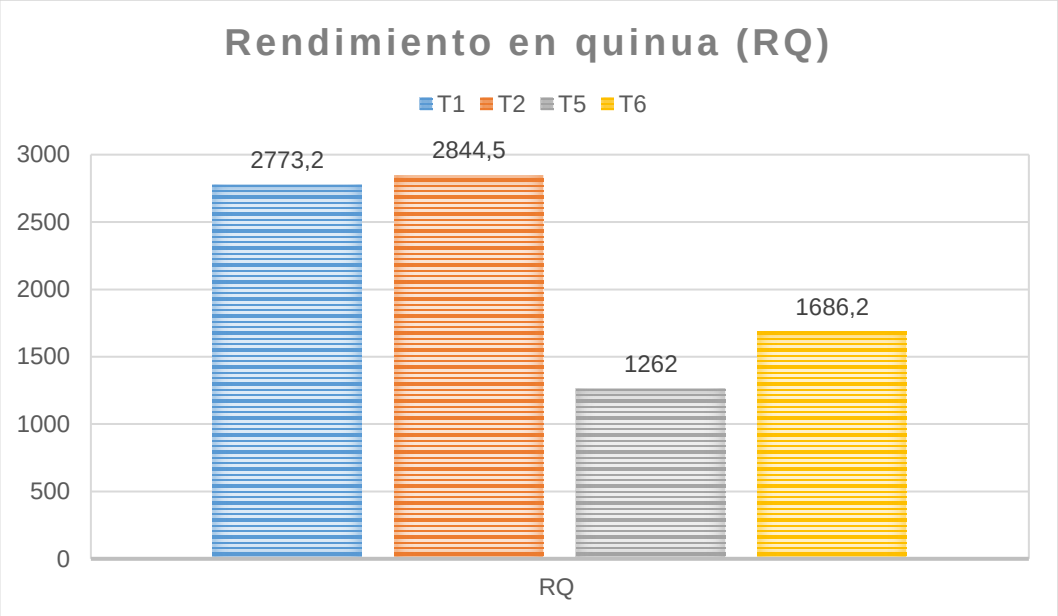
El mayor peso por parcela en los tratamientos con monocultivo de quinua podría explicarse por la falta de competencia entre especies, lo que permitió un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles, como agua y nutrientes. Además, la incorporación de materia orgánica en T2 no genero un impacto significativo en el peso por parcela en comparación con T1, lo que sugiere que los beneficios de la materia orgánica pueden ser más evidentes en ciclos de cultivo más largos o en otras variables agronómicas.

En el T5 y T6, el menor peso por parcela puede atribuirse a la competencia entre quinua y lenteja en el sistema asociado. Este tipo de competencia por recursos, como el espacio, el agua y los nutrientes, ha sido documentado en investigaciones anteriores, donde los sistemas de cultivo asociado tienden a mostrar una disminución en el rendimiento individual de los cultivos comparado con los sistemas de monocultivo. Esto coincide que, aunque la asociación de cultivos puede ofrecer beneficios a largo plazo en términos de diversificación y manejo sostenible, rendimiento inicial de cada cultivo individual puede verse afectado (Oña, 2023).

Estos resultados refuerzan la importancia de considerar las dinámicas de competencia entre especies en sistemas de cultivo mixto y el impacto que esto puede tener en la productividad del cultivo principal

Figura 22

Resultados promedios de la interacción AxB en el Rendimiento en quinua (RQ)



El Rendimiento de quinua (RQ) mostró diferencias altamente significativas (**) en la interacción de los factores Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). Los tratamientos en monocultivo de quinua (T1 y T2) presentaron los valores de rendimiento más altos, con 2773.2 kg/ha y 2844.5 kg/ha, respectivamente, mientras que los sistemas de cultivo asociado (T5 y T6) mostraron rendimientos significativamente menores, con 1262.0 kg/ha y 1686.2 kg/ha. El rendimiento de quinua en monocultivo fue superior debido a la ausencia de competencia por recursos con la lenteja, lo que permitió un mejor desarrollo del cultivo. El rendimiento es un factor clave para los agricultores, ya que impacta directamente la rentabilidad del cultivo.

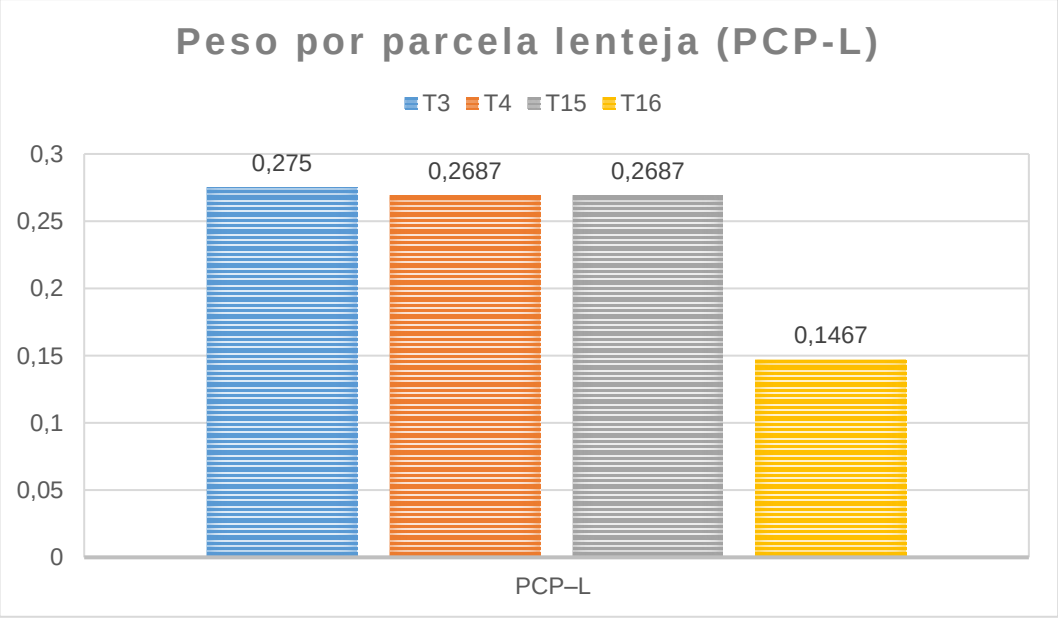
El rendimiento de quinua es especialmente importante en zonas agrícolas como Laguacoto III, donde el cultivo es visto como una alternativa económica. La quinua, conocida por su alto valor nutricional y creciente demanda en mercados internacionales, es una opción rentable siempre que se optimicen las condiciones agronómicas (Morales, 2024). En estos

contextos, los agricultores dependen del rendimiento para maximizar los beneficios económicos, ya que la cantidad de quinua cosechada influye en la comercialización y exportación del grano.

Por otro lado, los sistemas de cultivo asociado, aunque tienen ventajas como la diversificación y la sostenibilidad a largo plazo, presentan una reducción en el rendimiento de quinua, lo que representa un desafío para los agricultores que priorizan la maximización de la producción. La competencia entre quinua y lenteja por nutrientes y espacio afectó el rendimiento en estos sistemas, lo que se alinea con investigaciones previas que muestran cómo los cultivos asociados tienden a tener una menor productividad en comparación con el monocultivo (Basantes *et al.,* 2022)

Figura 23

Resultados promedios de la interacción AxB en el Peso por parcela lenteja (PCP-L)



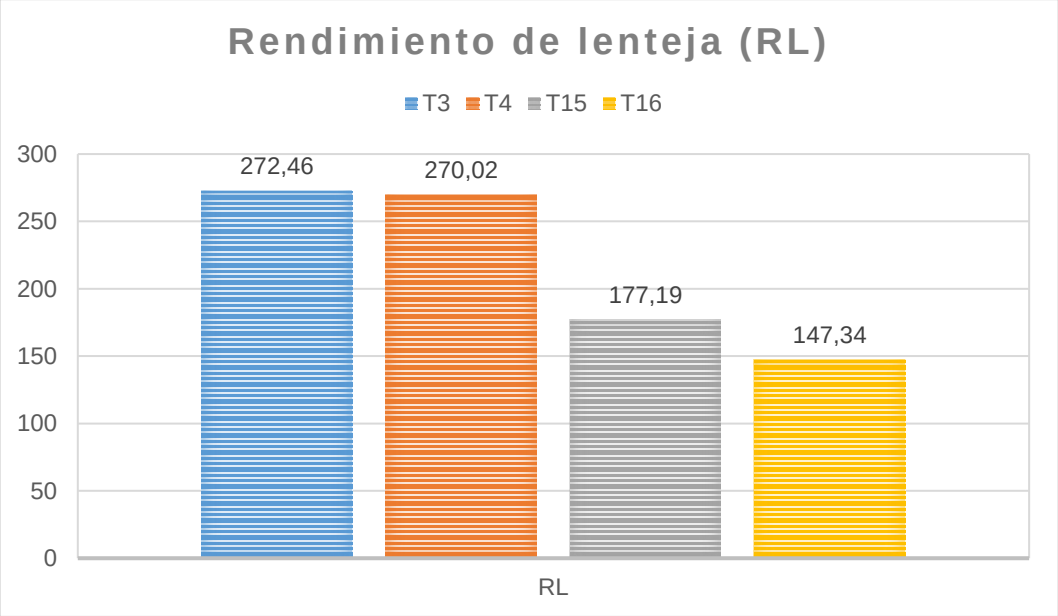
El Peso por parcela de lenteja (PCP-L) mostró diferencias significativas (*) entre los tratamientos de la interacción Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). En los tratamientos T3 y T4 (monocultivo de lenteja), se observaron los valores más altos de peso por parcela, con 0.2750 g y

0.2687 g, respectivamente, lo que indica que el monocultivo permitió una mayor acumulación de biomasa en comparación con los sistemas de cultivo asociado. Los tratamientos T5 y T6 (quinua y lenteja en asociación) mostraron una ligera reducción en el peso por parcela de lenteja, con valores de 0.2687 g y 0.1467 g, respectivamente.

La diferencia en el peso por parcela de lenteja entre los tratamientos puede explicarse por la competencia inter-específica que ocurre en los sistemas de cultivo asociado. La asociación de lenteja con quinua (T5 y T6) afectó la disponibilidad de recursos, lo que redujo el rendimiento de la lenteja. Estos resultados son consistentes con estudios previos que indican que la competencia entre especies en sistemas de cultivo mixtos puede disminuir el rendimiento individual de los cultivos. En el trabajo Zambrano (2022), se reporta que la competencia por recursos como agua y nutrientes en sistemas de cultivo asociado genera un impacto negativo en el rendimiento

Figura 24

Resultados promedios de la interacción AxB en el Rendimiento de lenteja (RL)



El Rendimiento de lenteja (RL) mostró diferencias significativas (*) en la interacción de los factores Tipo de sistema (FA) y Tipo de fertilizante (FB). Los tratamientos T3 y T4 (monocultivo de lenteja) registraron los rendimientos más altos, con 272.46 kg/ha y 270.02 kg/ha, respectivamente, mientras que los sistemas de cultivo asociado (T5 y T6) mostraron una disminución en el rendimiento, con valores de 177.19 kg/ha y 147.34 kg/ha.

El mayor rendimiento en los tratamientos T3 y T4 (monocultivo) puede explicarse por la falta de competencia por recursos con otro cultivo, lo que permitió un mejor aprovechamiento de los nutrientes y el agua por parte de la lenteja.

En los sistemas asociados (T5 y T6), la reducción del rendimiento de lenteja puede atribuirse a la competencia con la quinua por recursos esenciales como agua, nutrientes y luz.

Esta tendencia ha sido observada en investigaciones sobre cultivos asociados, donde la combinación de diferentes especies tiende a disminuir el rendimiento individual de cada uno debido a la competencia por recursos compartidos. Además, el rendimiento más bajo en el tratamiento T6, que combina fertilización química con materia orgánica, sugiere que los beneficios de la materia orgánica pueden ser más evidentes a largo plazo o en otros parámetros agronómicos, pero no necesariamente en el rendimiento inmediato del cultivo (Castro et al., 2023).

4.1.4. Análisis de correlación y regresión lineal

Tabla 4

Resultados del análisis de correlación y regresión lineal de las variables independientes que presentaron significancia estadística positiva o negativa con el rendimiento de quinua

Variables independientes componentes de rendimiento (x)	Coeficiente de correlación (r)	Coeficiente regresión (b)	Coeficiente de determinación (R^2 %)
PE (**)	0.53	18.5	28
SM (*)	-0.45	-11.7	20
AP (*)	0.61	22.3	36
LP (*)	0.58	15.8	33
PCP–Q (*)	0.49	12.1	24

* Significativo al 5%. ** Altamente significativo al 1%.

- **Coeficiente de correlación "r"**

Se observó una correlación significativa en varias variables independientes con el rendimiento. Las variables Porcentaje de emergencia (PE), Altura de planta (AP), Longitud de panoja (LP) y Peso por parcela de quinua (PCP–Q) presentaron una correlación positiva con el rendimiento, lo que indica que el incremento en estas variables se traduce en un mayor rendimiento por parcela. En contraste, la variable Severidad de mildiu (SM) mostro correlaciones negativas, sugiriendo que un aumento en estas variables resulta en una reducción del rendimiento.

- **Coeficiente de regresión "B"**

El análisis de regresión muestra que las variables AP y PE fueron las que tuvieron el mayor impacto positivo en el rendimiento, con coeficientes de regresión de 22.3 y 18.5, respectivamente. Esto sugiere que a medida que estas variables aumentan, el rendimiento también lo hace

significativamente. Por el contrario, la SM tuvo un impacto negativo significativo, reduciendo el rendimiento en 11.7 kg/ha por cada incremento en su severidad.

- **Coeficiente de determinación (R^2 %)**

El coeficiente de determinación (R^2) mide qué tanto de la variación en el rendimiento puede explicarse por cada variable independiente. En esta investigación, la variable AP explico un 36% de la variación en el rendimiento, respectivamente, lo que las convierte en los componentes más influyentes. PE y LP también contribuyeron de manera significativa, con un 28% y 33% de variación explicada. Las variables relacionadas con las enfermedades y el acame, como SM un 20% lo que refleja su impacto negativo en el rendimiento.

4.1.5. Análisis económico de la Relación Beneficio/Costo (RB/C)

Tabla 5

Costo de producción de quinua

Concepto	Tratamientos					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Rendimiento Promedio en Kg/ha Quinua	2.773,21	2.844,53	0000,00	0000,00	1.262,02	1.686,17
Rendimiento Promedio en Kg/ha lenteja	0000,00	0000,00	272,46	270,02	177,19	147,34
Ingreso Bruto lenteja	0000,00	0000,00	272,46	270,02	178,19	147,34
Ingreso Bruto Quinua	5.546,42	5.689,06	0000,00	0000,00	3.786,06	5.058,51
Ingreso Bruto Sistema	5.546,42	5.689,06	272,46	270,02	4.284,99	5.471,06
A. COSTOS VARIABLES	1.806,04	1.814,44	979,23	979,22	1.339,56	1.389,51
1. Preparación del Suelo:						
Arada, rastra y surcado	$ 175,00	$ 175,00	$ 175,00	$ 175,00	$ 175,00	$ 175,00
2. Siembra:						
Semilla de Quinua	$ 42,00	$ 42,00	$ 0,00	$ 0,00	$ 21,00	$ 21,00
Semilla de lenteja	$ 0,00	$ 0,00	$ 72,00	$ 72,00	$ 36,00	$ 36,00
Fertilizantes: 18-46-00	$ 150,00	$ 150,00	$ 150,00	$ 150,00	$ 150,00	$ 150,00
Sulpomag	$ 30,00	$ 30,00	$ 30,00	$ 30,00	$ 30,00	$ 30,00
Urea	$ 165,00	$ 165,00	$ 165,00	$ 165,00	$ 165,00	$ 165,00
Mano de obra siembra (siembra, fertilización, tape, aporque, rascadillo y controles fitosanitarios)	$ 750,00	$ 750,00	$ 300,00	$ 300,00	$ 450,00	$ 450,00
3. Labores Culturales:						
Control de insectos (Cipermetrina)	$ 7,92	$ 7,92	$ 7,92	$ 7,92	$ 7,92	$ 7,92
Control de mildiu (Metalaxil)	$ 7,00	$ 7,00	$ 0,00	$ 0,00	$ 3,50	$ 3,50
Coadyuvante	$ 2,50	$ 2,50	$ 2,50	$ 2,50	$ 2,50	$ 2,50
4. Cosecha:						
Corte	$ 150,00	$ 150,00	$ 75,00	$ 75,00	$ 150,00	$ 150,00
Trilla (5,00 x qq)	$ 308,13	$ 316,06	$ 0,00	$ 0,00	$ 140,22	$ 187,35
Envases y Piola	$ 18,49	$ 18,96	$ 1,81	$ 1,80	$ 8,41	$ 11,24
B. COSTOS FIJOS	$ 339,48	$ 338,83	$ 339,36	$ 392,35	$ 393,88	$ 393,26
Arriendo de terreno	$ 300,00	$ 300,00	$ 300,00	$ 300,00	$ 300,00	$ 300,00
10% del interés al capital circulante	$ 39,48	$ 38,83	$ 39,36	$ 92,35	$ 93,88	$ 93,26
COSTO TOTAL (A + B)	$ 2.145,52	$ 2.153,27	$ 1.318,59	$ 1.371,57	$ 1.733,44	$ 1.782,77
INGRESO NETO DEL SISTEMA	$ 3.400,90	$ 3.535,79	-$ 1.046,13	$ 1.101,55	$ 2.551,55	$ 3.688,29
Relación Ingreso Costo RI/C	$ 2,59	$ 2,64	$ 0,00	$ 0,20	$ 2,47	$ 3,07
Relación Beneficio Costo RB/C	$ 1,59	$ 1,64	-$ 0,79	-$ 0,80	$ 1,47	$ 2,07

Para realizar el análisis económico de la Relación Beneficio/Costo (RB/C), se evaluaron los diferentes tratamientos en términos de sus ingresos y costos asociados. El mejor fue el T2 (quinua + fertilización química + materia orgánica), que generó un rendimiento promedio de 2844.53 kg/ha de quinua.

En comparación, los tratamientos que incluyeron monocultivo de lenteja, como T3 (lenteja + fertilización química) presento ingreso bruto de $272.46/ha y T4 (lenteja + fertilización química + materia orgánica), de $270.02/ha, lo que reflejó menores ganancias en comparación con los sistemas de quinua o combinados. Además, el rendimiento del sistema asociado en los tratamientos T5 y T6 mostró ingresos brutos de $4284.99/ha y $5471.06/ha, aunque el rendimiento de quinua fue menor que en los monocultivos de quinua.

El costo total del T2 fue de $ 2153.27 /ha, mientras que los tratamientos de monocultivo de lenteja tuvieron costos totales más altos, como T3 ($1318.59 /ha) y T4 ($1371.57/ha). Esto se debe principalmente a los costos adicionales de fertilización y manejo del cultivo de lenteja.

En términos de la Relación Beneficio/Costo (RB/C), T2 mostró un valor de $1.64, lo que indica que por cada dólar invertido, el productor obtiene una ganancia de $1.64. En contraste, los tratamientos con monocultivo de lenteja como T3 y T4 resultaron no ser rentables, presentando valores negativos en la relación beneficio/costo.

El análisis muestra que el sistema de producción asociado y el uso combinado de fertilización química y orgánica, particularmente en T2, es el más rentable. Este tratamiento no solo mejora el rendimiento del cultivo de quinua, sino que también optimiza el uso de los recursos, lo que resulta en una mayor ganancia económica para los agricultores. Por lo tanto, este tratamiento es recomendado para maximizar los beneficios económicos en la producción de quinua en las zonas agroecológicas de la provincia de Bolívar.

4.2. Comprobación de hipótesis

Basado en los análisis estadísticos y económicos, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1), ya que los sistemas de producción y tipos de fertilización tienen un efecto significativo sobre la eficiencia agronómica del cultivo de quinua y lenteja. Esto implica que las decisiones sobre el manejo agronómico, como el tipo de fertilización y el sistema de cultivo (asociado o monocultivo), son factores determinantes en la productividad y rentabilidad de estos cultivos.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La fertilización combinada (química + orgánica) tuvo un efecto significativo en el aumento de la productividad, tanto en el sistema de monocultivo como en el asociado. Los tratamientos con fertilización orgánica mostraron mejores resultados en términos de rendimiento en ambos cultivos, destacándose como una alternativa eficaz para mejorar la sostenibilidad agrícola

- El tratamiento T2, que incluyó quinua en monocultivo con fertilización química y orgánica, mostró el mayor rendimiento promedio de 2844.53 kg/ha.

- El análisis económico indica que el tratamiento T2 es el más rentable, con una Relación Beneficio/Costo (RB/C) de 1.64 lo que significa que por cada dólar invertido se obtiene una ganancia de $1.64

5.2. RECOMENDACIONES

En función de las conclusiones obtenidas sobre el análisis agronómico y económico de los sistemas de producción de quinua y lenteja, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Dado que el tratamiento T2 (quinua con fertilización química y orgánica) presentó el mayor rendimiento promedio de 2844.53 kg/ha y la mejor rentabilidad económica, se recomienda difundir esta técnica entre los agricultores locales para maximizar la producción y los beneficios económicos

- Se recomienda establecer parcelas demostrativas que enseñen el manejo adecuado de los sistemas de monocultivo de quinua con fertilización combinada, así como del monocultivo de lenteja con fertilización química. Esto permitirá a los agricultores familiarizarse con técnicas que optimizan los rendimientos

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, R., More, M., Rafael, R., & Maldonado, E. (2020). Inductores de defensa en el control del mildiu *(Peronospora variabilis* Gaum*.)* en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control. *Scientia Agropecuaria*, 555-563. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-991720200004 00555&script=sciarttext&tlng=pt

Alarcon, D. (2019). Produccion de quinua en Sudamerica periodo 2010-2016. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24833

Angulo, J. (2021). Estudio de las propiedades alimenticias de la Quinua *Chenopodium quinoa* germinada y su aplicación en preparaciones gastronómica. *Universidad de Guayaqui*. Recuperado de http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/54266/1/BINGQ-GS-21P38.pdf

Apaza, M. (2019). Efecto del consumo de cultivos andinos quinua, cañihua y tarwi sobre el incremento de peso y nitrógeno retenido en ratas Wistar. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 194-204. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sciarttext&pid=S23 13-29572019000300005

Barcena, N., Roqueiro, G., & Guillen, L. (2022). Cultivo de quinua bajo dos sistemas y densidades de siembra. *INTA*. Recuperado de https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/13323

Basantes, E., Alconada, M., & Pantoja, J. (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. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 596-613. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/358501182ProduccindequinuaChenopodiumquinoaWilldenmonocultivoyenasociacionconhabaviciafababajolascaracteristicasfisicasdeunsueloandinodelEcuador

Benitez, C. (2019). Lentejas. Información nutricional y beneficios. *My protein*. Recuperado de https://www.myprotein.es/thezone/nutricion/lentejas-informacion-nutricional/

Campos, J., Acosta, K., & Paucar, L. (2022). Quinua (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*.

Campos, M. (2021). Aprovechamiento de saponina de quinua (*Chenopodium quinoa*) para obtención de plaguicida orgánico y aplicación en *Eurysacca melanocampta* (Polilla de quinua). Recuperado de https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9405

Carabalí, J., Gómez, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 46-57. Recuperado de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo. php?pid=S2477-88502019000200046&script=sciarttext

Carabalí, J., Gómez, J., Solano, M., Llumiquinga, G., Burgos, C., & Carrera, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco. *Siembra*, 46-57. Recuperado de http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2477-88502019000200046&script=sciarttext

Carro, R., & Gonzáles, D. (2020). El distema de producción y operaciones. Recuperado de http://nulan.mdp.edu.ar/id/eprint/1606/1/01sistema de produccion.pdf

Castro, H., Castro, R., & Alvarado, Y. (2023). Variabilidad morfoagronómica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) nativa tipo Chimborazo en Ecuador. *Agronomía Mesoamericana*. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212023000300011

Cerron, S., & Junchaya, J. (2019). Influencia de la temperatura del aire en la velocidad de secado de quinua germinada en un secador de

bandejas. Recuperado de http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.50 0.12894/5682

Chavez, J. (2019). Dosis de nitrógeno, fósforo y potasio en el rendimiento de la quinua en Acopalca–Huari. Recuperado de http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/2079

Chávez, L. (2020). Determinación de la dosis óptima de fósforo y potasio para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* w.) Cultivar hualhuas en el distrito de Acopampa, Carhuaz, Ancash–2018. Recuperado de http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4197

CIREN. (2017). *Quínoa.* Recuperado de https://www.ciren.cl/wp-content/uploads/2017/12/Qu%C3%ADnoa.pdf

Coila, F. (2019). Optimización del proceso de obtención de saponinas a partir de residuos del Escarificado de *Chenopodium quinoa* Willdenow (quinua) y la evaluación antifungica in vitro de hongos Fitopatógenos de la misma. Recuperado de https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9589

Crisóstomo, A. (2019). Incorporación de tres dosis de guano de isla para determinar la incidencia de ataque de la polilla (*Eurysacca melanocampta* meyrick) en el cultivo de quinua en el distrito de Pucara–Huancayo. Recuperado de https://repositorio.unh.edu.pe/han dle/ UNH/4343

Cumara, S. (2019). Efecto de las frecuencias de aplicación de tres eco-fungicidas para el control orgánico del mildiu de la quinua (*Peronospora variabilis*). Recuperado de https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/23730

Delgado, P., Goyzueta, W., Farfán, D., & Chura, E. (2021). Manejo de plagas de la quinua para una agricultura orgánica. Recuperado de http:// repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1352

FAO. (2024). Plataforma de información de la quinua. Recuperado de https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinua/alimento-nutritivo/es/

Gaibor, A., & Quillupangui, J. (2020). Diseño e implementación de una máquina para la siembra de quinua. Recuperado de http://repositorio. utc.edu.ec/handle/27000/5411

Galecio, M., Neira, M., Chanduvi, R., Peña, R., Álvarez, L., Granda, C., & Morales, A. (2023). Efecto de la eficacia de los microorganismos nativos y la composta en tres pisos altitudinales en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad INIA 415-Pasankalla. *Terra Latinoamericana*, 41. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/ scielo. php?pid=S0187-57792023000100111&script=sci_arttext

Garzón, D. (2019). Análisis de impactos ambientales generados por el cultivo de quinua en Tuta, departamento de Boyacá. Recuperado de http://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3285

Gómez, L., & Aguilar, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. *FAO*. Recuperado de https://www.fao.org/3/i5374s/i5374s.pdf

Holdridge, L. (1979). *Ecología basada en zonas de vida.* San José, Costa Rica: IICA.

Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC. (2021). Lenteja importada cubre demanda interna en Ecuador y sirve de insumo para exportar productos semiprocesados y procesados. Recuperado de https://www.revista-laverdad.com/2021/07/23/lenteja-importada-cubre-demanda-interna-en-ecuador-y-sirve-de-insumo-para-exportar-productos-semiprocesados-y-procesados/

ITIS. (2022). Sistema Integrado de Información Taxonómica de la quinua. Recuperado de https://www.itis.gov/

Jamillo, L. (2023). Respuesta fisiológica del cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) a diferentes niveles de aplicación de paclobutrazol en la Quinta Experimental La Argelia.

Leon, B., Mendoza, P., & Palao, A. (2021). Microorganismos eficaces y Trichoderma sp. en el biocontrol de mildiu (*Peronospora variabilis*) en cultivo de quinua. *Acta Agronómica*, 380-385. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-28122021000400380&script=sci_arttext

Ludvigson, K., Reganold, J., & Murphy, K. (2019). Intensificación sostenible de la producción de quinua en ambientes periurbanos en el oeste del estado de Washington utilizando métodos de trasplante versus métodos de siembra directa. *Ciencia e investigación agraria*, 100-112. Recuperado de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-16202019000200100&script=sci_arttext&tlng=pt

Luján, Y. (2022). Prospección de hongos fitopatógenos en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Acocro y Chiara-Ayacucho, 2018. Recuperado de https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/ UNSCH/ 4929

Mazón, N. (2010). *INIAP- Pata De Venado.* Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador, Quito, Ecuador .

Ministerio de agricultura y Ganadería - MAG. (2023). Boletín situacional quinua 2022. Recuperado de https://fliphtml5.com/ijia/qplr/Bole t%C3% ADn_Situacional_Quinua_2022/

Mollisaca, P., & Bonifacio, A. (2021). Rendimiento y análisis bromatológico de subproductos de trilla de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.) en Kiphakiphani, La Paz-Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 59-65. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/ scielo.php? pid=S2409-16182021000300059&script=sci_arttext

Morales, G. (2024). Eficiencia química del nitrógeno aplicado para la producción de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd.) variedad Iniap Pata de Venado en Laguacoto III, provincia Bolívar. Recuperado de https://dspace.ueb.edu.ec/items/0d412baa-5174-4dab-bf57-127 ecdaf671

Moreno, B. (2022). Validación de un método analítico para ocratoxina a en Quinua HPLC-Fluorescencia. Obtenido de http://dspace.espoch. edu.ec/bitstream/123456789/17475/1/27T00539.pdf

Moreta, K. (2022). Evaluación del efecto de la aplicación del ozono (O3) para el control de mildiu (*Peronospora variabilis*) en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Var. Iniap Tunkahuan, en

Salcedo, Cotopaxi 2021 Recuperado de http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9217

Mujica, Á. (2015). El origen de la quínoa y la historia de su domesticación. *Tierra Adentro INIA*. Recuperado de http://www.inia.cl/descarga/revista-tierra-adentro-especial-quinoa/

Mujica, A., Juan, I., & Marathee, J. P. (2022). Capítulo I. Origen y descripción de la quinua. Recuperado de https://ciq.org.bo/wp-content/ uploads/2022/09/16-LIBRO-Quinua-ancestral-cultivo-de-los-andes-r-miranda.pdf

Murillo, A., Vega, L., Rodríguez, D., & Yumisaca, F. (2023). Manual del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Ecuador. Manual de cultivo No. 130. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*, 57. Recuperado de https://repositorio.iniap.gob. ec/bitstream/41000/6054/1/Manual%20de%20quinua.pdf

Oña, C. (2023). Caracterización agronómica de variedades locales de quinua (*Chenopodium quinoa*) de Ecuador y diseño e instalación de un sistema de control climático y humedad del suelo con sensores empleando tecnología WSN (Wireless Sensor Networks). Recuperado de https://oa.upm.es/73267/1/TFMCYINTIAELIZABETHONA SIMBANA.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2023). Plataforma de información de la quinua. Recuperado de https://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinua/produccion-sostenible/fr/

Orgaz, O. (2020). Adaptación de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) a las condiciones agroecológicas de la zona centro peninsular. Recuperado de https://oa.upm.es/65953/1/TFGGABRIELAORGAZGARCIA.pdf

Padron, C., Oropeza, R., & Montes, A. (2021). Semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willdenow): composición química y procesamiento. Aspectos relacionados con otras áreas. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/274435593Semillasde

quinuaChenopodiumquinoaWilldenowcomposicionquimicayprocesamientoAspectosrelacionadosconotrasareas

Peralta, E. (2014). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. *FAO y CIRAD*, 724. Recuperado de https://repositorio.iniap.gob.ec/ bitstream/ 41000/2433/1/iniapscCD13.pdf

Quispe, C., & Espeza, J. (2022). Efecto del momento, dosis y proporción del uso de retenedor de agua en el Trasplante y Rendimiento de Quinua Var. Hualhuas, Sicaya-Huancayo. Recuperado de http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8768

Raico, L. (2022). Evaluación de cinco fungicidas orgánicos para el control de mildiu (*Peronospora sp.*) en quinua (*Chenopodium quinoa*) en Cajamarca. Recuperado de https://pgc-snia.inia.gob.pe:8443/ jspui/ handle/20.500.12955/1818

Riquelme, A. (2019). Nutricionistas UC promueven la Quínoa. *Nutrición y dietética*. Recuperado de https://nutricion.uc.cl/noticias/nutrici onist as-uc-promueven-la-quinoa/#:~:text=El%20valor%20nutricional% 20de%20la,de%20hierro%2C%20entre%20algunos%20nutrientes.

Romero, G., Heredia, A., & Chaparro, H. (2019). Potencial germinativo en semillas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) almacenadas bajo condiciones de frío. *Revista UDCA. Actualidad & divulgación científica*, 341-350. Recuperado de https://biblat.unam.mx/ es/revista/revista-udca-actualidad-divulgacion-cientifica/articulo/potencial-germinativo-en-semillas-de-quinua-chenopodium-quinoa-will d-almace nadas-bajo-condiciones-de-frio

Sanchez, E. (2019). Integracion de fajas transportadoras para incrementar capacidad de producción en el sistema de chancado terciario de la unidad minera el brocal. Recuperado de https://dspace.unitru. edu.pe/ items/d2ebcfe7-e5c9-446f-8d94-01d92a594603

Silva, D., Santamaria, K., Chavez, J., Rodriguez, E., & Román, A. (2023). Identificación de sistemas de producción para quinua dulce en la provincia. *I Congreso de Semillas Andinas, 2023*, 39. Recuperado

de https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/6108/1/Memorias%20I%20Congreso%20Semillas%20Andinas%202023.pdf

Soca, M. (2021). Fluctuación poblacional de Insectos fitófagos asociados al cultivo de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en La Molina, Lima. Recuperado de https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4743

Sosa, V., Brito, V., Fuentes, F., & Steinfort, U. (2022). Escala estandarizada de fenología para quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) basada en el sistema de codificación de la BBCH. *Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile*. Recuperado de file:///D:/Dell%20Datos/Downloads/FenologaquinuaPUC%20(7).pdf

Tapia, B., Peralta, E., & Mazón, N. (2015). Colecciones núcleo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del Banco de Germoplasma del INIAP, Ecuador. *Investigador del Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos, INIAP*. Recuperado de https://axioma. pucesi. edu.ec/ index.php/axioma/article/view/426

Tapia, F. (2021). Sembrando lentejas. Recuperado de https://biblioteca.inia/cl/bitstream/handle/123456789/40004/NR10517.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Triana, M. (2019). Productividad del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) como cultivo alternativo en la Comarca Lagunera. Recuperado de http://www.repositorio.uaaan.mx:8080/handle/123456 789/45527

Ulloa, M., & Valle, L. (2021). Índice de cosecha con macro-nutrientes en grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-090220210001000 15&script=sciarttext

Uribe, B. (2022). Estandarización del proceso de producción de las fajas de referencia 60-60, a través de la medición de métodos y tiempo orientados a la mejora en la eficiencia de la empresa. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 216-228. Recuperado de

https://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/download/2409/2875/10482

Valladares, J., Zárate, A., Cruz, R., Gaspar, G., & Mendoza, C. (2020). La aplicación combinada de abonos orgánicos mejora las propiedades físicas del suelo asociado al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Agropecuaria*, 401-408. Recuperado de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sciarttext&pid=S2077-99172020000300401

Zambrano, D. (2022). Determinación de la capacidad fenólica en quinua (*Chenopodium quinoa*) germinada de dos variedades: amarilla (Iniap Tunkahuan) y la blanca (Iniap Pata de Venado). Recuperado de https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/6038/1/informeanual2021pronaleg-ga.pdf

ANEXOS

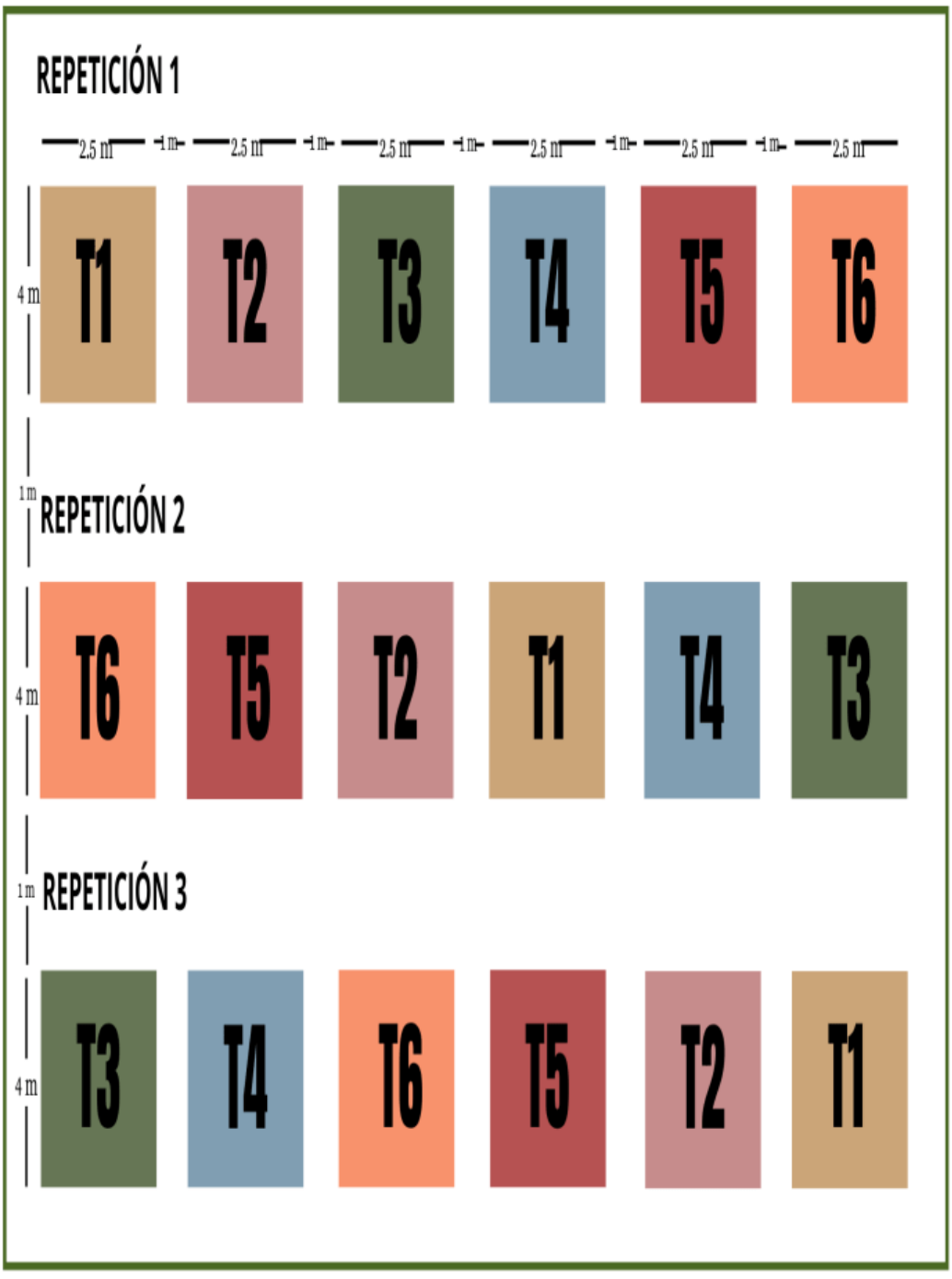
Anexo 1 Ubicación del experimento





Fuente: Google Earth (2024).

Anexo 2 Croquis de investigación



Anexo 3 Base de datos

TRAT	REP	FA	FB	DEP	PE	SM	AP	AR	AT	DC	LP	PH-Q	PCP-Q	R Kg/ha - Q	PH-L	PCP-L	R Kg/ha - L
1	1	1	1	11	90	8	90	5	6	125	45.15	12.7	2.947	2957.162069	0	0	0
2	1	1	2	11	92	9	91	7	10	125	45.48	12.6	3.125	3139.367816	0	0	0
3	1	2	1	11	96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	0.197	198.1321839
4	1	2	2	11	92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.4	0.197	198.3586207
5	1	3	1	11	89	8	91	11	13	142	46.35	12.8	1.143	1145.627586	12.6	0.164	164.754023
6	1	3	2	11	87	10	92	8	9	142	45.6	12.9	2.032	2034.335632	12.6	0.156	156.7172414
1	2	1	1	11	93	15	93	6	8	125	46.05	12.6	2.666	2678.257471	0	0	0
2	2	1	2	11	91	10	93	4	6	125	45.85	12.4	2.794	2813.268966	0	0	0
3	2	2	1	11	94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.7	0.398	394.7977011
4	2	2	2	11	91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.9	0.262	262.3011494
5	2	3	1	11	85	10	93	4	6	125	45.67	12.5	1.271	1278.304598	12.6	0.163	163.7494253
6	2	3	2	11	85	11	90	6	10	125	46.13	12.6	1.56	1567.172414	12.6	0.132	132.6068966
1	3	1	1	15	95	14	94	6	10	142	45.78	12.7	2.675	2684.224138	0	0	0
2	3	1	2	15	93	10	92	4	8	142	46.4	12.9	2.578	2580.963218	0	0	0
3	3	2	1	11	95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15.1	0.23	224.4482759
4	3	2	2	11	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.4	0.347	349.3931034
5	3	3	1	11	91	10	93	10	12	125	45.63	12.8	1.359	1362.124138	12.1	0.201	203.0793103
6	3	3	2	11	80	12	93	9	10	125	46.3	12.7	1.452	1457.006897	12.6	0.152	152.6988506

Anexo 4 Fotografías de instalación, monitoreo y manejo de ensayo

Preparación de semillas y fertilizantes para la siembra





Preparación de suelo, trazado de parcela y siembra





Labores culturales en cada uno de los tratamientos









Control de malezas manual y evaluación de mildiu





Visita de campo





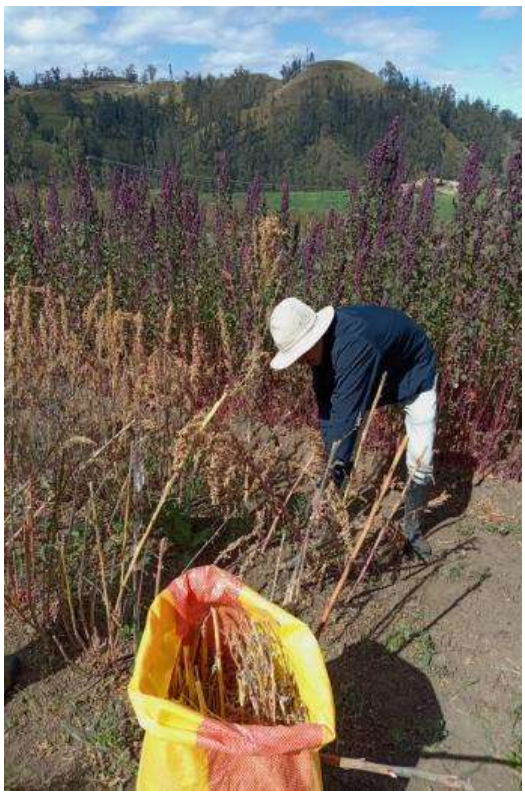
Toma de variables en madurez fisiológica





Cosecha





Secado



Trilla



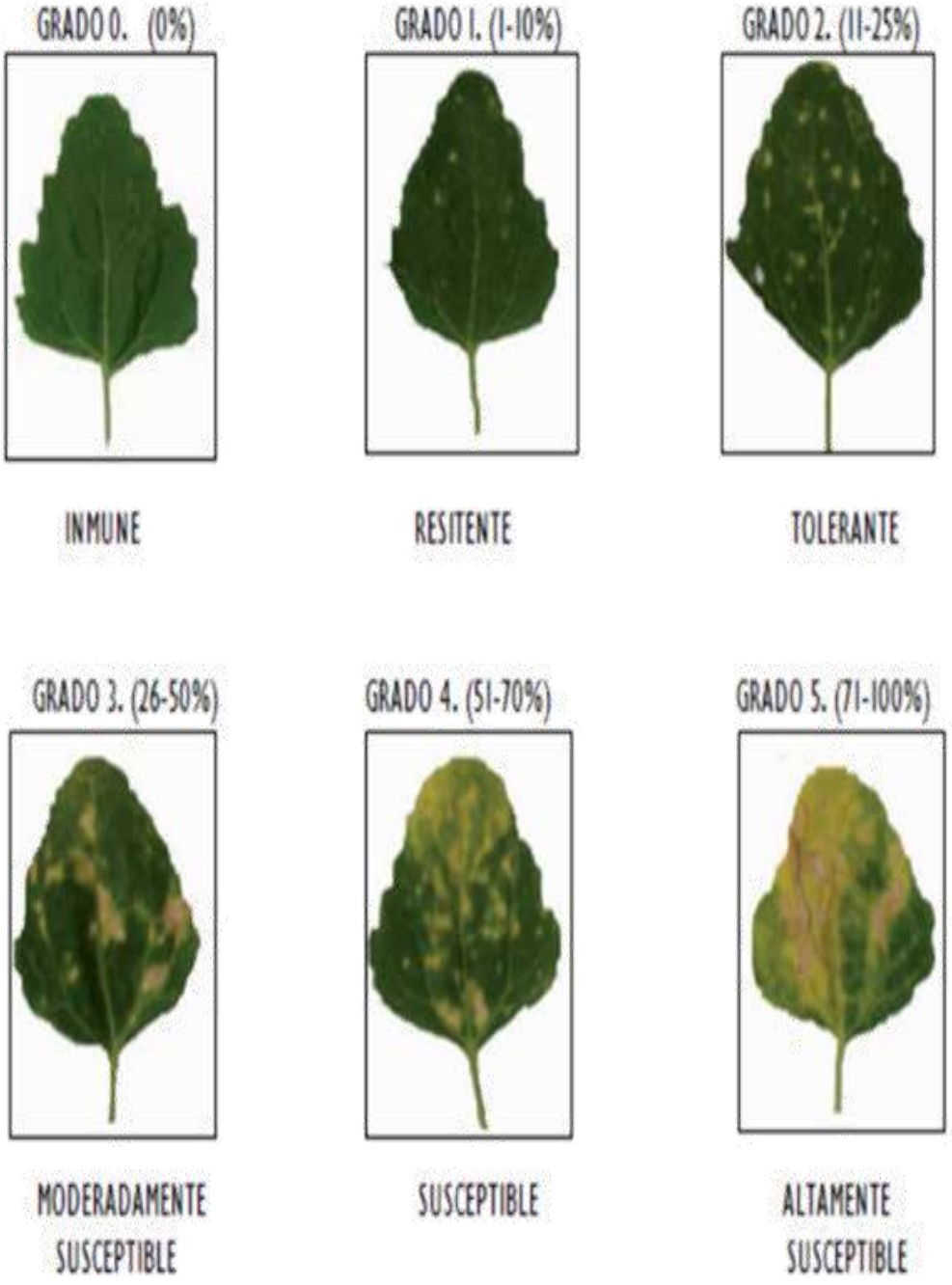
Limpieza



Defensa de trabajo



Anexo 5 Ficha para evaluación de severidad de mildiu velloso



Fuente: Inguilan y Pantoja, 2007

Anexo 6 Glosario de términos técnicos

Anoxia: Una condición en la que hay una ausencia total de oxígeno, ya sea en un entorno específico o en los tejidos de un organismo. En biología, se refiere a la falta de oxígeno en el ambiente que puede afectar la supervivencia de los organismos aeróbicos.

Cladograma: Un diagrama en forma de árbol que muestra las relaciones evolutivas entre diferentes especies. Por ejemplo, en biología evolutiva, se utiliza para representar la historia evolutiva de los organismos.

Cotiledón: La primera hoja que emerge de una semilla en desarrollo. En botánica, el número y la forma de los cotiledones son características importantes para clasificar las plantas y comprender su desarrollo inicial.

Difracción: El fenómeno en el que una onda, como la luz o el sonido, cambia de dirección al encontrar un obstáculo o al pasar por una rendija. En física, se utiliza para estudiar la dispersión de ondas y la formación de patrones de interferencia.

Epigénesis: El proceso de desarrollo biológico en el que las características se forman gradualmente a lo largo del tiempo a partir de la interacción de factores genéticos y ambientales. En embriología, se refiere a la formación progresiva de estructuras anatómicas.

Exógeno: Que se origina o se produce fuera de un organismo o sistema en particular. En geología, se refiere a los procesos y materiales que afectan la superficie terrestre, como la erosión y la deposición.

Fagocitosis: El proceso mediante el cual una célula engloba y digiere partículas sólidas, como bacterias o desechos celulares, formando una vesícula llamada fagosoma. En biología celular, es un mecanismo importante de defensa inmunológica y de eliminación de desechos.

Fotoperiodo: es la duración del día y la noche que afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas, incluyendo la floración y la germinación. Varía entre especies y es crucial en la planificación agrícola para optimizar los cultivos.

Heterótrofo: Un organismo que obtiene su energía y nutrientes consumiendo otros organismos o materia orgánica. En biología, se refiere

a organismos que no pueden producir su propio alimento y dependen de otros para sobrevivir.

Holobionte: Una unidad biológica compuesta por un organismo y sus simbiontes, incluidos los microorganismos que viven en o en asociación con él. Se utiliza en ecología para describir las interacciones entre los organismos y los microorganismos que los habitan.

Lixiviación: El proceso natural o inducido de disolución y eliminación de sustancias minerales de un sustrato sólido a través de la acción de un solvente líquido. En geología, se refiere a la extracción de minerales de una roca por acción de agentes químicos.

Macroevolución: Los cambios evolutivos a gran escala que conducen a la formación de nuevas especies y grupos taxonómicos a lo largo de períodos de tiempo geológicamente largos. En biología evolutiva, se estudian los patrones y procesos de cambio a nivel de especies y más allá.

Microcosmo: Un entorno a pequeña escala que replica características de un sistema más grande o del universo en su conjunto. En ecología, se utiliza para estudiar los ecosistemas en condiciones controladas y reproducibles.

Siega: Se refiere al proceso de cortar plantas, especialmente pastos, forrajes u otros cultivos herbáceos, generalmente con el propósito de cosecharlos o manejarlos adecuadamente. Este método es utilizado para mantener el crecimiento controlado de la vegetación, facilitar su recolección o mejorar las condiciones del suelo para futuros ciclos de cultivo.